



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GEOLOGIA

GABRIEL LIMA DOS SANTOS

**MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA
DO DEPÓSITO DE TITANO-MAGNETITA VANADÍFERA DO
ALVO GULÇARI A SUL, MARACÁS/BA - CONTRIBUIÇÃO
PARA O ENTENDIMENTO DA GEOLOGIA ECONÔMICA DO
SILL DO RIO JACARÉ**

Salvador – Bahia

2020

GABRIEL LIMA DOS SANTOS

**MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA
DO DEPÓSITO DE TITANO-MAGNETITA VANADÍFERA DO
ALVO GULÇARI A SUL, MARACÁS/BA - CONTRIBUIÇÃO
PARA O ENTENDIMENTO DA GEOLOGIA ECONÔMICA DO
SILL DO RIO JACARÉ**

Monografia apresentada ao curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Santana
Correia de Brito

Salvador – Bahia

2020

TERMO DE APROVAÇÃO

GABRIEL LIMA DOS SANTOS

**MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DO
DEPÓSITO DE TITANO-MAGNETITA VANADÍFERA DO ALVO
GULÇARI A SUL, MARACÁS/BA - CONTRIBUIÇÃO PARA O
ENTENDIMENTO DA GEOLOGIA ECONÔMICA DO *SILL* DO RIO
JACARÉ**

Trabalho final de graduação aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

1º Examinador – Prof. Dr. Reinaldo Santana Correia de Brito

IGEO/UFBA

2º Examinador - Prof. Dr. Natanael da Silva Barbosa

IGEO/UFBA

3º Examinador – Geólogo Matheus Pacheco Feitosa

Largo Resources Ltd.

Salvador, 26 de novembro de 2020

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, meu grande alicerce, por sempre acreditarem e apoiarem minhas decisões. Serei eternamente grato por todo apoio, amor e confiança que vocês depositam em mim. Aos meus avós, pelo imensurável apoio, amor e carinho. Aos meus tios e primos, por todo suporte e companheirismo. Tenho muita sorte em tê-los ao meu lado.

Agradeço imensamente à minha companheira de vida, Laryssa, por todo apoio, paciência, amor e compreensão em todos os momentos, principalmente nos momentos mais difíceis. Sem você essa jornada seria mais árdua.

Ao professor Reinaldo Brito, por ter me dado a oportunidade de trabalhar com ele e por ter confiado em mim. Muito obrigado pelos conselhos profissionais, de vida, e mais ainda, pelos conhecimentos técnicos compartilhados comigo.

A faculdade me trouxe momentos memoráveis e não poderia deixar de agradecer aos irmãos que a faculdade me deu, Rodrigo, Tarcísio, Luan e Matheus. Muito obrigado por todos os momentos e experiências vividas dentro e fora da universidade. À minha fiel escudeira, Glória, muito obrigado por estar comigo em todos os momentos, por toda a paciência, cumplicidade e convívio nessa louca rotina universitária. À Milena, Milla, Erick, Nájela, Clara e Pivetta, por tornarem o dia a dia mais leve, e os campos mais divertidos. Aos amigos que a AGEO me deu, Livinho, Eressão, Keynes, Mari, Tai e Isa. Todos vocês foram um presente.

À Largo Resources Ltda, por viabilizar a realização dessa pesquisa, pela oportunidade de estágio e por proporcionar minha evolução profissional. Aos amigos e colegas do time da geologia: Luciana, Matheus, Samile, Joadson, Fabrício, Fábio Jackson, Antonio, Lordão, Daniela, Sávio, Gilson e Joci. Muito obrigado por todo conhecimento compartilhado, pela contribuição ao trabalho e pelo excelente ambiente de trabalho, serei eternamente grato por tudo.

Aos amigos que Maracás me deu e que certamente levarei para a vida: Victor Hugo, Fábio, Rabelo, Luiz e Igor.

Esse trabalho não existiria se não houvesse essas pessoas que me ajudaram tanto diretamente, quanto indiretamente, mas com a mesma importância, dando suporte e a confiança necessária para a realização da minha graduação. À todos o meu muito obrigado!

RESUMO

O *Sill* do Rio Jacaré (SRJ), localizado no Distrito Vanadífero de Maracás (DVM), hospeda os maiores recursos de vanádio das américas. Essa mineralização está contida em um grupo de camadas de rochas ricas em magnetita, sendo a principal delas o metamagnetito. O SRJ contém, até o momento, seis alvos exploratórios: Gulçari A (GA), Gulçari A Norte (GAN), Gulçari A Sul (GAS), São José (SJ), Novo Amparo (NAO) e Novo Amparo Norte (NAN). Atualmente, as maiores concentrações de vanádio estão contidas no alvo GA, local onde está situada a única mina de vanádio das américas. O presente trabalho foi realizado no alvo GAS, que está localizado a 200 metros da cava *campbell*. O objetivo principal do estudo é de confeccionar um mapa geológico na escala 1:10.000 de uma área de cerca de 7 km² e a caracterização petrográfica das principais litologias cartografadas. Para auxiliar tais atividades, foram descritos quatro furos de sondagem: FGAS-02, FGAS-05, FGAS-09 e FEXP-04. Foram descritas dezesseis lâminas delgadas polidas, sendo quinze de rochas do SRJ e uma da intrusão metatonalítica. A integração do mapa geológico com a análise petrográfica teve como resultado a interpretação de cinco domínios geológicos, a saber: (i) rochas metavulcânicas e metassedimentares da Formação Mirante; (ii) rochas máficas/ultramáficas do SRJ; (iii) intrusão metatonalítica; (iv) gnaisse Pé de Serra e; (v) hornblenda gnaisse do Complexo Granulítico Jequié. No domínio do SRJ, as rochas foram separadas em cinco subdomínios de acordo com sua posição estratigráfica: Zona inferior; zona superior I; zona superior IIA; zona superior IIB; zona superior IIC. Assim sendo, essa pesquisa permitiu a delimitação dos contatos geológicos com um maior detalhamento, e a estruturação litoestratigráfica das rochas de modo a contribuir para a evolução do conhecimento metalogenético do SRJ.

Palavras-chave: *Sill* do Rio Jacaré; Vanádio; Gulçari A Sul.

ABSTRACT

The Jacaré River Sill (SRJ), located in the Maracás Vanadiferous District (DVM), hosts the largest vanadium resources in the Americas. This mineralization is contained in a group of layers of rocks rich in magnetite, the main one being metamagnetite. The SRJ contains, so far, six exploratory targets: Gulçari A (GA), Gulçari A North (GAN), Gulçari A South (GAS), São José (SJ), Novo Amparo (NAO) and Novo Amparo Norte (NAN). Currently, the highest concentrations of vanadium are contained in target GA, where the only vanadium mine in the Americas is located. The present work was carried out on the GAS target, which is located 200 meters from the Campbell pit. The main objective of the study is to make a geological map on the scale 1: 10,000 of an area of about 7 km² and the petrographic characterization of the main mapped lithologies. To aid such activities, four drillholes were described: FGAS-02, FGAS-05, FGAS-09 and FEXP-04. Sixteen polished thin sections were described, fifteen of SRJ rocks and one of metatonalitic intrusion. The integration of the geological map with petrographic analysis resulted in the interpretation of five geological domains, namely: (i) metavolcanic and metasedimentary rocks of the Mirante Formation; (ii) mafic / ultramafic rocks of the SRJ; (iii) metatonalitic intrusion; (iv) Pé de Serra e gneiss; (v) hornblende gneiss from the Jequié Granulitic Complex. In the SRJ domain, the rocks were separated into five subdomains according to their stratigraphic position: Lower zone; upper zone I; upper zone IIA; upper zone IIB; upper zone IIC. Therefore, this research allowed the delimitation of the geological contacts in greater detail, and the lithostratigraphic structuring of the rocks in order to contribute to the evolution of the SRJ's metallogenetic knowledge. Key words: Rio Jacaré Sill; Vanadium; Gulçari A South.

Key words: Rio Jacaré Sill; Vanadium; Gulçari A South.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Situação e Localização da Área de Estudo.....	14
Figura 2: Percurso entre Salvador e Maracás. Fonte: Google Maps.....	14
Figura 3: Mapa geológico da Faixa Contendas-Mirantes, com a área de estudo. Modificado de Marinho (1994). Fonte: Barbosa <i>et al.</i> , (2012).....	15
Figura 4: Representação gráfica das texturas cumuláticas. Fonte: Wager & Brown (1968).....	20
Figura 5: Mapa geológico da Faixa Contendas-Mirantes, com a área de estudo. Modificado de Marinho (1994). Fonte: Barbosa <i>et al.</i> , (2012).....	26
Figura 10: Descrição geológica do furo FGAS-09 e alguns parâmetros químicos.....	32
Figura 12: Correlação das descrições geológicas dos furos FGAS-09 e FGAS-02, demonstrando o início e o fim da zona superior IIA, e seus dois ciclos de intrusão magmática.....	34
Figura 15: Correlação estratigráfica das descrições geológicas dos furos FGAS-02 e FEXP-04.....	39

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Figura 6: Depósito Aluvionar do leito do Riacho do João. Visada para SW. Coordenadas: 8483922 mN / 316747 mE.28

Figura 7: A) Afloramento do metatonalito. Seta da escala aponta para o norte. Visada para SW. Coordenadas: 8483220 mN / 317878 mE.29

Figura 8: A) Afloramento em perfil do Gnaiss Pé de Serra com um pórfiroblasto indicando cinemática sinistral. A Seta da escala indica o norte e a visada está para W. B) Afloramento tipo lajedo do Gnaiss Pé de Serra. Braço indicando o sentido do norte. Coordenadas: 8483618 mN / 318943 mE e 8483225 mN / 318765 mE, respectivamente.....30

Figura 9: Microgabro de bordo com granulometria fina. Coordenadas: 8483783 mN/ 317381mE.31

Figura 17: Afloramento do metanortosito da zona superior IIC. Seta vermelha apontando para o norte. Visada para W. Coordenadas: 8484039mN / 318265mE.....42

Figura 18: A) Bloco rolado da primeira lente de metamagnetitito sem zona estratigráfica definida. Coordenadas: 8483613mN / 318265 mE. B) Bloco rolado de metagabro sem zona estratigráfica definida. Coordenadas: 8483463mN / 318308mE. C) Blocos rolados da segunda lente de metamagnetitito sem zona estratigráfica definida. Coordenadas: 8484025mN / 318594mE.....43

Figura 19: A) Xisto associado a Formação Mirante; B) Metandesito com pequenas amígdalas de quartzo associados a Formação Mirantes; C) Quartzito associado a Formação Areião; D) Metabasalto com amígdalas de quartzo associados a Formação Mirantes. Coordenadas: 8484258 mN / 316832mE; 8484087mN / 317176mE; 8483783mN / 317329mE; 8483596mN / 316924mE, respectivamente.....44

Figura 20: Afloramento em planta de rocha gnáissica do Complexo Granulítico Jequié. A seta da escala aponta para o norte. Coordenadas: 8484233mN / 319506mE.45

LISTA DE MICROFOTOGRAFIAS

Figura 7: B) Microfotografia do metatonalito em luz plana. C) Microfotografia do metatonalito em luz polarizada. D) Microfotografia do metatonalito em luz refletida.....27

Figura 11: Prancha de fotos dos litotipos da Zona Superior IA. A) Microfotografia da titanita biotita hornblenda metagabro em luz plana. B) Microfotografia da titanita biotita hornblenda metagabro em luz polarizada. C) Microfotografia do metanortosito em luz plana. D) Microfotografia do metanortosito em luz polarizada.....33

Figura 13: Prancha de fotos dos litotipos do ciclo basal da Zona Superior IIA. A) Microfotografia da magnetita metahornblenda em luz plana. B) Microfotografia da magnetita metahornblenda em luz polarizada. C) Microfotografia da magnetita metahornblenda em luz refletida. D) Microfotografia da magnetita hornblenda metagabronorito (GLS-12) em luz plana. E) Microfotografia da magnetita hornblenda metagabronorito (GLS-12) em luz polarizada. F) Microfotografia da magnetita hornblenda metagabronorito (GLS-12) em luz refletida. G) Microfotografia da magnetita hornblenda metagabronorito (GLS-11) em luz plana. H) Microfotografia da magnetita hornblenda metagabronorito (GLS-11) em luz polarizada. I) Microfotografia do metanortosito em luz plana. J) Microfotografia do metanortosito em luz polarizada.....36

Figura 14: A) Microfotografia do metamagnetitito em luz plana. B) Microfotografia do metamagnetitito em luz polarizada. C) Microfotografia do metamagnetitito em luz refletida. D) Microfotografia do magnetita metagabro em luz plana. E) Microfotografia do magnetita metagabro em luz polarizada. F) Microfotografia do magnetita metagabro em luz refletida. G) Microfotografia do metanortosito em luz plana. H) Microfotografia do metanortosito em luz polarizada.....38

Figura 16: A) Microfotografia do metamagnetitito em luz plana. B) Microfotografia do metamagnetitito em luz refletida. C) Microfotografia do magnetita hornblenda metagabro em luz plana. D) Microfotografia do magnetita hornblenda metagabro em luz polarizada. E) Microfotografia do magnetita hornblenda metagabro em luz refletida.....40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Detalhamento estratigráfico do SRJ proposta por Brito <i>et al.</i> (2016).....	17
Tabela 2: Dados comparativos dos maiores produtores de Vanádio em 2019.	18
Tabela 3: Dados comparativos dos maiores produtores de Pentóxido de Vanádio e de Ferrovânádio em 2019.	18
Tabela 4: Composições modais das rochas da zona superior I. Plagioclásio (Pl), Hornblenda (Hb), Biotita (Bt), Magnetita (Mt), Calcopirita (Cpy), Pirita (Py) e Epídoto (Ep).	32
Tabela 5: Composições modais das rochas do ciclo basal da zona superior IIA em porcentagem. Plagioclásio (Pl), Hornblenda (Hb), Clinopiroxênio (Cpx), Biotita (Bt), Granada (Grn), Magnetita (Mt), Ilmenita (Il), Calcopirita (Cpy), Pirita (Py), Titanita (Ti) e Epídoto (Ep).	34
Tabela 6: Composições modais das rochas do ciclo superficial da zona superior IIA. Plagioclásio (Pl), Hornblenda (Hb), Biotita (Bt), Granada (Grn), Magnetita (Mt), Ilmenita (Il), Calcopirita (Cpy), Pirita (Py) e Epídoto (Ep).	37
Tabela 7: Composições modais das rochas do ciclo basal da zona superior IIB. Plagioclásio (Pl), Hornblenda (Hb), Biotita (Bt), Magnetita (Mt), Ilmenita (Il), Calcopirita (Cpy), Pirita (Py), e Epídoto (Ep)..	39
Tabela 8: Composições modais das rochas do ciclo intermediário da zona superior IIB. Plagioclásio (Pl), Hornblenda (Hb), Clinopiroxênio (Cpx), Biotita (Bt), Magnetita (Mt), Ilmenita (Il), Calcopirita (Cpy), Pirita (Py) e Epídoto (Ep).....	41

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO GERAL.....	13
CAPÍTULO II – ESTADO DA ARTE.....	15
CAPÍTULO III – ARTIGO.....	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA USP.....	48
ANEXO B – MAPA	52

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

O vanádio, um metal de extrema importância na economia mundial, devido ao seu comportamento físico-químico e a sua utilização em diversas áreas (e.g. indústria aeroespacial, automobilística, construção civil). Esta diversidade de aplicação ocorre porque esse metal, quando presente em ligas de aço, o torna muito mais resistente à corrosão e ao choque. Ele pode ser extraído de diversas fontes como no petróleo, carvão e, principalmente, contido na estrutura cristalina de minerais. Dentre estes minerais, destaca-se a titanomagnetita, encontrada em depósitos ortomagmáticos em complexos máficos-ultramáficos estratificados.

Segundo Gross (1996), os depósitos ortomagmáticos de Fe-Ti-V podem ser classificados em dois tipos: (i) Tipo Ilmenita, que tem como óxido predominante a ilmenita e ocorre associada a complexos anortosíticos, e (ii) Tipo Titanomagnetita, no qual o óxido predominante é a titanomagnetita e ocorre relacionada a complexos estratificados gabro-anortosíticos. Os principais depósitos de vanádio do mundo estão contidos no tipo (ii), dentre os quais podemos citar como exemplo: Bushveld, na África do Sul (Tegner *et al.*, 2006), Mustavaara, na Rússia (Karinen, *et al.*, 2015), Panzihua, na China (Mao *et al.*, 2005), e Maracás, no Brasil (Brito, 2000).

O Brasil, detém as maiores reservas de pentóxido de vanádio (V_2O_5) das Américas, situadas no Distrito Vanadífero de Maracás (DVM) (Brito e Nonato, 2014). O DVM está localizado no *Sill* do Rio Jacaré (SRJ), uma intrusão máfica/ultramáfica contida geotectonicamente, entre os Blocos Gavião e Jequié, na porção centro norte do Cráton do São Francisco (CSF) (Almeida, 1977). Segundo Brito (1984), o SRJ é composto, predominantemente, por corpos estratificados de cerca de 70 km de extensão de metagabros, anfíbolitos e metamagnetitos com direção submeridiana.

Este trabalho tem como objetivo integrar dados geológicos de exploração do depósito de titanomagnetita vanadífera do alvo Gulçari A Sul (GAS) e caracterizar petrograficamente as principais litologias deste alvo. A área de estudo possui cerca de 7 km² e está situada no Centro-Sul da Bahia, no município de Maracás, e na porção sul do SRJ, entre os povoados de Pé de Serra e Porto Alegre (Fig. 1). Para acessar a região, partindo de Salvador, percorre-se cerca de 410 km, a partir da BR-324 até o município de Feira de Santana, local onde se desvia pela BR 116 até o entroncamento com a BA-026. A partir da BA-026, segue-se até o povoado de Pé de Serra, percorrendo, por fim, em uma estrada vicinal no sentido do povoado de porto alegre até a Fazenda Gulçari A (Fig. 2).

Os resultados dessa pesquisa foram organizados em forma de artigo, que será submetido à avaliação para posterior publicação na revista científica Geologia USP.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

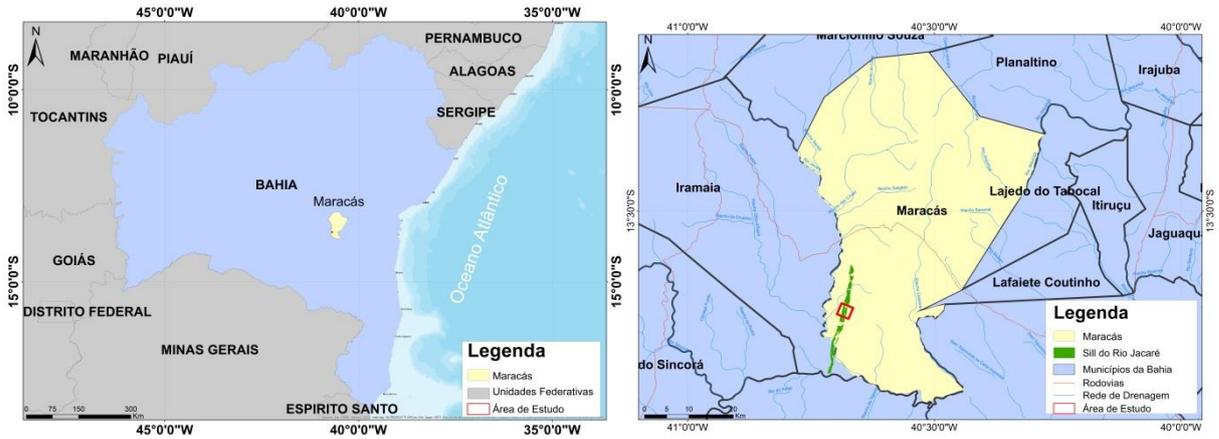


Figura 1: Mapa de Situação e Localização da Área de Estudo.

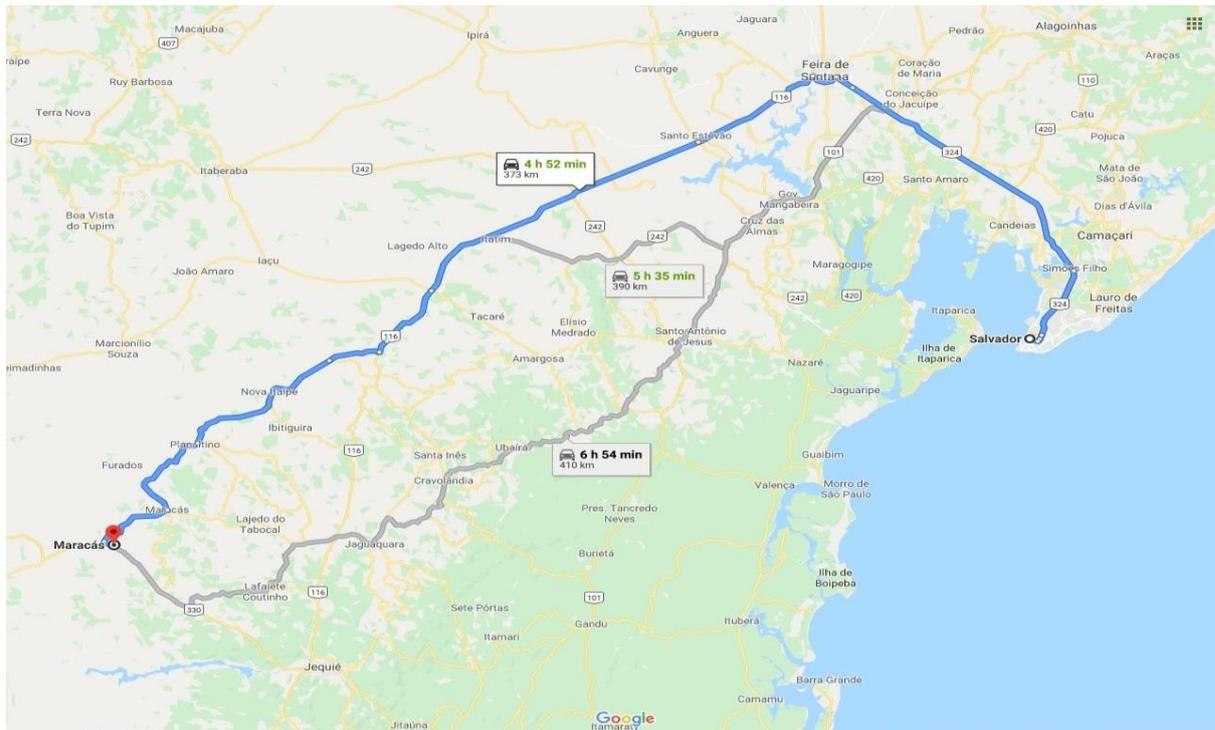


Figura 2: Percurso entre Salvador e Maracás. Fonte: Google Maps.

CAPÍTULO II

ESTADO DA ARTE

1. Geologia e Geotectônica Regional

A área de estudo está inserida, geotectonicamente, na porção nordeste do Cráton São Francisco (CSF), unidade geotectônica resultante da colisão de quatro blocos crustais arqueanos-paleoproterozoicos: Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá, Serrinha, Gavião e Jequié. A área de estudo compreende uma região entre os dois últimos blocos supracitados (Almeida, 1977; Mascarenhas, 1981; Barbosa e Sabaté, 2002) (Fig. 3). Nessas circunstâncias colisionais, originou-se o Cinturão Contendas-Mirantes (CCM), que contempla a área de estudo.

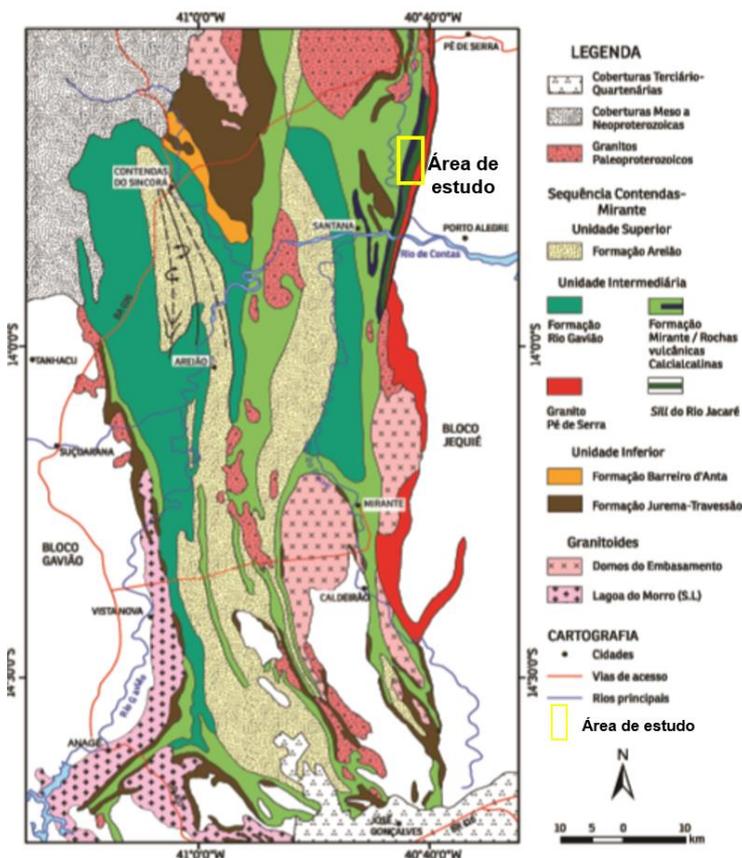


Figura 3: Mapa geológico da Faixa Contendas-Mirantes, com a área de estudo. Modificado de Marinho (1994). Fonte: Barbosa et al., (2012).

O CCM é composto por uma sequência de rochas metassedimentares e metavulcânicas, definidas por Pedreira *et al.* (1975), Marinho *et al.* (1979) e subdivididas por Marinho (1994).

Segundo Marinho (1994), o CCM é subdividido em 3 unidades: sequência inferior, sequência intermediária e sequência superior. A sequência inferior é caracterizada por rochas proclásticas ácidas e metavulcânicas máficas e félsicas, correspondentes às Formações Jurema-Travessão e Barreiro D'anta. Já a sequência intermediária é definida por rochas metavulcanossedimentares, equivalentes às Formações Rio Gavião e Mirante. Enquanto a

CAPÍTULO II

ESTADO DA ARTE

sequência superior é representada por rochas metassedimentares pertencentes a Formação Areião. Todas essas formações supracitadas constituem o Grupo Contendas Mirantes (GCM).

As pesquisas exploratórias na região começaram após Mascarenhas (1976) levantar a hipótese do GCM ser um eventual *Greenstone Belt*. Essa observação fez a Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) realizar uma série de mapeamentos regionais, tendo como objetivo a procura por metais bases na região (Marinho, 1979). Um dos principais projetos realizados pela CBPM foi o Projeto Rio Jacaré (Galvão, 1981), que tinha como objetivo a pesquisa por sulfetos vulcanogênicos de metais bases.

Outro projeto também executado pela CBPM e de bastante relevância foi o Projeto Gulçari (Brito, 1981), sendo responsável por encontrar os primeiros afloramentos do cinturão de metamagnetitito e metagabros da Fazenda Gulçari, local que atualmente corresponde à cava *Campbell*, única mina de Vanádio das Américas, cuja exploração pertence à mineradora Vanádio de Maracás S.A., subsidiária do grupo Largo Resources LTD. Este cinturão de metagabros e metamagnetititos supracitado foi definido por Brito (1984) como o *Sill* do Rio Jacaré (SRJ) que, posteriormente, foi subdividido em zona inferior, de transição e superior. Segundo Brito (1984, 2000) o SRJ pôde ser dividido em três zonas devido a sua diferenciação e estruturação interna:

a) Zona inferior (ZI): caracterizada por gabros de granulometria média com bandas anortosíticas, além de camadas de magnetititos intercalados com gabros e piroxenitos. No contato com as rochas do GCM, há ocorrência de uma faixa de gabro de granulação fina que caracteriza uma provável borda de resfriamento da intrusão.

b) Zona de transição (ZT): caracterizada por cumulos ultramáficos, compostos por cumulos olivina, clinopiroxênio, magnetita e ilmenita, além de cumulos máficos e magnetitaperidotitos. Esta zona apresenta uma grande diversidade textural nos gabros de granulação fina à média, resultante da mistura de magmas distintos;

c) Zona superior (ZS): caracterizada por possuir duas subzonas, uma piroxenítica a anortosítica, ritmicamente bandada apresentando magnetita com acamadamento ígneo e outra gabroica/leucogabroica à anortosítica, com sucessivos níveis bandados.

No trabalho de Brito *et al.* (2016) há uma atualização da estratigrafia do SRJ proposta anteriormente por Brito (2000). Esta atualização se encontra resumida na Tabela 1 e foi realizada com base em trabalhos científicos realizados no SRJ, dentre os quais merecem destaque Marinho (1991), Brito (2000), Avena Neto (1987); Vasconcellos (2015) e Fróes (2015). Além disto, esses trabalhos serviram de suporte para a realização de estudos recentes, dentre os quais se pode citar Carvalho (2018), Almeida (2018) e Jesus (2019).

CAPÍTULO II

ESTADO DA ARTE

Tabela 1: Detalhamento estratigráfico do SRJ (Brito et al., 2016).

Resumo da Atualização da Nova Estratigrafia do SRJ (Brito et al., 2016)			
ZONA SUPERIOR	ZONA SUPERIOR II	ZONA SUPERIOR II C	Constituída por um pacote de 150 m de espessura de metanortosito grosso com metaleucogabro subordinado.
		ZONA SUPERIOR IIB	Exibe na sua base uma camada de magnetito de 5 m de espessura aparente com teores de V_2O_5 inferiores a 0,10%, que grada a rochas metagabroicas que exibem ilmenita como única fase óxido de cúmulo, associada com apatita cumulática. Esse enriquecimento em fósforo e titânio são explicados pelo estágio avançado de diferenciação magmática.
		ZONA SUPERIOR IIA	Constituído por camadas de titano-magnetita vanadifera e ilmenita com acamadamento modal marcado por concentrações de magnetita superiores a 50% na base, seguidos de magnetita metagabros com presença de ilmenita subordinada com teor de óxidos de 40% a 5%, subjacentes a metagabros com magnetita e ilmenita com teores de óxidos inferiores a 5% e tem o seu topo composto por uma camada de anortosito com cerca de 10 m de espessura. As mineralizações de vanádio de teor intermediário estão associadas a base Zona Superior II.
	ZONA SUPERIOR I	Mineralização de vanádio de alto teor está associada à base dessa subzona. Hospeda o depósito de vanádio do alvo A da Fazenda Gulçari, explorado na Mina Menchen pela mineradora Vanádio de Maracás, subsidiária da Largo Resources Ltd.	
ZONA INFERIOR	Metagabros maciços de granulometria média e natureza estéril em vanádio por não conter Ti-magnetita modal. Continuou com a mesma nomenclatura da estratigrafia desenvolvida por Brito (2000).		

2. Aspectos Gerais do Vanádio

Devido à sua versatilidade, aplicabilidade e singularidade, o vanádio é um metal de importância significativa na indústria mundial. Este elemento pode substituir diversos outros metais nas ligas de aço (e.g. manganês, molibdênio, nióbio, titânio e tungstênio), tornando-as mais resistentes ao choque e a corrosão. Adicionalmente, pode substituir o níquel e a platina em catalisadores de alguns processos químicos, principalmente na produção de ácido sulfúrico. É considerado extremamente importante, sobretudo, pelas indústrias automobilísticas e aeroespaciais, por dependerem de ligas de aço vanadífero para a confecção dos seus produtos (USGS, 2020).

CAPÍTULO II

ESTADO DA ARTE

O vanádio ocorre associado à depósitos de rochas fosfáticas, rochas máficas/ultramáficas, arenitos e siltitos uraníferos, carvão, petróleo bruto, xisto betuminoso e areias betuminosas (USGS, 2020). Suas reservas mundias ultrapassam 63 milhões de toneladas e sua produção ocorre sob a forma de subproduto ou coproduto de algum outro elemento, como o titânio. Por este motivo, os recursos mundiais deste elemento não são indicativos dos suprimentos disponíveis na sua totalidade (USGS, 2020). Na Tabela 2, encontram-se as produções e as reservas dos maiores produtores de vanádio em 2019.

Tabela 2: Dados comparativos dos maiores produtores de Vanádio em 2019.

País	Produção (toneladas)	Reservas (toneladas)	Referências
China	40.000	9.500.000	USGS, (2020)
Rússia	18.000	5.000.000	USGS, (2020)
África do Sul	8.000	3.500.000	USGS, (2020)
Brasil	7.000	120.000	USGS, (2020)
EUA	470	45.000	USGS, (2020)
Total	73.470	22.000.000	-

O vanádio pode ser comercializado sob diversas formas, dentre elas se destacam a liga ferrovanádio e o pentóxido de vanádio. Na Tabela 3, observam-se os maiores produtores de pentóxido de vanádio e de ferrovanádio.

Tabela 3: Dados comparativos dos maiores produtores de Pentóxido de Vanádio e de Ferrovanádio em 2019.

Pentóxido de Vanádio		Ferrovanádio		Referências
Produtor	Produção	Produtor	Produção	-
África do Sul	44%	Áustria	48%	USGS, (2020)
Brasil	29%	Canadá	22%	USGS, (2020)
China	11%	Rússia	14%	USGS, (2020)
Taiwan	6%	República da Coreia	11%	USGS, (2020)
Outros	10%	Outros	5%	USGS, (2020)

3. Aspectos Gerais de Complexos Estratificados Máficos-Ultramáficos

Os complexos máficos-ultramáficos, em geral, possuem um enorme potencial econômico, devido ao fato de hospedarem importantes mineralizações metálicas, sobretudo sulfetos de Ni-Cu, óxidos de Fe-Ti-V, Cr, Platinóides e fósforo (Cawthorn et al., 2005). Desse modo, é

CAPÍTULO II

ESTADO DA ARTE

conveniente a caracterização petrográfica, geoquímica e geocronológica destas rochas para explicar os processos os quais elas foram submetidas e compreender sobre sua gênese.

Segundo Wager e Brown (1968), as intrusões estratificadas são corpos ígneos compostos por repetidas camadas, gerados a partir de processos de diferenciação magmática. Devido as mudanças texturais, composicionais e granulométricas das fases minerais, esses corpos, em sua grande maioria, apresentam-se estratificados (Abram, 1993). Devido as variações litológicas existentes, é difícil que apenas um único mecanismo de geração das camadas consiga explicar todas as ocorrências inerentes a um acamadamento ígneo (Naslund e Mcbirney, 1996).

Wager & Brown (1968) caracterizou o conceito de textura de cumulus como um grupo de cristais solidificados no magma e decantados na porção basal da câmara por meio do processo de acumulação gravitacional. Já o conceito de intercumulus foi caracterizado por Wadsworth (1985) como o material que envolve poiquiliticamente os cristais cumuláticos, podendo ou não possuir a mesma composição do líquido magmático intersticial.

Conforme Wager e Brown (1968), a classificação das rochas cumuláticas é realizada de acordo com a relação textural e proporção modal entre os cristais de cumulus e o material intercumulus (Fig. 4), podendo ser classificadas em 4 tipos:

- I) Ortocumulatos: Apresentam entre 15-25% de material intercumulus;
- II) Mesocumulatos: Apresentam entre 7-25% de material intercumulus;
- III) Adcumulatos: Apresentam no máximo 7% de material intercumulus;
- IV) Heteroadcumulatos: Apresentam oikocristais circundando poiquiliticamente os cristais de cumulus;

CAPÍTULO II

ESTADO DA ARTE

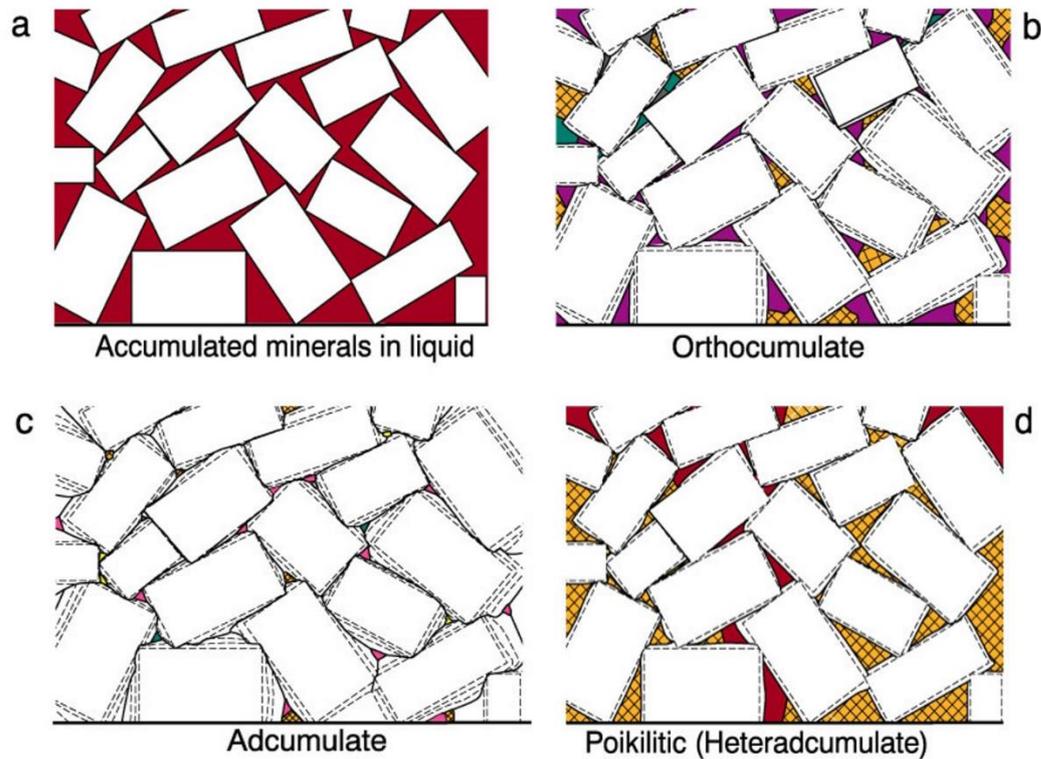


Figura 4: Representação gráfica das texturas cumuláticas. Fonte: Wager & Brown (1968).

Segundo Irvine (1982), a melhor forma de separar compartimentos estratigráficos de uma intrusão máfica-ultramáfica seria utilizando os critérios de surgimento e desaparecimento de uma fase de cúmulos, podendo assim subdividi-las em zonas, subzonas e demais unidades estratigráficas.

4. Depósitos de Fe-Ti-V Ortomagmáticos

Segundo Gross (1996), as intrusões ígneas acamadadas que contêm os depósitos de Fe-Ti-V podem ser classificadas de acordo com o óxido predominante e associação petrogenética: (i) tipo ilmenita (Ti), comumente relacionado à rochas anortosíticas e (ii) tipo titanomagnetita (Fe-Ti), geralmente, associado às sequências gabroanortosíticas.

De acordo com Staton (1972), a gênese dos óxidos de Fe-Ti-V cumuláticos está diretamente relacionada aos processos magmáticos, sobretudo, à acumulação gravitacional, à segregação de líquidos e à cristalização fracionada. Adicionalmente têm-se a mistura de magmas, a fugacidade de oxigênio e as mudanças de pressão. Segundo Cawthorn e Ashwal (2009), os processos mais

CAPÍTULO II

ESTADO DA ARTE

admitidos são a cristalização fracionada e a imiscibilidade de líquidos, contudo, outros processos podem ocorrer associados.

Além dos processos supracitados, outros mecanismos podem interferir na formação dos estratos ígneos, como por exemplo as correntes de convecção magmática e a alteração dos seus movimentos (Hess e Smith, 1960); contaminação por fusão de crosta a partir de rochas encaixantes (Irvine, 1976); um novo pulso magmático (Irvine, 1977) e; a cristalização de uma lente estagnada na base da intrusão (Jackson, 1961).

Reynolds (1985) determinou que as condições físico-químicas necessárias para que se forme quantidades significativas dos óxidos de Fe-Ti-V dependem de um longo período de cristalização fracionada, de modo a concentrar ferro e oxigênio no magma residual. Ademais, foi determinado que a razão $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ do líquido é um fator determinante no processo de formação dos óxidos de Fe-Ti-V.

5. Principais Depósitos

Dentre os principais depósitos de titanomagnetita vanadífero do mundo, pode-se destacar: O complexo de Bushveld, na África do Sul, o depósito de Panzhihua, na China, e o Distrito Vanadífero de Maracás, no Brasil.

O complexo de Bushveld possui cerca de 25 camadas de magnetitito vanadífero, sendo a principal delas denominada de *main magnetite layer*. Essa camada possui cerca de 1,5 metros de espessura média e apresenta um teor de aproximadamente 1,5% de V_2O_5 (Tegner *et al.*, 2006). Essas camadas de magnetitito se formaram através da diferenciação em câmara magmática estagnada, onde se formou camadas de magnetita através da cristalização fracionada e a segregou através da acumulação gravitacional. Além desses processos, alguns autores admitem outros mecanismos como de suma importância para a formação dessas camadas como, por exemplo, a mudança de pressão entre os fluidos magmáticos devido ao resfriamento da câmara (Cawthorn e Ashwal, 2009), imiscibilidade por diferença de densidade entre líquido silicático e o oxi-sulfetado (Reynolds, 1985), difusão (Kruger e Smart, 1987), e acumulação gravitacional (Wager e Brown, 1968).

O depósito de Panzhihua é caracterizado por ser um sistema magmático aberto (Shellnutt e Jahn, 2010; Song *et al.*, 2013). Além disso, de acordo com Pang *et al.* (2009), houve dois eventos de alimentação magmática por uma fonte mais primitiva ferro-picrítica. Song *et al.* (2013) investigou as diversas unidades cíclicas geradas como resposta dessas realimentações magmáticas.

O Distrito Vanadífero de Maracás está inserido no *Sill* do Rio Jacaré corresponde a uma faixa de 70 km de extensão composto por rochas máficas-ultramáficas. Segundo Brito (2000), o SRJ é um sistema magmático aberto, produto de uma realimentação periódica por três fluxos

CAPÍTULO II

ESTADO DA ARTE

magmáticos. De acordo com Brito e Nonato (2014), o SRJ dispõe das maiores reservas de vanádio das Américas. O principal depósito de vanádio do SRJ é denominado Gulçari A, e detém de uma reserva estimada com aproximadamente 13,1 milhões de toneladas de minério, com teor médio de V_2O_5 de 1,34%.

CAPÍTULO III

ARTIGO

Mapeamento e caracterização petrográfica do depósito de titano-magnetita vanadífera do Alvo Gulçari A Sul, Maracás/BA - Contribuição para o entendimento da geologia econômica do *Sill* do Rio Jacaré

Mapping and petrographic characterization of the Titanium-Magnetite Vanadiferous Deposit of Gulçari-A South, Maracás – BA – Contribution for an understanding of the Rio Jacaré Sill 's Economic Geology

RESUMO

O Sill do Rio Jacaré (SRJ), localizado no Distrito Vanadífero de Maracás (DVM), hospeda os maiores recursos de vanádio das américas. Essa mineralização está contida em um grupo de camadas de rochas ricas em magnetita, sendo a principal delas o metamagnetito. O SRJ contém, até o momento, seis alvos exploratórios: Gulçari A (GA), Gulçari A Norte (GAN), Gulçari A Sul (GAS), São José (SJ), Novo Amparo (NAO) e Novo Amparo Norte (NAN). Atualmente, as maiores concentrações de vanádio estão contidas no alvo GA, local onde está situada a única mina de vanádio das américas. O presente trabalho foi realizado no alvo GAS, que está localizado a 200 metros da cava campbell. O objetivo principal do estudo é de confeccionar um mapa geológico na escala 1:10.000 de uma área de cerca de 7 km² e a caracterização petrográfica das principais litologias cartografadas. Para auxiliar tais atividades, foram descritos quatro furos de sondagem: FGAS-02, FGAS-05, FGAS-09 e FEXP-04. Foram descritas dezesseis lâminas delgadas polidas, sendo quinze de rochas do SRJ e uma da intrusão metatonalítica. A integração do mapa geológico com a análise petrográfica teve como resultado a interpretação de cinco domínios geológicos, a saber: (i) rochas metavulcânicas e metassedimentares da Formação Mirante; (ii) rochas máficas/ultramáficas do SRJ; (iii) intrusão metatonalítica; (iv) gnaiss Pé de Serra e; (v) hornblenda gnaiss do Complexo Granulítico Jequié. No domínio do SRJ, as rochas foram separadas em cinco subdomínios de acordo com sua posição estratigráfica: Zona inferior; zona superior I; zona superior IIA; zona superior IIB; zona superior IIC. Assim sendo, essa pesquisa permitiu a delimitação dos contatos geológicos com um maior detalhamento, e a estruturação litoestratigráfica das rochas de modo a contribuir para a evolução do conhecimento metalogenético do SRJ.

Palavras-chave: Sill do Rio Jacaré; Vanádio; Gulçari A Sul.

ABSTRACT

The Jacaré River Sill (SRJ), located in the Maracás Vanadiferous District (DVM), hosts the largest vanadium resources in the Americas. This mineralization is contained in a group of layers of rocks rich in magnetite, the main one being metamagnetite. The SRJ contains, so far, six exploratory targets: Gulçari A (GA), Gulçari A North (GAN), Gulçari A South (GAS), São José (SJ), Novo Amparo (NAO) and Novo Amparo Norte (NAN). Currently,

CAPÍTULO III

ARTIGO

the highest concentrations of vanadium are contained in target GA, where the only vanadium mine in the Americas is located. The present work was carried out on the GAS target, which is located 200 meters from the Campbell pit. The main objective of the study is to make a geological map on the scale 1: 10,000 of an area of about 7 km² and the petrographic characterization of the main mapped lithologies. To aid such activities, four drillholes were described: FGAS-02, FGAS-05, FGAS-09 and FEXP-04. Sixteen polished thin sections were described, fifteen of SRJ rocks and one of metatonalitic intrusion. The integration of the geological map with petrographic analysis resulted in the interpretation of five geological domains, namely: (i) metavolcanic and metasedimentary rocks of the Mirante Formation; (ii) mafic / ultramafic rocks of the SRJ; (iii) metatonalitic intrusion; (iv) Pé de Serra e gneiss; (v) hornblende gneiss from the Jequié Granulitic Complex. In the SRJ domain, the rocks were separated into five subdomains according to their stratigraphic position: Lower zone; upper zone I; upper zone IIA; upper zone IIB; upper zone IIC. Therefore, this research allowed the delimitation of the geological contacts in greater detail, and the lithostratigraphic structuring of the rocks in order to contribute to the evolution of the SRJ's metallogenetic knowledge. Key words: Rio Jacaré Sill; Vanadium; Gulçari A South.

Key words: Vanadium; Rio Jacaré Sill; Gulçari A South.

1. INTRODUÇÃO

Considerado como um metal de grande importância na economia mundial, o Vanádio tem uma expressiva aplicação, sobretudo na indústria aeroespacial, automobilística e na construção civil, em razão do seu comportamento físico-químico. Esse amplo conjunto de utilidades deriva do fato do vanádio, quando presente em ligas de aço, a resistência à corrosão e ao choque aumenta substancialmente. Em geral, pode ser extraído de fontes variadas, desde intrínseco a estrutura cristalina dos minerais, bem como no petróleo, e no carvão. Dentre os minerais, destaca-se a titanomagnetita, comum em depósitos ortomagmáticos.

Os depósitos ortomagmáticos de Fe-Ti-V podem ser categorizados em dois tipos de acordo com o óxido predominante e associação petrográfica, sendo eles: (i) Tipo Ilmenita, cujo óxido predominante é a ilmenita, associada a complexos anortosíticos e; (ii) Tipo Titanomagnetita, no qual o óxido predominante é a titanomagnetita, relacionada a complexos estratificados gabro-anortosíticos (Gross, 1996). Nos depósitos do tipo (ii), encontram-se os principais depósitos de Vanádio do mundo, a exemplo de Bushveld, na África do Sul (Tegner *et al.*, 2006), Mustavaara, na Rússia (Karinen *et al.*, 2015), Panzhihua, na China (Mao *et al.*, 2005), e Maracás, no Brasil (Brito, 2000).

No Distrito Vanádífero de Maracás (DVM), localizado no Brasil, têm-se as maiores reservas de pentóxido de vanádio (V₂O₅) das Américas (Brito e Nonato, 2014). Situado no *Sill* do Rio Jacaré (SRJ), o DVM está hospedado em uma intrusão máfica/ultramáfica posicionada geotectonicamente entre os Blocos Gavião e Jequié, na porção centro norte do Cráton do São Francisco (CSF) (Almeida, 1977). Segundo Brito (1984), na composição no SRJ predomina corpos metagabros, anfíbolitos e magnetitos, com cerca de 70 km de extensão e direção submeridiana.

CAPÍTULO III

ARTIGO

A fim de integrar os dados geológicos de exploração do depósito de titanomagnetita vanadífera do alvo Gulçari A Sul (GAS), este trabalho objetiva identificar as características petrográficas das principais litologias desse alvo a fim de colaborar para o entendimento da geologia econômica do SRJ.

2. CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A área de estudo está inserida, geotectonicamente, na porção nordeste do Cráton São Francisco (CSF), entre dois blocos Arqueano-Paleoproterozoicos, o Gavião e o Jequié (Almeida, 1971) (Fig. 5). Em termos geológicos, a área de estudo se encontra entre os domínios do Complexo Granulítico Jequié e a Sequência Vulcanossedimentar Contendas-Mirante.

O Complexo Granulítico Jequié é caracterizado por um conjunto de rochas metamorfizadas em fácies granulito, constituídos por rochas heterogêneas que possuem enclaves de rochas supracrustais (Barbosa e Sabaté, 2002). Intrusões charnockíticas colocadas tardiamente no Bloco Jequié contribuíram para o desenvolvimento de fusões parciais nas rochas supracrustais, gerando os granitos “tipo S” (Barbosa *et al.*, 2004).

CAPÍTULO III

ARTIGO

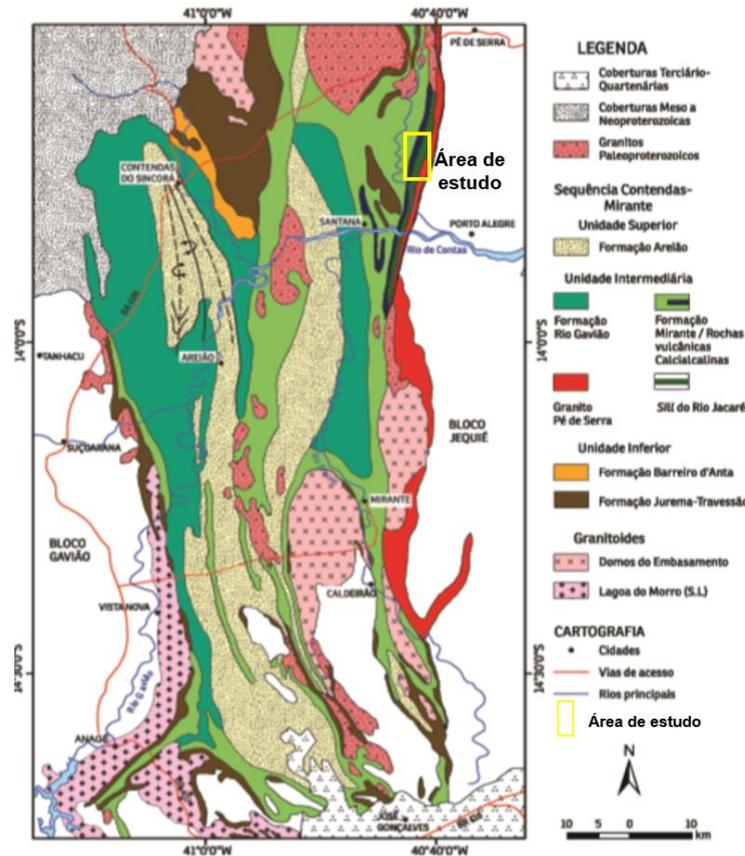


Figura 5: Mapa geológico da Faixa Contendas-Mirante com a delimitação da área de estudo. Modificado de Marinho (1994). Fonte: Barbosa et al., (2012).

O CCM é composto por uma sequência de rochas metassedimentares e metavulcânicas, definidas por Pedreira *et al.* (1975), Marinho *et al.* (1975) e subdivididas por Marinho (1994). Segundo Marinho (1994), o CCM é formado por três sequências: inferior, intermediária e superior. A sequência inferior é caracterizada por rochas piroclásticas ácidas e metavulcânicas máficas e félsicas, de idade mesoarqueana, correspondentes às Formações Jurema-Travessão e Barreiro D'anta. Já a sequência intermediária é definida por rochas metavulcanossedimentares, de idade neoarqueana, equivalentes às Formações Rio Gavião e Mirante. A sequência superior, representada por rochas metassedimentares de idade paleoproterozoica, compõe a Formação Areião.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O levantamento bibliográfico consiste na primeira etapa da pesquisa com utilização da base de dados geológicos e geofísicos locais e regionais. Posteriormente, mapas geofísicos locais de aeromagnetometria e de magnetometria terrestre existentes na escala de 1:10.000 possibilitou a

CAPÍTULO III

ARTIGO

identificação das principais anomalias geofísicas. Mapas foram confeccionados de modo a auxiliar a realização da campanha de campo, realizada em uma área de aproximadamente 7 (sete) km². Para a confecção dos mapas foi utilizado o software ArcGis 10.7. Já as ilustrações dos furos de sondagem e os gráficos das interpretações geoquímicas foram realizados no software Leapfrog Geo 5.0.3 e a seção geológica foi confeccionada através do software CorelDRAW 2019.

Uma malha de 259 pontos foi descrita com base em parâmetros como composição mineralógica, textura, granulometria, susceptibilidade magnética, grau de metamorfismo e estruturas. Após a etapa de campo, um mapa geológico na escala de 1:10.000, e uma seção geológica representativa foram confeccionados. Ademais, quatro furos de sondagem foram descritos (FGAS-02, FGAS-05, FGAS-09 e FEXP-04) de maneira a correlacionar as litologias mapeadas e caracterizar os pacotes estratigráficos do *Sill* do Rio Jacaré no alvo Gulçari A Sul. Um total de 16 amostras, distribuídas de forma representativa na área de estudo, foram selecionados para a confecção de lâminas delgadas polidas. As lâminas delgadas polidas foram descritas no laboratório de Mineralogia Ótica e Petrografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (UFBA) com objetivo identificar, com base na petrografia, assembleias minerais descritas nos furos de sondagem e representantes das principais unidades litológicas da área de estudo. Ao final, a intergração dos dados resultou na interpretação das sequências estratigráficas mineralizadas em vanádio do alvo Gulçari A Sul (GAS).

4. RESULTADOS

4.1. Caracterização Geológica e Petrográfica

Na composição do mapa geológico na escala 1:10.000, foram delimitados 11 (onze) litologias através de dados de afloramentos, blocos subaflorantes e em algumas situações, devido à escassez de afloramentos, informações de blocos rolados e dos mapas geofísicos. Ademais, as informações subsuperficiais obtidas de furos de sondagem permitiu a projeção de algumas litologias e a definição de contatos litológicos.

4.1.1. Depósitos aluvionares

Os depósitos aluvionares ocorrem ao longo das redes de drenagem ativa e ocupam cerca de 3% da área de estudo. É composto por material inconsolidado representado por fragmentos de rochas, de quartzo hialino e leitoso. Em geral, são subarredondados a subangulosos, mal selecionados e imaturos texturalmente, reflexo da ampla variação granulométrica que varia desde areia fina a matação. Possuem cerca de 10 metros de largura, podendo atingir até 20 metros em algumas regiões (Fig. 6).

CAPÍTULO III

ARTIGO

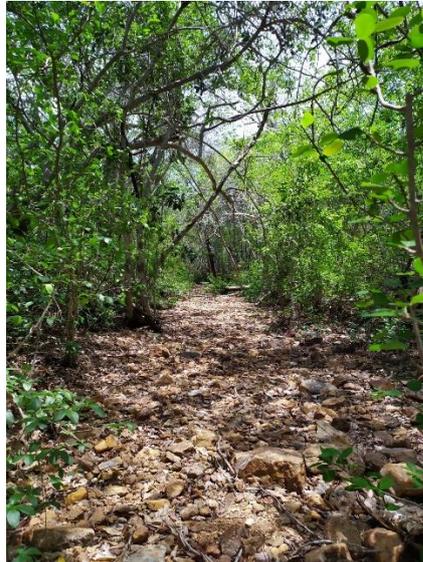


Figura 6: Depósito Aluvionar do leito do Riacho do João.

4.1.2. *Metatonalito*

Ocorre na porção centro-sul da área de estudo, com distribuição em cerca de 14% da área total (Fig. 7A, B, C). Está disposto na forma de lajedos contínuos, com cotas que variam entre 305 e 320m. Um solo marrom pálido de textura areno-argilosa está associado a essa unidade. Em geral, são rochas leucocráticas, de coloração cinza a branco, com granulometria fina a média, equigranular e, por vezes, foliada. Sua composição mineralógica consiste em quartzo (40%), plagioclásio (32%), hornblenda (15%), biotita (8%), magnetita (4%) e apatita (1%).

CAPÍTULO III

ARTIGO

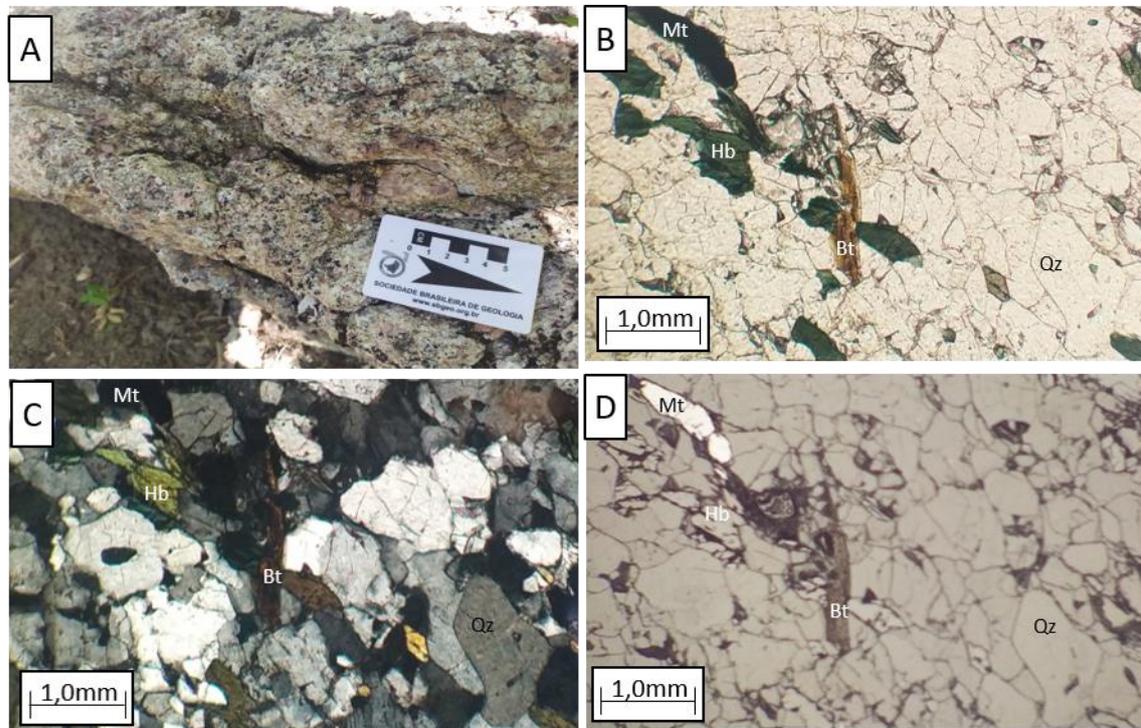


Figura 7: A) Afloramento do metatonalito.. B) Microfotografia do metatonalito em luz plana, em luz polarizada (C) e em luz refletida (D).

4.1.3. *Gnaiss pé de serra*

Unidade comum na porção leste da área e perfaz cerca de 23% da área total. Dispõe-se na forma de pequenos morros, alinhados em um *trend* N-S, e lajedos contínuos em cotas que variam entre 300 e 350 metros. Ocorre associado a um solo de coloração avermelhada e de textura areno-argilosa. Essa unidade é caracterizada por rochas leucocráticas, de coloração rosa a cinza, com granulometria fina a média, equigranular, foliada e, por vezes, bandada (Fig. 8). É composto por quartzo (36%), K-feldspato (31%), plagioclásio (20%), biotita (8%) e magnetita (5%).

CAPÍTULO III

ARTIGO

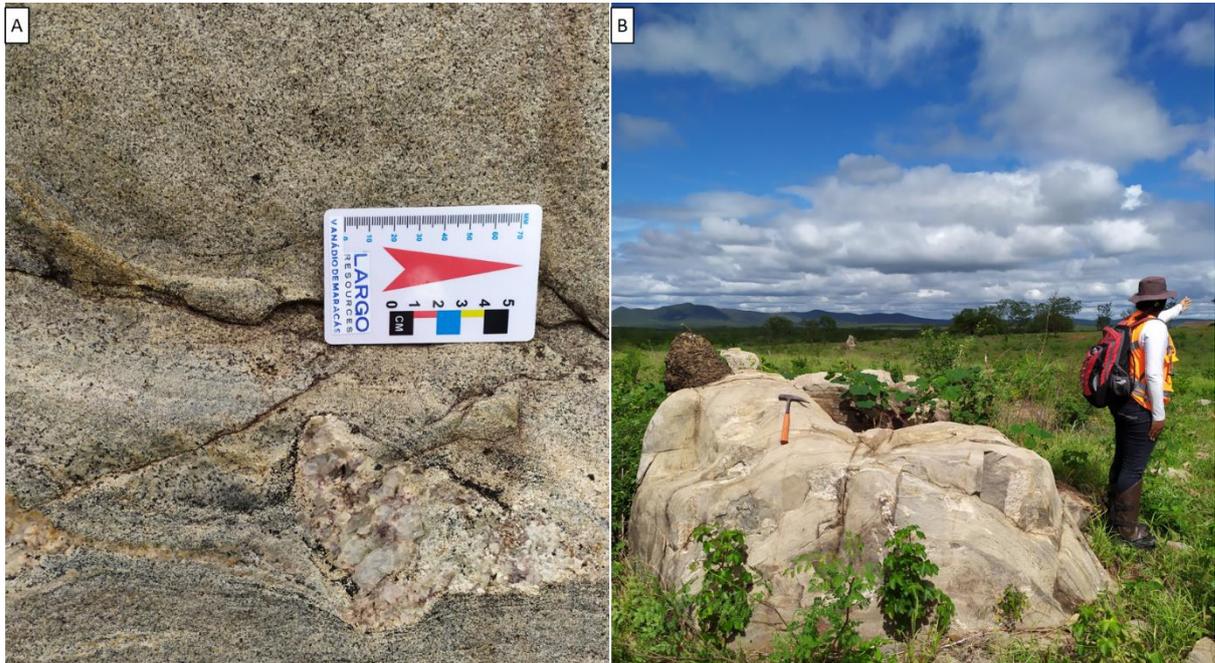


Figura 8: A) Afloramento em perfil do Gnaiss Pé de Serra com um pórfiroblasto com cinemática sinistral. B) Afloramento em lajedo do Gnaiss Pé de Serra.

4.1.4. *Sill do Rio Jacaré*

O *Sill* do Rio Jacaré é representado por rochas máficas e ultramáficas, como os metamagnetitos, magnetita metagabros, magnetita metapiroxenitos, metagabros, metapiroxenitos e metanortositos, subdivididos. Para classificar e distinguir as rochas do *Sill*, foi utilizado a compartimentação estratigráfica de Brito *et al.* (2016). Já na descrição petrográfica, o diagrama de Plagioclásio-Piroxênio-Hornblenda de Streckeisen (1976) foi utilizado na classificação das rochas máficas/ultramáficas.

4.1.4.1. Zona inferior

Ocorre no bordo oeste do SRJ em contato direto com as rochas da sequência Vulcano-Sedimentar Contendas-Mirante. Em geral, apresenta o mesmo *trend* do SRJ, NE-SW, dispostos na forma de blocos subaflorantes com cotas que variam de 280 a 300 metros e espessuras da ordem de 50 metros. Uma litologia, meso a melanocrática ocorre associada a essa zona, com composição gabróica, granulometria fina e isotrópica (Fig. 9). Atribui a essa zona a interpretação de uma provável margem de resfriamento rápido do magma na intrusão com as rochas encaixantes (Brito, 2000).

CAPÍTULO III

ARTIGO



Figura 9: Microgabro de bordo com granulometria fina.

4.1.4.2. Zona superior I

No alvo Gulçari A Sul ocorre apenas a porção superior dessa zona, situada na porção centro-oeste. Corresponde a uma faixa de 200 e 400 metros de espessura. Em geral, possui o mesmo *trend* NE-SW do SRJ e dispõe-se na forma de blocos subaflorantes em cotas que variam de 280 a 300 metros. Duas litologias estão associadas: titanio biotita hornblenda metagabro e metanortosito (Fig. 10) Com composições modais desses litotipos estabelecidos na Tabela 04.

CAPÍTULO III

ARTIGO

Tabela 4: Composições modais das rochas da zona superior I. Plagioclásio (Pl), Hornblenda (Hb), Biotita (Bt), Magnetita (Mt), Calcopirita (Cpy), Pirita (Py) e Epídoto (Ep).

Lâmina	Nome da Rocha	Pl	Hb	Bt	Mt	Cpy	Py	Ep
GLS-14	Metanortosito	81	8	-	2	3	2	4
GLS-15	Titano Biotita Hornblenda Metagabro	34	45	20	-	-	1	-

O titano biotita hornblenda metagabro (Fig. 11A, B) é uma rocha inequigranular, subidioblástica a xenoblástica, com contatos que variam de poligonal a interlobado e possui cristais que variam de 0,1mm a 2,0mm dispostos em uma trama textural lepidoblástica e granoblástica decussada. A rocha é composta por 45% de hornblenda, 34% de plagioclásio, 20% de biotita e 1% de pirita. Em geral, os cristais de plagioclásio estão saussuritizados.

O metanortosito (Fig. 11C, D) é uma rocha inequigranular, com minerais que variam de 0,1mm a 1,0mm, subidioblástico a xenoblástico, contatos interlobados e poligonais. A textura é granoblástica decussada. A rocha é composta por 81% de plagioclásio, 8% de hornblenda, 4% de epídoto, 3% de calcopirita, 2% de magnetita e 2% de pirita. Devido ao metamorfismo, os cristais de plagioclásio estão em alto nível de saussuritização.

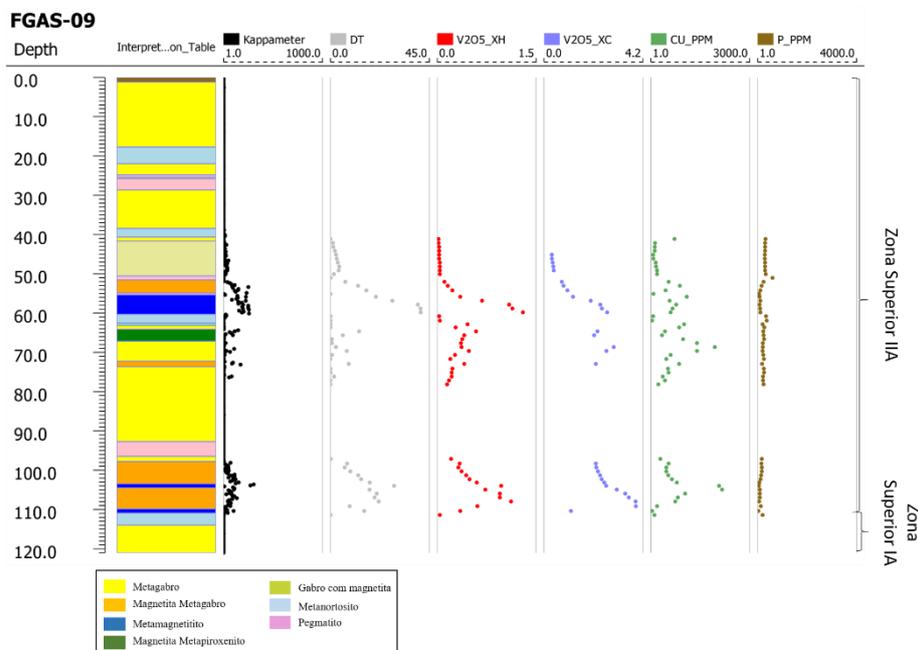


Figura 10: Descrição geológica do furo FGAS-09 e alguns parâmetros químicos.

CAPÍTULO III

ARTIGO

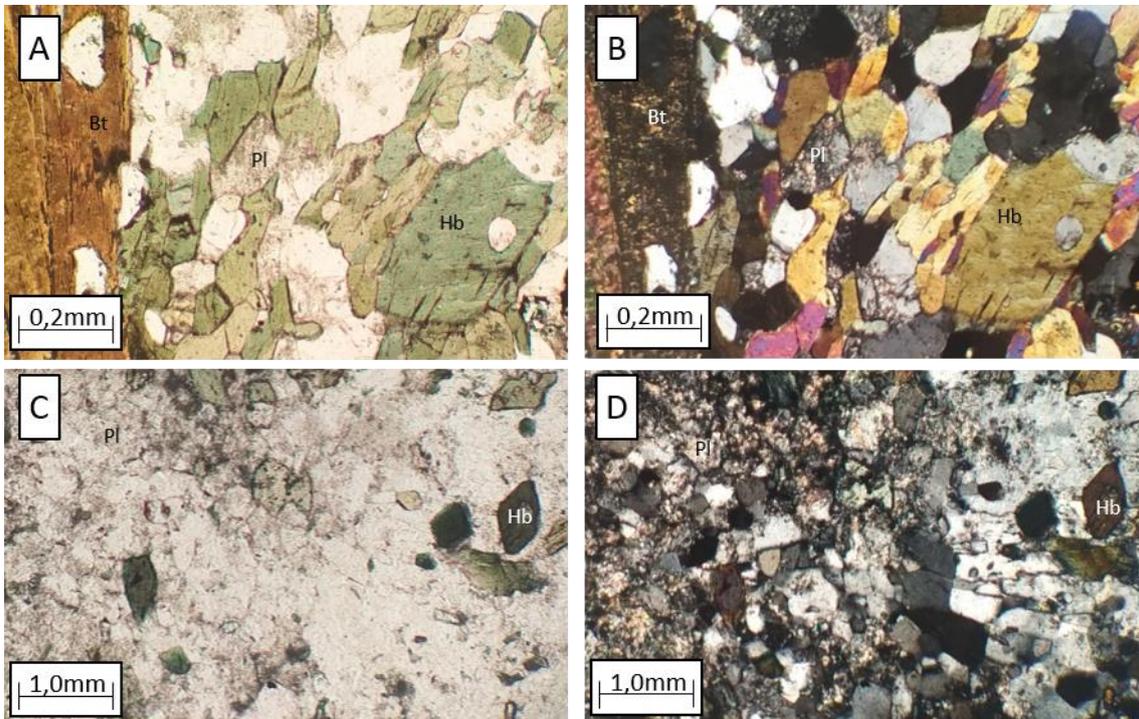


Figura 11: Prancha de fotos dos litotipos da Zona Superior IA. Microfotografia da titanita biotita hornblenda metagabro em luz plana (A) e em luz polarizada (B) Microfotografia do metanortosito em luz plana (C) e em luz polarizada (D).

4.1.4.3. Zona superior II

4.1.4.3.1. Zona superior II A

Está localizada na porção centro-oeste em uma faixa com espessura que varia de 120 e 200 metros. Possui o mesmo *trend* NE-SW do SRJ. Em geral, estão dispostos na forma de blocos subaflorantes em cotas que variam de 290 a 310 metros. É caracterizada pela ocorrência de dois ciclos de intrusão magmática, delimitados por conta da estratificação de fase e marcadas pelo aparecimento de magnetita de cumulus. (Fig. 12).

CAPÍTULO III

ARTIGO

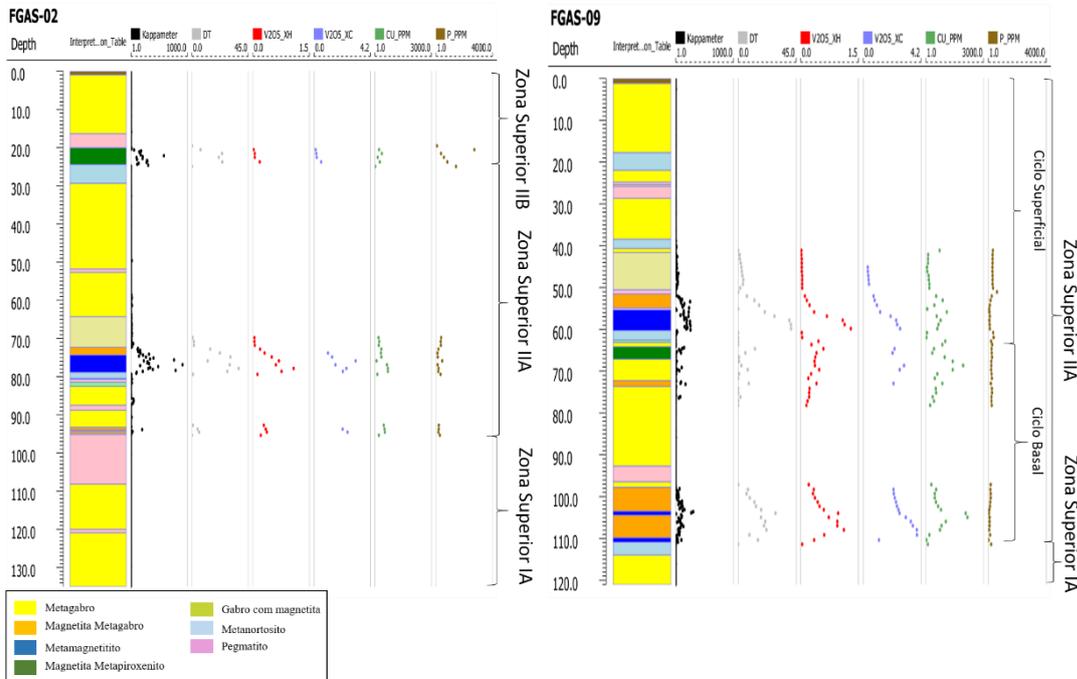


Figura 12: Correlação das descrições geológicas dos furos FGAS-09 e FGAS-02, demonstrando o início e o fim da zona superior IIA, e seus dois ciclos de intrusão magmática.

No ciclo basal ocorre a sequência estratigráfica metamagnetitito, magnetita-metagabro, metagabro e melanortosito, o que evidencia a cristalização fracionada que acontece dentro dos ciclos. A principal validação é que enquanto a magnetita modal diminui em relação ao topo da sequência, o plagioclásio modal aumenta. A importância desse ciclo consiste na presença de uma camada mineralizada com teor médio de 25% de minerais magnéticos (DT), 0,72% de V_2O_5 na análise de rocha total (XH) e 2,91% de V_2O_5 na análise do concentrado magnético (XC). As composições modais dos litotipos associados ao ciclo basal da zona superior IIA encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5: Composições modais das rochas do ciclo basal da zona superior IIA em porcentagem. Plagioclásio (Pl), Hornblenda (Hb), Clinopiroxênio (Cpx), Biotita (Bt), Granada (Grn), Magnetita (Mt), Ilmenita (Il), Calcopirita (Cpy), Pirita (Py), Titanita (Ti) e Epidoto (Ep).

Lâmina	Nome da Rocha	Pl	Hb	Cpx	Bt	Grn	Mt	Il	Cpy	Py	Ti	Ep
GLS-10	Metanortosito	85	8	3	-	-	-	2	<1	-	<1	1
GLS-11	Magnetita Hornblenda Metagabronorito	20	30	15	15	-	5	8	3	4	-	-
GLS-12	Magnetita Hornblenda Metagabronorito	30	17	10	8	15	9	3	4	3	-	1
GLS-13	Magnetita Metahornblendito	-	70	-	5	9	15	1	-	-	-	-

O magnetita metahornblendito (Fig. 13a, b, c) é composta por 70% de hornblenda, 15% de magnetita, 9% de granada, 5% de biotita e 1% de ilmenita. É equigranular, subidioblástica, com

CAPÍTULO III

ARTIGO

contatos poligonais e interlobados e textura granoblástica decussada. O tamanho dos minerais varia de 0,8mm a 0,2mm. Devido o metamorfismo, têm-se cristais de hornblenda como resultado da uralitização dos piroxênios.

O Magnetita Hornblenda Metagabronorito (GLS-12D, E, F) (Fig. 13) é uma rocha inequigranular, subidioblástica, com grãos curvos e interlobados variando de 0,1mm a 5mm. Apresenta textura lepidoblástica e nematoblástica. Os minerais de plagioclásio encontram-se, por vezes, saussuritizados. A composição mineralógica é 30% de plagioclásio, 17% de hornblenda, 15% de granada, 10% de cpx, 9% de magnetita, 8% de biotita, 4% de calcopirita, 3% de pirita e 3% de ilmenita.

O Magnetita Hornblenda Metagabronorito (GLS-11) (Fig. 13G, H) é composta de 30% de hornblenda, 20% de plagioclásio, 15% de clinopiroxênio, 15% de biotita, 8% de ilmenita, 5% de magnetita, 4% de pirita e 3% de calcopirita. Os grãos dispõem-se curvos e interlobados e variam de 0,1mm a 1,3mm de diâmetro. Em geral, são inequigranulares, subidioblásticas a xenoblásticas. Possui textura lepidoblástica e nematoblástica.

O Metanortosito (Fig. 13i, j) é uma rocha equigranular, idioblástica a subidioblástica. Os grãos variam de 0,1mm a 1,0mm de diâmetro com contatos poligonais e interlobados. Possui textura de cumulus representado pelo plagioclásio e a hornblenda como intercumulus. O plagioclásio, por vezes, estão saussuritizados. A composição mineralógica é 85% de plagioclásio, 8% de hornblenda, 3% de clinopiroxênio, 2% de ilmenita, <1% de titanita e <1% de calcopirita.

CAPÍTULO III

ARTIGO

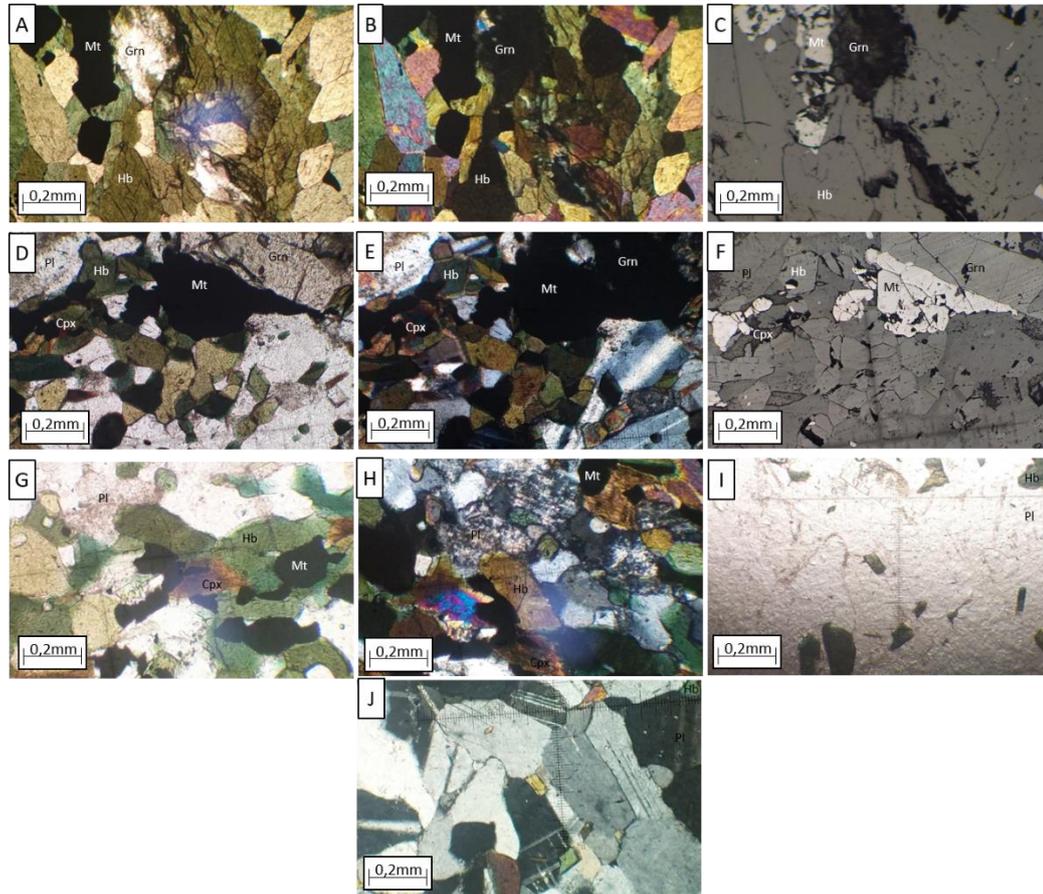


Figura 13: Prancha de fotos dos litotipos do ciclo basal da Zona Superior IIA. Microfotografia da magnetita metahornblendito em luz plana (A), em luz polarizada (B) e em luz refletida (C). Microfotografia da magnetita hornblenda metagabronorito (GLS-12) em luz plana (D), em luz polarizada (E) e em luz refletida (F). Microfotografia da magnetita hornblenda metagabronorito (GLS-11) em luz plana (G), em luz polarizada (H) Microfotografia do metanortosito em luz plana (I) e em luz polarizada (J).

Já no ciclo do topo, ocorre uma sequência estratigráfica bem definida, na seguinte ordem: metamagnetito, magnetita metagabro e metagabro- metanortosito. Essa sequência evidencia a atuação da cristalização fracionada no ciclo com a diminuição da magnetita modal e aumento do plagioclásio modal em direção ao topo da sucessão. Esse ciclo possui uma camada mineralizada que possui um teor médio de 29% de minerais magnéticos (DT), 0,70% de V_2O_5 na análise de rocha total (XH) e 1,76% de V_2O_5 na análise do concentrado magnético (XC). As composições modais dos litotipos associados ao ciclo superficial da zona superior IIA encontram-se na Tabela 6.

CAPÍTULO III

ARTIGO

Tabela 6: Composições modais das rochas do ciclo superficial da zona superior IIA. Plagioclásio (Pl), Hornblenda (Hb), Biotita (Bt), Granada (Grn), Magnetita (Mt), Ilmenita (Il), Calcopirita (Cpy), Pirita (Py) e Epídoto (Ep).

Lâmina	Nome da Rocha	Pl	Hb	Bt	Grn	Mt	Il	Cpy	Py	Ep
GLS-07	Metanortosito	90	10	-	-	-	-	-	-	-
GLS-08	Magnetita Hornblenda Metagabro	14	17	10	10	23	18	4	3	2
GLS-09	Metamagnetitito	7	17	8	15	35	13	3	2	-

O metamagnetitito (Fig. 14A, B, C) é uma rocha inequigranular, subidioblástica a xenoblástica, com grãos variando de 0,1mm a 7,00mm de diâmetro e limite entre os grãos curvos e interlobados. Possui textura nematoblástica e de cumulus, com a magnetita e hornblenda sendo o mineral de cumulus e intercumulus, respectivamente. Há presença de porfiroblastos de granada. Sua composição mineralógica é 35% de magnetita, 17% de hornblenda, 15% de granada, 13% de ilmenita, 8% de biotita, 7% de plagioclásio, 3% de calcopirita e 2% de pirita.

O magnetita hornblenda metagabro (Fig. 14D, E, F) têm como composição mineralógica 23% de magnetita, 18% de ilmenita, 17% de hornblenda, 14% de plagioclásio, 10% de granada na forma de porfiroblastos, 10% de biotita, 4% de calcopirita, 2% de pirita e 2% de epídoto. A rocha é inequigranular, subidioblástica a xenoblástica. Os grãos variam de 0,2mm a 4,00mm, com contato curvo e interlobado entre os grãos disposto em uma trama textural nematoblástica, lepidoblástica e de cumulus, com a magnetita cumulus e a hornblenda intercumulus. Os minerais de plagioclásio, por vezes, estão saussuritizados.

O metanortosito (Fig. 14G, H) é uma rocha equigranular, idioblástica a subidioblástica. Apresenta grãos de 0,2mm a 2,00mm de diâmetro em contato poligonal e interlobado e textura granoblástica e de cumulus, com o plagioclásio como cumulus e a hornblenda intercumulus. A composição mineralógica consiste em 90% de plagioclásio, por vezes saussuritizados, e 10% de hornblenda.

CAPÍTULO III

ARTIGO

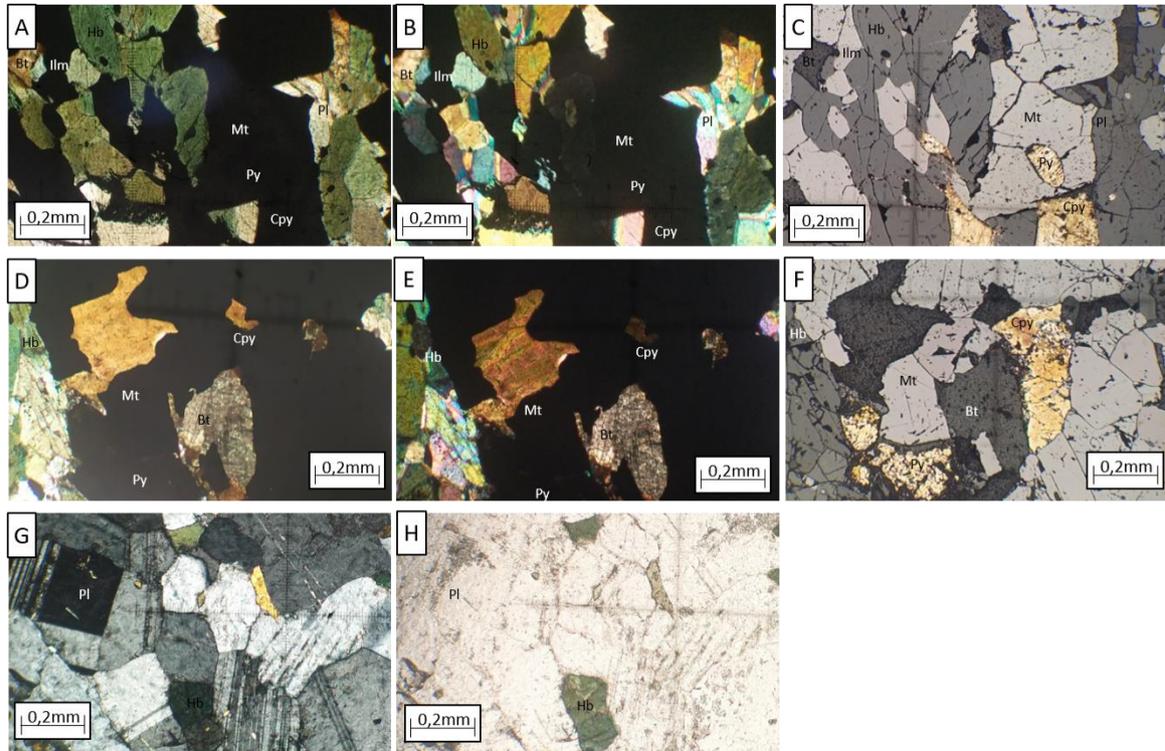


Figura 14: Microfotografia do metamagnetito em luz plana (A), em luz polarizada (B) e em luz refletida(C). Microfotografia do magnetita metagabro em luz plana (D), em luz polarizada (E) e em luz refletida (F). Microfotografia do metanortosito em luz plana (G) e em luz polarizada (H).

4.1.4.3.2. Zona superior II B

As rochas dessa zona se distribuem na porção centro-leste como uma faixa com espessura entre 200 e 400 metros. Apresenta o mesmo *trend* NE-SW do SRJ na forma de blocos subaflorentes em cotas que variam de 280 a 310 metros. Em geral, é caracterizada pela ocorrência de três ciclos de intrusão magmática (Fig. 15).

No ciclo basal há uma sequência estratigráfica na seguinte ordem: magnetita metapiroxenito – metagabro. Em geral, é uma evidência da atuação da cristalização fracionada no ciclo, relacionado à diminuição da magnetita modal e o aumento do plagioclásio modal em direção ao topo. Esse ciclo apresenta uma camada mineralizada que possui um teor médio de 23% de minerais magnéticos (DT), 0,09% de V_2O_5 na análise de rocha total (XH) e 0,30% de V_2O_5 na análise do concentrado magnético (XC). As composições modais dos litotipos associados ao ciclo basal da zona superior IIB encontram-se na Tabela 7.

CAPÍTULO III

ARTIGO

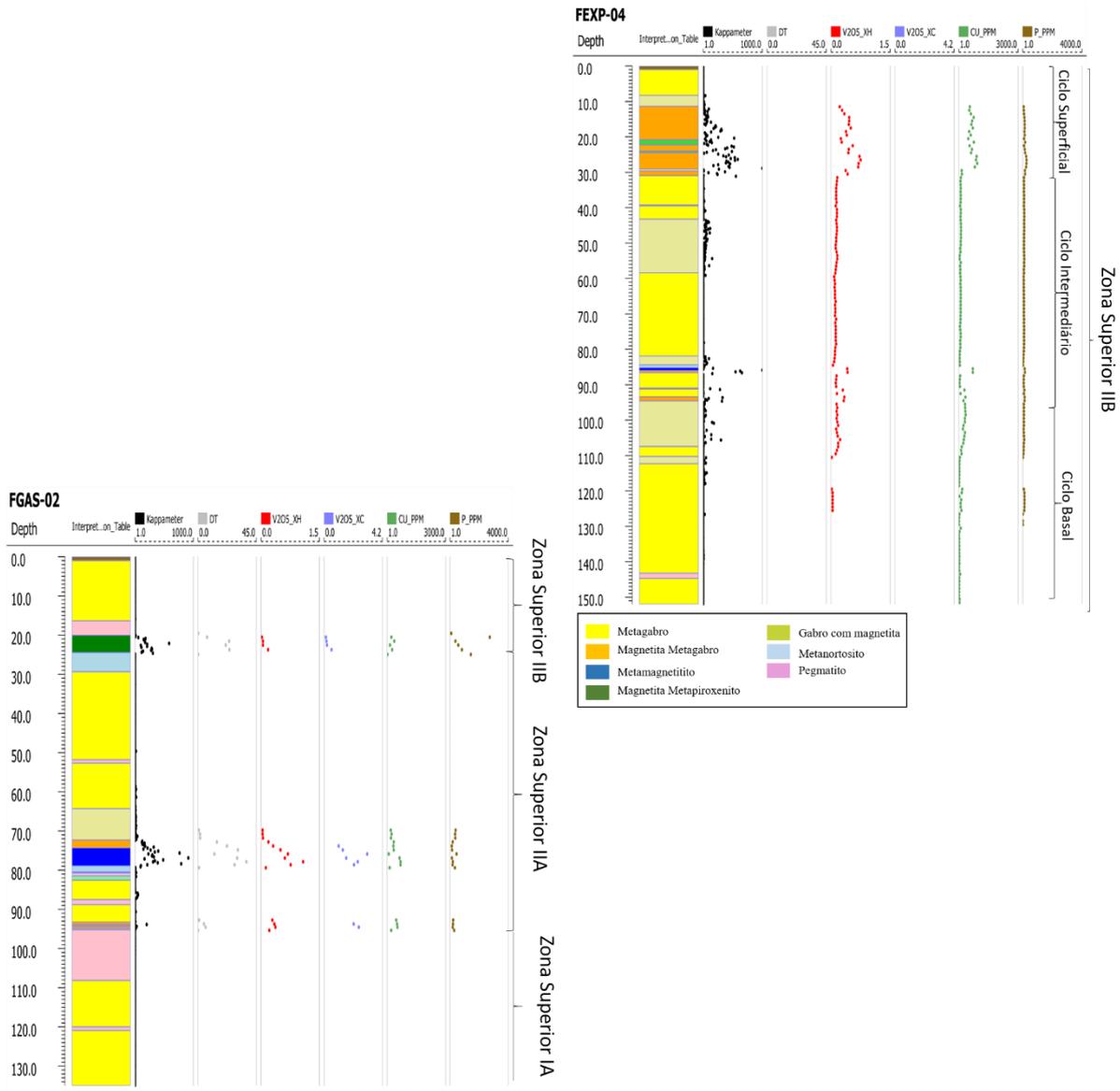


Figura 15: Correlação estratigráfica das descrições geológicas dos furos FGAS-02 e FEXP-04.

Tabela 7: Composições modais das rochas do ciclo basal da zona superior IIB. Plagioclásio (Pl), Hornblenda (Hb), Biotita (Bt), Magnetita (Mt), Ilmenita (Il), Calcopirita (Cpy), Pirita (Py), e Epidoto (Ep).

Lâmina	Nome da Rocha	Pl	Hb	Bt	Mt	Il	Cpy	Py	Ep
GLS-05	Magnetita Hornblenda Metagabro	45	20	5	30	-	-	-	-
GLS-06	Metamagnetitito	8	16	13	35	21	3	2	2

O metamagnetitito (Fig. 16A, B) é uma rocha equigranular, subidioblástica a xenoblástica, com grãos de 0,1mm a 0,5mm de diâmetro em contatos curvos e interlobados. Apresenta textura

CAPÍTULO III

ARTIGO

nematoblástica e de cumulus com a magnetita sendo o cumulus e a hornblenda intercumulus. O plagioclásio dispõe-se saussuritizado. A composição mineralógica é 35% de magnetita, 21% de ilmenita, 15% de hornblenda, 13% de biotita, 8% de plagioclásio, 3% de calcopirita, 2% de pirita e 2% de epídoto.

O magnetita hornblenda metagabro têm como composição modal em 45% de plagioclásio, 30% de magnetita, 20% de hornblenda e 5% de biotita. Os grãos variam de 0,1mm a 0,5mm de diâmetro e possui contatos curvos e interlobados. É equigranular, subidioblástica a xenoblástica. Possui textura nematoblástica e de cumulus, com a cumulus de magnetita intercumulus de hornblenda. O plagioclásio dispõe-se saussuritizado.

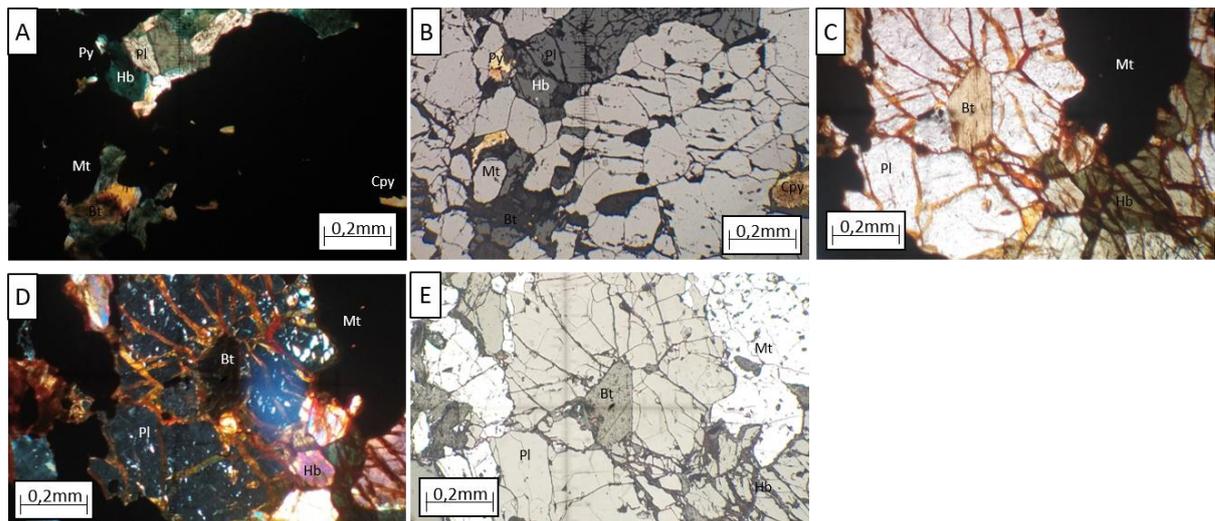


Figura 16: Microfotografia do metamagnetitito em luz plana (A) e em luz refletida (B). Microfotografia do magnetita hornblenda metagabro em luz plana (C), em luz polarizada (D) e em luz refletida (E).

No ciclo intermediário têm-se uma sequência estratigráfica que compreende: magnetita metagabro - metamagnetitito- metanortosito – metagabro. Está relacionada a atuação de processos de cristalização fracionada devido à diminuição da magnetita modal e aumento do plagioclásio modal em direção ao topo. Em geral, apresenta uma camada mineralizada com teor médio de 0,42% de V_2O_5 na análise de rocha total (XH). Não foram realizadas análises de porcentagem de minerais magnéticos (DT) e de V_2O_5 no concentrado magnético (XC). As composições modais dos litotipos associados ao ciclo intermediário da zona superior IIA encontram-se na Tabela 8.

CAPÍTULO III

ARTIGO

Tabela 8: Composições modais das rochas do ciclo intermediário da zona superior IIB. Plagioclásio (Pl), Hornblenda (Hb), Clinopiroxênio (Cpx), Biotita (Bt), Magnetita (Mt), Ilmenita (Il), Calcopirita (Cpy), Pirita (Py) e Epidoto (Ep).

Lâmina	Nome da Rocha	Pl	Hb	Cpx	Bt	Mt	Il	Cpy	Py	Ep
GLS-01	Hornblenda Metagabronorito	30	45	15	-	2	1	2	4	1
GLS-02	Metanortosito	82	8	-	-	4	2	1	1	2
GLS-03	Metamagnetitito	12	8	-	5	40	27	4	2	2
GLS-04	Magnetita Hornblenda Metagabro	50	20	-	5	15	5	2	1	-

O magnetita hornblenda metagabro (Fig. 16C, D, E) é uma rocha equigranular, subidioblástica, com grãos variando de 0,3mm a 1,0mm, com limite entre os grãos poligonais e interlobados. Possui textura nematoblástica e de cumulus, com a magnetita sendo o mineral de cumulus e a hornblenda como mineral intercumulus. O plagioclásio se encontra saussuritizado. Sua composição mineralógica consiste em 50% de plagioclásio, 20% de hornblenda, 15% de magnetita, 7% de biotita, 5% de ilmenita, 2% de calcopirita e 1% de pirita.

O metamagnetitito (Fig. 16A, B) é uma rocha equigranular, subidioblástica, com grãos de 0,2mm a 1,0mm de diâmetro e limite entre os grãos curvos e interlobados. Possui textura nematoblástica e de cumulus, com a magnetita como cumulus e a hornblenda intercumulus. O plagioclásio dispõe-se saussuritizado. A composição mineralógica é 40% de magnetita, 27% de ilmenita, 12% de plagioclásio, 8% de hornblenda, 5% de biotita, 4% de calcopirita, 2% de pirita e 2% de epidoto.

O metanortosito é composta por 82% de plagioclásio, 8% de hornblenda, 4% de magnetita, 2% de ilmenita, 2% de epidoto, 1% de pirita e 1% de calcopirita. Os grãos variam de 0,2mm a 1,00mm de diâmetros em contatos poligonais e interlobados. Apresenta textura nematoblástica e de cumulus, com cumulus de plagioclásio e intercumulus de hornblenda. É equigranular, idioblástica a subidioblástica. Os minerais de plagioclásio se encontram, por vezes, saussuritizados.

No ciclo superficial, a sequência estratigráfica de magnetita metagabro – metagabro evidencia a atuação da cristalização fracionada associado ao decréscimo da magnetita modal e acréscimo de plagioclásio modal em relação ao topo. Nesse ciclo, ocorre um horizonte mineralizado de teor médio de 0,46% de V_2O_5 na análise de rocha total (XH).

4.1.4.3.3. Zona superior II C

Ocorre na porção leste da área de estudo em uma faixa com espessura que varia entre 100 e 400 metros. Possui o mesmo *trend* NE-SW do SRJ na forma de blocos aflorantes a subaflorantes em cotas de 280 a 310 metros. Está associada a metanortositos de granulometria grossa, com megacristais que chegam a 4cm composto por 80% de plagioclásio e 20% de minerais máficos (Fig. 17).

CAPÍTULO III

ARTIGO



Figura 17: Afloramento do metanortosito da zona superior IIC.

Sobreposta a zona superior IIC ocorrem seqüências estratigráficas incompletas de metamagnetitito, metagabro e metamagnetitito.

O metamagnetitito basal, em contato direto com o metanortosito da zona superior IIC, ocorre sob a forma de pequenos blocos rolados, fortemente magnéticos, de aproximadamente 5cm (Fig. 18A). Os resultados das análises químicas indicaram a presença de cerca de 41% de minerais magnéticos (DT), 1,21% de V_2O_5 na análise de rocha total (XH) e 2,14% de V_2O_5 na análise do concentrado magnético (XC). Sobrejacente, ocorrem blocos rolados subaflorantes de rochas gabróicas com aproximadamente 10cm (Fig. 18B). Em seguida, outro corpo de metamagnetitito na borda leste do SRJ ocorre em contato com o gnaiss Pé de Serra. Em geral, são fortemente magnéticos encontrado na forma de pequenos blocos rolados de cerca de 3cm (Fig. 18C). Os resultados das análises químicas realizadas nos blocos rolados revelam 58,87% de minerais magnéticos (DT), 1,18% de V_2O_5 na análise de rocha total (XH) e 1,86% de V_2O_5 na análise do concentrado magnético (XC).

A seqüência de rochas sobrejacentes ao metamagnetitito pode, provavelmente, ter sido obliteradas pelo Gnaiss Pé de Serra inviabilizando o desenvolvimento de uma seqüência estratigráfica bem desenvolvida.

CAPÍTULO III

ARTIGO



Figura 18: (A) Bloco rolado da primeira lente de metamagnetitito sem zona estratigráfica definida. (B) Bloco rolado de metagabro sem zona estratigráfica definida. (C) Blocos rolados da segunda lente de metamagnetitito sem zona estratigráfica definida.

4.1.5. Sequência Vulcano-sedimentar Contendas-Mirante

É comum na porção oeste da área de estudo e perfaz de maneira contínua na orientação N-S cerca de 24% da área total. As rochas que compõem essa unidade ocorrem como blocos subaflorantes em cotas variando entre 270 e 300 metros. Está associada a um solo de coloração amarronzada e textura argilo-arenosa. Geralmente predominam rochas metavulcânicas e, secundariamente rochas metassedimentares. As metavulcânicas são subdivididas em duas mais comuns são as rochas metabasálticas amigdaloidais, de coloração esverdeada a acinzentada e compostas por uma matriz muito fina e amígdalas de quartzo que variam de 0,5 a 1,5 cm (Fig. 19D). Subordinadamente têm-se os metandesitos de coloração acinzentado. Apresentar uma matriz muito fina e amígdalas de quartzo que variam de 0,1 a 0,3 cm (Fig. 19B). Pontualmente são verificadas rochas metassedimentares associadas às metavulcânicas, dentre as quais se destacam os quartzitos (Fig. 19C) e os xistos (Fig. 19A).

CAPÍTULO III

ARTIGO

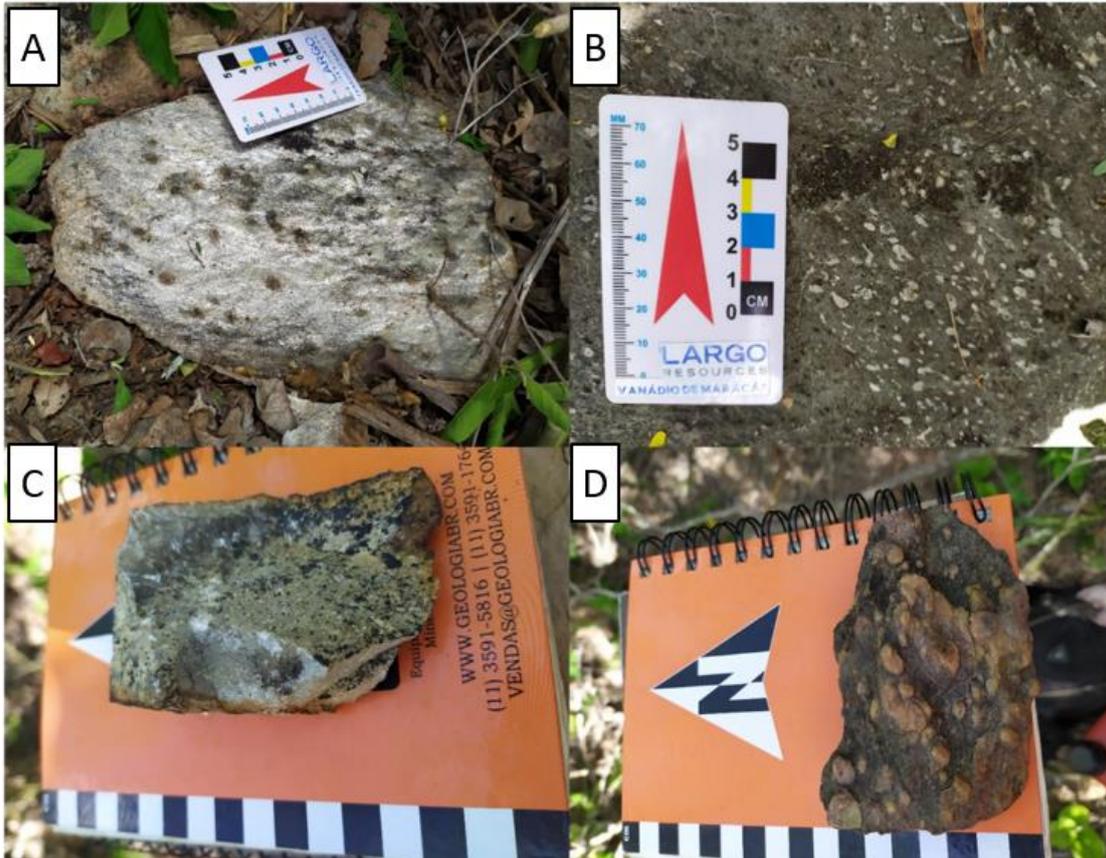


Figura 19: A) Xisto associado a Formação Mirante; B) Metandesito com pequenas amígdalas de quartzo associados a Formação Mirantes; C) Quartzito associado a Formação Areião; D) Metabasilto com amígdalas de quartzo associados a Formação Mirantes.

4.1.6. Complexo Granulítico Jequié

Situada no extremo leste da área de trabalho, ocupa cerca de 13% da área total na forma de lajedos de cotas em torno de 300 metros. Está associado a um solo marrom pálido e de textura areno-argilosa. São formados por rochas bandadas, granulometria média a grossa, de composição granodiorítica nas porções félsicas, representadas pelo quartzo (30%), plagioclásio (25%) e K-feldspato (20%). Enquanto que nas porções máficas têm-se hornblenda (15%) e biotita (10%) (Fig. 20).

CAPÍTULO III

ARTIGO



Figura 20: Afloramento em planta de rocha gnáissica do Complexo Granulítico Jequié.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A correlação litoestratigráfica do alvo Gulçari A Sul com a atualização da estratigrafia proposta por Brito et. al (2016), evidenciou a presença de novas camadas mineralizadas que não estão contidas na estratigrafia supracitada. A correlação foi realizada com o auxílio do mapa geológico produzido na escala 1:10.000, pioneiro na área em estudo, com a identificação de 11 litotipos. Assim, a caracterização das rochas do SRJ, possibilitou uma subdivisão nas zonas superior I, superior IIA, superior IIB e superior IIC. Ademais têm-se como unidades circunvizinhas: a Sequência Metavulcano-Sedimentar Contendas Mirante, Gnaiss Pé de Serra, intrusão metatonalítica e gnaisses do Complexo Granulítico Jequié.

Os resultados das análises químicas aliado à descrição geológica dos furos de sondagem conduziu a estruturação local da estratificação de fase, com a presença da tendência de decréscimo de magnetita modal e o aumento do plagioclásio modal em direção ao topo da sucessão. Por conseguinte, as rochas mineralizadas da zona superior IIA possuem maiores teores de V_2O_5 , com teores médios de 2,91% de V_2O_5 na análise do concentrado magnético. Adicionalmente, os teores de cobre, e de fósforo são maiores na zona superior IIB, sendo utilizados como marcadores estratigráficos.

CAPÍTULO III

ARTIGO

Os estudos petrográficos indica que a área de estudo foi submetida a um metamorfismo regional de fácies anfíbolito, evidenciado através de assembleias minerais como: $Hb \pm Grn \pm Bt$ e influências hidrotermais posteriores, que foram responsáveis por saussuritizar o plagioclásio e remobilizar os sulfetos. Em geral, o arcabouço ígneo é preservado devido a presença de texturas de cumulus e intercumulus, associadas aos contatos interlobados.

Em síntese, a pesquisa possibilitou a caracterizadas de alvos potenciais para V_2O_5 e como base para novos trabalhos de exploração na região e para crescimento sustentável e socioeconômico da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abram, M.B. (1993) O corpo máfico-ultramáfico da Fazenda Mirabela, Ipiaú-BA: caracterização petrográfica, geoquímica, tipologia e implicações metalogenéticas. Dissertação (Mestrado). Salvador: Instituto de Geociências, UFBA.

Almeida, D. Y. D. (2018). Caracterização Petrográfica e Geoquímica das Mineralizações de Elementos do Grupo da Platina No Depósito Novo Amparo, Maracás-BA. Trabalho Final de Graduação. Instituto de Geociências. Salvador: Instituto de Geociências, UFBA..

Almeida, F. F. M. (1977). O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7(4), 349- 364.

Avena Neto, R. Platinóides no corpo máfico-ultramáfico da Fazenda Gulçari Alvo A – Maracás-Bahia. (1987). Dissertação (Mestrado). Salvador: Instituto de Geociências, UFBA.

Barbosa, J. S. F., & Sabaté, P. (2002). Geological features and the Paleoproterozoic collision of four Archean crustal segments of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil: a synthesis. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 74(2), 343–359. DOI:10.1590/s0001-37652002000200009

Barbosa, J. S. F.; Martin H.; Peucat J.J., (2004). Archean/Paleoproterozoic Crustal Domic Evolution of the Lage, Mutuipe, Brejões and Santa Ines Région. Jequié Block, Bahia, Brazil. *Precam. Res.* 135, 105-131.

Barbosa, J.S.F.; Cruz, S.C.P.; Souza, J.S. (2012). Terrenos Metamórficos do Embasamento. In: Barbosa J.S.F. et al. (Eds.), *Geologia da Bahia – Pesquisa e Atualização* (v.1, p. 101-201). Salvador: UFBA-CBPM.

Brito R. S. C. (1981) Projeto Fazenda Gulçari. Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, Convênio SME-CBPM. Salvador – BA.

Brito, R. S. C. (2000). Geologia e Petrologia do Sill Máfico-Ultramáfico do Rio Jacaré - Bahia e Estudo das Mineralizações de Fe-Ti-V e Platinóides Associados. Tese (Doutorado). Brasília: Instituto de Geociências, UnB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brito, R. S. C.; Nonato, I. F. B. P. (2014) O Distrito vanadífero de Maracás-Bahia. Modelos descritivos, genéticos e econômicos das mineralizações. In: Anais, 47º Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, BA. SBG.

Brito, R. S. C.; Nonato, I.F.B.P; Vasconcellos, T.S.; Fróes, M.V.L.; Markl. H.P.; Alvarez, M.; Fuezi, V.M.S. (2016). Controle Estratigráfico das Mineralizações de V, Ti e P do Sill do Rio Jacaré – Maracás - Bahia. 48º Congresso Brasileiro de Geologia. Porto Alegre: SBG.

Brito, R.S.C. (1984). Geologia do Sill Estratificado do Rio Jacaré. XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia Rio de Janeiro, v. 11. Rio de Janeiro: SBG

Carvalho, A. A. J. (2018). Integração de dados geológicos e geofísicos do depósito de Ti-Magnetita Vanadífera de Novo Amapo Norte, *Sill* do Rio Jacaré, Maracás – BA. Trabalho Final de Graduação. Salvador: Instituto de Geociências., UFBA.

Cawthorn, R. G., & Ashwal, L. D. (2009). Origin of anorthosite and magnetite layers in the Bushveld Complex, constrained by major element compositions of plagioclase. *Journal of Petrology*, 50(9), 1607-1637.

Cawthorn, R. G., Barnes, S. J., Ballhaus, C., & Malitch, K. N. (2005). Platinum-group element, chromium, and vanadium deposits in mafic and ultramafic rocks. *Economic Geology*, 100, 215-249.

Fróes, M. V. L. (2015). Caracterização Petrográfica e Geoquímica das Mineralizações de Titânio no Alvo Gulçari A Norte no *Sill* do Rio Jacaré – Maracás – Bahia. Trabalho Final de Graduação. Salvador: Instituto de Geociências., UFBA.

Galvão, C. F. (1981). Projeto Rio Jacaré. Convênio CPRM-CBPM. (Relatório Final), Salvador, CBPM

Gross, G. A. (1996). Mafic intrusion-hosted titanium-iron. *Geology of Canadian Mineral Deposit Types: Geology of Canada*, (8), 573-582.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hess, H. H., & Smith, J. R. (1960). Stillwater igneous complex, Montana a quantitative mineralogical study (Vol. 80). Geological Society of America.
- Irvine, T. N. (1976). Crystallization sequences in the Muskox intrusion and other layered intrusions—II. Origin of chromitite layers and similar deposits of other magmatic ores. In *Chromium: its Physicochemical Behavior and Petrologic Significance*, Pergamon, 991-1020.
- Irvine, T. N. (1977). Origin of chromitite layers in the Muskox intrusion and other stratiform intrusions: A new interpretation. *Geology*, 5(5), 273-277.
- Irvine, T. N. (1982). Terminology for layered intrusions. *Journal of Petrology*, 23(2), 127-162.
- Jackson, E. D. (1960). Preliminary textures and mineral associations in the ultramafic zone of the Stillwater complex, Montana: US Geological Survey, 60-79.
- Jesus, M. L. D. (2019). Caracterização Geológico-Geofísica do *Sill* do Rio Jacaré no Alvo São José - Maracás/Bahia. Trabalho Final de Graduação. Salvador: Instituto de Geociências., UFBA.
- Karinen, T., Hanski, E., & Taipale, A. (2015). The Mustavaara Fe-Ti-V oxide deposit. In *Mineral deposits of Finland*, 179-194. Elsevier. Acesso em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-410438-9.00007-8>.
- Kruger, F. J., & Smart, R. (1987). Diffusion of trace elements during bottom crystallization of double-diffusive convection systems: the magnetitite layers of the Bushveld Complex. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 34(1-2), 133-142.
- Mao, J., & Bierlein, F. P. (Eds.). (2008). *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge: Proceedings of the Eighth Biennial SGA Meeting, Beijing, China, 18-21 August 2005*. Springer Science & Business Media.
- Marinho, M. M. (1994). Geologia e potencialidade para mineral da borda nordeste da Faixa Contendas-Mirante e do *Sill* do Rio Jacaré, Bahia (No. 55 SER).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Marinho, M. M.; Soares, J. V.; Silva E. A. F.; Costa, P. H. (1979). Projeto Contendas Mirante: Relatório Final. Salvador: SME - CBPM.

Marinho, M.M. (1991). La Séquence Volcano-Sédimentaire de Contendas-Mirante et la bordure Occidentale du bloc Jequié (Cráton do São Francisco, Brésil): Um exemple de transition archeén-proterozoïque. Tese (Doutorado). Clermont- Ferrand: Université Clermont-Ferrand.

Mascarenhas, J. D. F. (1981). O embasamento pré-cambriano no Estado da Bahia e sua gênese. Simp. Cráton Do São Francisco E Suas Faixas Marginais, 1, 34-38.

Mascarenhas, J. F. (1976). Estruturas do tipo “greenstone belt” no leste do Estado da Bahia. XXIX Congresso Brasileiro de Geologia, v. 4, 25-49. Ouro Preto: SBG.

Naslund, H. R., & McBirney, A. R. (1996). Mechanisms of formation of igneous layering. In *Developments in petrology*, 15, 1-43. Elsevier.

Pang, K. N., Li, C., Zhou, M. F., & Ripley, E. M. (2009). Mineral compositional constraints on petrogenesis and oxide ore genesis of the late Permian Panzhihua layered gabbroic intrusion, SW China. *Lithos*, 110(1-4), 199-214.

Pedreira, A. J.; Oliveira, J. E. De; Silva, B. C. E.; Pedrosa, C. (1975). Projeto Bahia: relatório final, geologia da Chapada Diamantina, textos e mapas. Salvador: CPRM.

Reynolds, I. M. (1985). The nature and origin of titaniferous magnetite-rich layers in the upper zone of the Bushveld Complex; a review and synthesis. *Economic Geology*, 80(4), 1089-1108.

Shellnutt, J. G., & Jahn, B. M. (2010). Formation of the Late Permian Panzhihua plutonic-hypabyssal-volcanic igneous complex: implications for the genesis of Fe–Ti oxide deposits and A-type granites of SW China. *Earth and Planetary Science Letters*, 289(3-4), 509-519.

Song, X. Y., Qi, H. W., Hu, R. Z., Chen, L. M., Yu, S. Y., & Zhang, J. F. (2013). Formation of thick stratiform Fe-Ti oxide layers in layered intrusion and frequent replenishment of

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

fractionated mafic magma: evidence from the Panzihua intrusion, SW China. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 14(3), 712-732.

Stanton, R. L. I.(1972): *Ore petrology*. MacGraw Hill, New York.

Streckeisen, A. L. (1967). *Classification and Nomenclature of Igneous Rocks:(final Report of an Inquiry)*. E. Scheveizerbart'sche verlagsbuchanlung.

Tegner, C., Cawthorn, R. G., & Kruger, F. J. (2006). Cyclicality in the Main and Upper Zones of the Bushveld Complex, South Africa: crystallization from a zoned magma sheet. *Journal of Petrology*, 47(11), 2257-2279.

USGS. (2020). *Mineral Commodity Summaries*. Virginia: U.S. Geological Survey.

Vasconcellos, T. S. (2015). *Caracterização Petrográfica e Geoquímica das Mineralizações de Fósforo em Apatita do Alvo Novo Amparo Norte no Sill do Rio Jacaré – Maracás/BA*. Trabalho Final de Graduação. Salvador: Instituto de Geociências., UFBA.

Wadsworth, W. J. (1985). Layered Intrusions – a fluid situation?. *Geology Today*, 50.

Wager, L. R. & Brown, G. M. (1968). *Layered Igneous Rocks*. London: Oliver & Boyd.

ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA GEOCIÊNCIAS - USP

Resumo e Abstract – Em um único parágrafo, devem ser concisos, com no máximo 270 palavras. Textos mais longos devem vir acompanhados de justificativa circunstanciada. Palavras-chave e Keywords – máximo de seis, separadas por ponto e vírgula, com a primeira letra em maiúscula. Ex: Bacia do Araripe; Quaternário; Fácies; Depósitos magmáticos.

Os descritores em inglês devem acompanhar os termos em português.

Texto principal – poderá ser redigido em português ou inglês. Elaborar em Word, fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. O tamanho máximo aceito para publicação é de 25 páginas, incluindo texto, resumo, abstract, tabelas, Figuras e referências bibliográficas. Trabalhos mais longos podem ser aceitos desde que argumentos científicos que os justifiquem sejam apresentados e aceitos.

- a) Na fase de submissão, inserir numeração de páginas, bem como as Figuras, tabelas e legendas.
- b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as Figuras e tabelas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das Figuras e tabelas.

Títulos e subtítulos – utilizar a formatação abaixo:

NÍVEL 1 – NEGRITO, CAIXA ALTA

Nível 2 – Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

Nível 3 – Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

Nível 4 – Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

Tabelas e quadros – considerar quadro como tabela. Elaborar em Word, no modo tabela, com formato aberto, fonte Arial, tamanho 8. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda. Tabelas muito extensas deverão ser divididas.

- a) Na fase de submissão, inserir as tabelas no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.

- b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as tabelas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das tabelas.

Ilustrações – mapas, fotos, Figuras, gráficos, pranchas, fotomicrografias etc, considerar como Figuras. Utilizar fonte Arial, tamanho 9. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda. Deverão estar em formato JPEG, TIFF ou EPS, com resolução mínima de 300 dpi.

- a) Na fase de submissão, inserir as Figuras no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.
- b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as Figuras devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das Figuras.

Citações no texto – exemplos de citação direta / citação indireta:

a) Um autor

Santos (1980) / (Santos, 1980)

b) Dois autores

Norton e Long (1995) / (Norton e Long, 1980)

c) Mais de dois autores

Moorbath *et al.* (1992) / (Moorbath *et al.*, 1992)

d) Congressos, conferências, seminários etc.

No Congresso Brasileiro de Geologia (1984) / (Congresso Brasileiro de Geologia, 1984)

e) Vários trabalhos de diferentes autores

Smith (1985), Rose e Turner (1986) e Johnson *et al.* (1990) / (Smith, 1985; Rose e Turner, 1986; Johnson *et al.*, 1990)

f) Citação de vários trabalhos de um mesmo autor

Smith (1979a, 1979b, 1981) / (Smith, 1979a, 1979b, 1981)

Referências - listar no final do texto, em ordem alfabética de autores e, dentro dessa sequência, em ordem cronológica. A exatidão das referências bibliográficas é de inteira responsabilidade dos autores.

Exemplos de referências:

a) Livro com um autor

Middlemost, E. A. K. (1997). *Magma, rocks and planetary development: A Survey of Magma/Igneous Rock Systems*. Harlow: Longman. 52

b) Livro com dois autores

Anderson, M. P., Woessner, W. W. (1992). Applied groundwater modeling. Simulation of low and advective transport. San Diego: Academic Press.

c) Livro com três ou mais autores

Harland, W. B., Armstrong, R. L., Cox, A. L. V., Craig, L. E., Smith, A., Smith, D. (1989). A geologic time scale (2a ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

d) Capítulo de livro

Almeida, F. F. M., Amaral, G., Cordani, U. G., Kawashita, K. (1973). The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of Amazonas River. In: A. E. Nairn, F. G. Stille (Eds.), The ocean basin and margins (v. 1, 411-446). New York: Plenum.

(Exemplo de Publicação seriada)

L. Harris, N. , Pearce, J. , Tindle, A. (1986). Geochemical collision-zone magmatism. In: Coward M. P., Ries A. C.(ed.) Collision tectonics. London: Geological Society. 67-81. (Geological Society Special Publication, 19).

e) Artigo de periódico

Caffe, P. J., Soler, M. M., Coira, B. L., Cordani, U. G., Onoe, A. T. (2008). The granada ignimbrite: a compound pyroclastic unit and its relationship with upper miocene caldera volcanism in the northern Puna. Journal of South American Earth Science, 25(4), 464-484.

f) Trabalho apresentado em evento

Danni, J. C. M., Ribeiro, C. C. (1978). Caracterização estratigráfica da sequência vulcano-sedimentar de Pilar de Goiás e de Guarinos, Goiás. XXX Congresso Brasileiro de Geologia, v. 2, 582-596. Recife: SBG.

g) Mapa

Inda, H. A. W., Barbosa, J. F. (1978). Mapa Geológico do Estado da Bahia. Escala 1:1.000.000. Salvador: Secretaria de Minas e Energia do Estado da Bahia/CBPM.

h) Teses e dissertações

Petta, A. R. (1995). Estudo geoquímico e relações petrogenéticas do batólito múltiplo composto São Vicente/Caicó (RN-Brasil). Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas ? UNESP.

i) Documentos em meio eletrônico

Livro

Sharkov, E. (2012). Tectonics: Recent Advances. Croatia: InTech, <<http://www.intechopen.com/books/tectonics-recent-advances>>. 53

Artigo de periódico

Soares, E. A., Tatum, S. H. (2010). OSL age determinations of pleistocene fluvial deposits in Central Amazonia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 82(3), 691-699. Acesso em 14 de fevereiro de 2011, <<http://www.scielo.br/pdf/aabc/v82n3/17.pdf>>.

Trabalho apresentado em evento

Souza-Lima, W., Farias, R. M. (2007). A flora quaternária dos travertinos de Itabaiana, Sergipe. *PALEO 2007* (p. 7). Itabaiana: SBP. Acesso em 18 de dezembro de 2008, <http://www.phoenix.org.br/Paleo2007_Boletim.pdf>.

*j) Com numeração DOI**Livro*

Zavattini, J. A. (2009). *As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática*. DOI: 10.7476/9788579830020.

Artigo de periódico

Evandro L. Kleina, E. L., Rodrigues, J. B., Lopesa, E. C. S., Gilvana L. Soledade, G. L. (2012). Diversity of Rhyacian granitoids in the basement of the Neoproterozoic-Early Cambrian Gurupi Belt, northern Brazil: Geochemistry, U²³⁵Pb zircon geochronology, and Nd isotope constraints on the Paleoproterozoic magmatic and crustal evolution. *Precambrian Research*, 220-