

**TAYLA PEIXOTO WERNECK**

**Correlação geoquímica, análise de susceptibilidade magnética, mineralógica e de raios gama nas fácies da Formação Capacete, Grupo Mata da Corda, município de Tiros, MG.**

Artigo apresentado ao Curso de Pós-graduação em Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geologia.

Orientadora: Dra. Susanna Eleonora Sichel  
Co-orientador: Dr. Luiz Alberto Santos

Niterói  
2020

---

TAYLA PEIXOTO WERNECK

Correlação geoquímica, análise de susceptibilidade magnética, mineralógica e de raios gama nas fácies da Formação Capacete, Grupo Mata da Corda, município de Tiros, MG / TAYLA PEIXOTO WERNECK. – Niterói, 2021-

p.33 : il. (algumas color.) ;

Orientadora: Dra. Susanna Eleonora Sichel

Co Orientador: Dr. Luiz Alberto Santos

Artigo (Mestrado) – Niterói, 2020

1. Geoquímica. 2. Susceptibilidade Magnética. I. Orientador. II. Universidade Federal Fluminense. III. Departamento de Geologia e Geofísica. IV. Título

---

**TAYLA PEIXOTO WERNECK**

**Correlação geoquímica, análise de susceptibilidade magnética, mineralógica e de raios gama nas fácies da Formação Capacete, Grupo Mata da Corda, município de Tiros, MG.**

Artigo apresentado ao Curso de Pós-graduação em Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Geologia.

Aprovada em Niterói, 18 de dezembro de 2020.

---

**Professora Dra. Susanna Eleonora Sichel**  
Orientadora - Departamento de Geologia e Geofísica/LAGEMAR-UFF

---

**Professor Dr. Luiz Alberto Santos**  
Coorientador - Departamento de Geologia e Geofísica/LAGEMAR-UFF / Petrobras

---

**Dr. Werlem Holanda dos Santos**  
UERJ

---

**Dr. Henrique Bruno**  
Tektos, UERJ.

Niterói  
2020



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**  
Instituto de Geociências  
Departamento de Geologia e Geofísica/LAGEMAR  
Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra

**Ata de Defesa Dissertação de Mestrado**

Ao(s) 18 dia (s) do mês de Dezembro de 2020, às 16:30 horas, no Departamento de Geologia e Geofísica/LAGEMAR, da Universidade Federal Fluminense, reuniu-se a Banca Examinadora designada para arguir a Defesa da Dissertação de Mestrado do (a) aluno (a) **Tayla Peixoto Werneck** sob o título:

**"Correlação geoquímica e faciológica da Formação Capacete, Grupo Mata da Corda, utilizando Gamaespectrometria, Fluorescência de Raio X e Mineralogia em Grãos."**

A banca constituída pelos professores:

Susanna Eleonora Sichel, Dr(a) (Orientador - UFF)

Luiz Alberto Santos, Dr(a). (Coorientador(a) - UFF)

Werlem Holanda dos Santos, Dr(a). (UERJ)

Henrique Bruno, Dr(a). (Tektos /UERJ)

deliberou pela APROVAÇÃO do(a) candidato(a) de acordo com o seguinte parecer:

A aluna Tayla P. Werneck apresentou novos e relevantes resultados geológicos, geoquímicos e petrofísicos com relação à Formação Capacete. A banca recomendou e sugeriu alterações no texto final que devem ser concluídas em um prazo de 2 meses.

18 de Dezembro de 2020

Orientador Susanna Eleonora Sichel  
Coorientador L.A.S.  
Arguidor Werlem Holanda dos Santos  
Arguidor Henrique Bruno  
Candidato Tayla Peixoto Werneck

OBS: A defesa foi realizada por videoconferência seguindo as orientações e cumprindo todos os itens da RESOLUÇÃO Nº 157/2020.

## **Agradecimentos**

Agradeço à Deus por todo suporte emocional ao longo de mais essa etapa na vida.

Aos meus pais e ao meu irmão por toda paciência e ajuda que me deram ao longo dessa longa jornada. Em especial ao meu pai que andou 900km até Tiros comigo para buscarmos os testemunhos! Ao Pedro, meu marido, que fez com que eu não desistisse e acredita mais em mim do que eu mesma.

Gostaria de agradecer à Universidade Federal Fluminense (UFF), mais especificamente ao Departamento de Geologia e Geofísica e aos professores envolvidos que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho. Em especial agradeço ao Arthur Ayres, que embarcou na minha ideia inicial, aceitou, e me ajudou a pôr em prática a pesquisa e ao meu orientador o Luiz Alberto que além dos conselhos sempre esteve muito disposto em me ajudar.

Este trabalho teve início na Empresa Iluka Resources, portanto, agradeço a disponibilidades dos testemunhos disponibilizados e o suporte técnicos dos geólogos.

A primeira parte deste trabalho foi realizada na Universidade do Estado do Rio de Janeiro, lugar do qual sou imensamente grata por ter sido graduada! Obrigada aos professores que estiveram ao meu lado nessa caminhada e ao lado dessa pesquisa, em especial: Nely, Berga, Anderson, Werlem e ao meu amigo Renan.

## Sumário

Resumo .....	7
Abstract.....	8
<b>1.0 Introdução .....</b>	<b>9</b>
1.1 Considerações Iniciais .....	9
1.2 Localização e Vias de Acesso à Área de Estudo.....	9
1.3 Aspectos Fisiográficos .....	10
<b>2.0 Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>11</b>
2.1 Estudos anteriores e objetivo .....	11
2.2 Titânio: Característica, Classificações e Depósitos .....	11
2.3 Depósitos residuais com alta concentração de Ti. ....	12
2.3.1 Processo Supergênico .....	12
2.3.2 Influência do Magmatismo e enriquecimento de Ti .....	13
2.4 Contexto Geológico Regional .....	14
2.4.1 Cráton São Francisco .....	14
2.4.2. Bacia Sanfranciscana .....	15
2.5 Estratigrafia do trabalho .....	16
2.6 Província Alcalino-Carbonatítica do Alto Paranaíba .....	18
2.7 Formação Capacete e seus ambientes, Grupo Mata da Corda .....	18
2.7.1 Fácies conglomerado suportado .....	19
2.7.2 Fácies conglomerado para-suportado .....	19
2.7.3 Fácies arenitos e siltitos líticos vulcânicos .....	19
2.7.5 Fácies de aglomerado de borda de conduto .....	19
<b>Apêndice A - Artigo .....</b>	<b>20</b>

## Resumo

A sudoeste do Cráton São Francisco, na Bacia Sanfranciscana (Cretáceo), afloram diversas fácies da Formação Capacete, que tiveram como fonte as rochas kamafugíticas da Formação Patos. Em trabalhos anteriores foram descritos minerais de titânio, como anatásio, ilmenita e Ti-magnetita nas fácies da Formação Capacete, indicando um possível enriquecimento supergênico e uma correspondente anomalia de  $TiO_2$ . A partir de amostras de mão e testemunhos de sondagem foram realizadas análise química por Fluorescência de Raio X (FRX), análises petrofísicas de susceptibilidade magnética, raios gama e descrição de mineralogia em grão. Este trabalho visa a correlacionar os teores químicos anômalos, com classificação das quatro principais fácies: conglomerado suportado por matriz, conglomerado suportado por clasto, arenito e siltito. Com a análise mineralógica em lupa binocular, observou-se minerais de titânio, entre eles, cristais de anatásio, ilmenita, titano-magnetita. Nas análises de FRX, as fácies conglomerado suportado por matriz e por clastos apresentaram as maiores concentrações de  $TiO_2$ , com até 18%, valores esses bem superiores da média descrita por Force (1991). A análise de susceptibilidade magnética foi realizada comparando teores químicos de  $Fe_2O_3$ . Nas amostras de mão e nas amostras de testemunho, os conglomerados apresentam valores variando de  $40 \times 10^{-6}$  SI a  $120 \times 10^{-6}$  SI, e possuem os maiores teores de  $Fe_2O_3$ , com até 59%. Já os arenitos e siltitos variam entre  $17,1 \times 10^{-6}$  a  $65 \times 10^{-6}$  SI, e os teores de  $Fe_2O_3$  não ultrapassam de 29%. Na análise dos raios gama, não foi encontrada correlação entres esta análise e valores anômalos de  $TiO_2$  ou  $Fe_2O_4$ , não sendo, portanto, um método possível para identificação de teores anômalos. Com a correlação dos métodos, pode-se afirmar que os teores mais elevados em titânio e a maior abundância em anatásio são contínuos ao longo das zonas intemperizadas e mais conglomeráticas.

**Palavras-chave:** Anatásio; FRX; Bacia Sanfranciscana

## Abstract

Southwest of the São Francisco Craton, in the Sanfranciscana Basin (Cretaceous), sedimentary rocks from the Capacete Formation has their provenance from kamafugites of Patos Formation. Previous studies show titanium anomalies into Capacete Formation rocks with the main mineralogy composed of anatase, ilmenite, and titanomagnetite, indicating a potential supergene titanium enrichment into these rocks, and consequently anomaly of TiO<sub>2</sub>. Chemical analysis by X-Ray Fluorescence (FRX), petrophysical analyzes of magnetic susceptibility, gamma rays, and description of grain mineralogy were carried out using outcrop samples and driller samples. This study aims to correlate anomalous chemical contents, with the four main facies of the Capacete formation: matrix-supported conglomerate, clast-supported conglomerate, arenite, siltstone. Mineralogical analyses using a binocular lens microscope, titanium-rich minerals were identified: anatase, ilmenite and titano-magnetite. Analyses with XRF show clast-supported conglomerate, arenite and siltstone have the highest concentrations of TiO<sub>2</sub>, with values up to 18% values, which is above the average described by Force (1991) for these rocks. Correlation between the magnetic susceptibility and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> concentrations using grab and drill core samples show conglomerates have measurements varying from 40x10<sup>-6</sup> SI to 120x10<sup>-6</sup> SI with Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> concentration up to 59%. On the other hand, arenites and siltstones have measurements varying 17.1x10<sup>-6</sup> SI to 65x10<sup>-6</sup> SI and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> concentrations up to 29%. Gamma-ray analyses do not show any correlation with the TiO<sub>2</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> anomalies. Therefore, the gamma-ray is not able to identify the anomalies. Using the correlation of those methods, the study shows the high concentrations of titanium are typical presented in conglomerate facies, reflecting the abundance of anatase, especially in the weathering zone.

**Keywords:** Anatase; FRX; Sanfranciscan Basin



# Introdução

## 1.1 Considerações Iniciais

Ao longo do estudo realizado no Mestrado da Universidade Federal Fluminense, este projeto visou a investigação de anomalias geoquímicas de titânio na região Sudoeste do Cráton São Francisco, mais especificamente na Região do município de Tiros, Minas Gerais. O Produto gerado desta pesquisa é apresentado no Apêndice A deste documento, sendo um Artigo Acadêmico submetido ao Anuário de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, intitulado de “Correlação geoquímica, análise de susceptibilidade magnética, mineralógica e de raios gama nas fácies da Formação Capacete, Grupo Mata da Corda, município de Tiros, MG”. Com intuito de melhor introduzir o artigo apresentado, este capítulo apresentará breves resumos do estudo, características sobre a exploração do titânio e suas diversas modalidades de exploração no mundo.

## 1.2 Localização e Vias de Acesso à Área de Estudo

A área de estudo está situada na região de Tiros município da meso região do Triângulo Mineiro, a oeste da capital Belo Horizonte, Minas Gerais (Fig. 1). Em relação à capital, a região do estudo dista 300 km, e a partir do Rio de Janeiro, dista aproximadamente 780km. Fazem limite com a região de estudo os municípios Rio Paranaíba, Arapuá e Espinha de Peixe, e inserida nas folhas topográficas 1:250.000 São Gotardo e Dores do Indaiá publicadas pelo IBGE em 1970.



Figura 1 Localização regional da área de estudo. Fonte: Ministério dos transportes. DNIT

Os afloramentos visitados são de fácil acesso, por serem em sua maioria corte de estrada. Os pontos TW-01 e TW-02 (Fig.2) são dois afloramentos em corte de estrada, em estrada

pavimentada que liga São Gotardo a Tiros. O afloramento TW-03 apesar de não estar em estrada pavimentada, possui bom acesso por estrada de chão, sendo essa ligação alternativa entre Arapuá e Tiros. Os afloramentos TW-04 e TW-05 são corte de estrada e corte na Fazenda Boa Esperança, respectivamente, e 13 possível acessá-los através da estrada de chão para Morro Alto. O ponto TW06 também não possui restrição ao acesso está localizado à Leste dos afloramentos TW-01 e TW-02, sendo acessado pela estrada ao lado do afloramento TW-02, distando aproximadamente 5km.

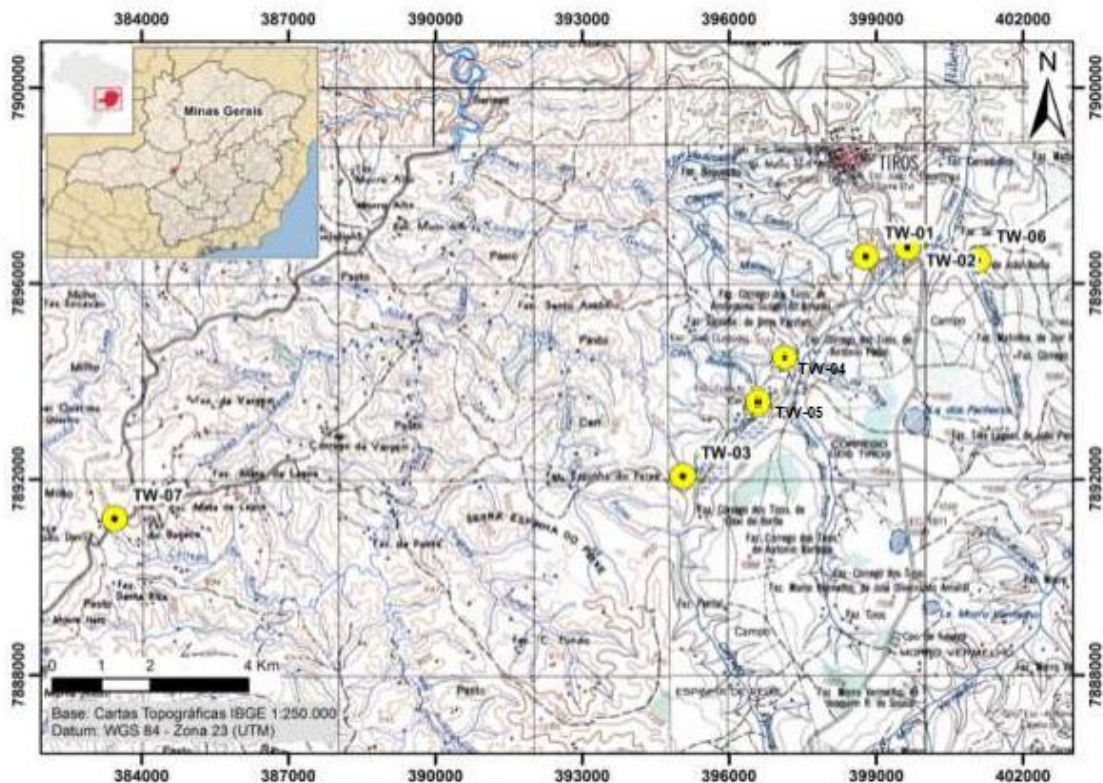


Figura 2 Mapa de localização dos pontos de afloramento e pontos próximos dos testemunhos da região de Tiros. Fonte: IBGE

### 1.3 Aspectos Fisiográficos

O oeste de Minas Gerais é caracterizado por depressões, planaltos depressões e áreas dissecadas resultantes da atuação de processos morfoclimáticos (Oliveira, 2007). A região do estudo possui características bem marcantes quanto ao relevo, o que pode ser relacionado às fácies e litologias da região. Considerando a região leste do Triângulo Mineiro, o relevo se apresenta de forma plana com altiplanos bem definidos nos altos topográficos. É possível observar a mudança litológica conforme a queda de topografia, que se apresenta bem marcada.

A Formação Capacete, alvo deste estudo, em geral é observada entre as cotas 1090 e 1080m na região mais próxima à São Gotardo e Rio Paranaíba, e entre as cotas 1070 e 1060 na região de Tiros. As drenagens da região estão inseridas na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, que é composta por duas porções, subdividida em Alto São Francisco e Médio São Francisco (PLANVASF, 1989). Essas áreas são subdivididas em treze sub-bacias que possuem uma área de mais de 200.000km<sup>2</sup>, representando quase 40% da área total do Estado de Minas Gerais. O Rio São Francisco tem suas nascentes no município de São Roque de Minas, na Serra da Canastra e atravessa

diversos estados até sua foz em Alagoas. As principais drenagens da região, Rio Abaeté e Rio Borrachudo, possuem direção principal SSW-NNE encaixados em zona de fraturas, em rochas Neoproterozóicas do Grupo Bambuí e possuem vários córregos tributários. Todas essas drenagens confluem no Rio São Francisco. As drenagens da região dos municípios de Tiros e São Gotardo possuem grande variabilidade quanto a lâmina d'água, podendo chegar a 9m em épocas chuvosas.

## 2.0 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Estudos anteriores e objetivo

Os estudos realizados no Grupo Mata da Corda foram iniciados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral na década de 60. A pesquisa resultou em teores anômalos de titânio e fosfato, que após essa divulgação tornou-se alvo de inúmeras empresas. Além desses dois teores anômalos, a região é muito estudada pelos inúmeros corpos kimberlíticos reconhecidos na área, principalmente por se apresentarem dentro do lineamento AZ 125, descrito por Barbosa (1991).

Tendo conhecimento de pesquisas exploratórias por empresas privadas na região, este trabalho investiga e caracteriza a geoquímica através da relação de susceptibilidade magnética, análise química e descrição faciológica.

### 2.2 Titânio: Característica, Classificações e Depósitos

O titânio ocorre em diversos minerais que possuem interesse econômico segundo Force (1991) e Dana e Hurlbut (1960). São eles: ilmenita, leucóxênio, rutilo, anatásio, brookita, perovskita, titanita e geikielita. As ocorrências estão relacionadas ao tipo de depósito e os teores de  $TiO_2\%$  nas estruturas desses minerais possuem grande variação. Force (1991) destacou os principais tipos de ocorrência e depósitos de titânio no mundo. Esses depósitos estão localizados principalmente Austrália, Índia e Sri Lanka, sendo estes do tipo placer. Além disso, outros depósitos magmáticos são responsáveis pela outra porção da produção, e estão localizados nos Estados Unidos, Canadá e Noruega. As porcentagens químicas de  $TiO_2$  variam conforme o tipo de rocha e depósito. Na tabela a seguir (Tabela 1), Force (1991) determina padrões dos teores de  $TiO_2$  nesses diversos tipos de rocha.

TABELA 1: Teores médios de  $TiO_2$  encontrados em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Modificado de Force (1999).

Tipo de Rocha	$TiO_2$ (%)	$TiO_2$ em óxidos (Como % total de $TiO_2$ )
<b>Rochas Ígneas</b>		
<b>Ultramáficas</b>	0,2 - 0,8	1 - 4
<b>Máficas</b>	0,9 - 2,7	50
<b>Félsicas</b>	0,2 - 0,8	3 - 30
<b>Alcalinas</b>	0,1 - 3,3	3 - 50
<b>Charnoquíticas</b>	0,4 - 1,6	50 - 95
<b>Anortosíticas</b>	0,1 - 0,5	50 - 95
<b>Rochas Metamórficas</b>		
<b>Gnaiss</b>	0,6	5 - 100
<b>Filitos e Xistos</b>	0,6	1 - 70
<b>Anfibolito</b>	1,4	15 - 70

<b>Serpentinito</b>	0	-
<b>Eclogito</b>	1,0 - 6,0	50 - 70
<b>Rochas Sedimentares</b>		
<b>Arenito</b>	0,2 - 0,6	10 - 100
<b>Xisto</b>	0,6 - 0,7	-
<b>Calcário</b>	0,1 - 0,2	-

### **2.3 Depósitos residuais com alta concentração de Ti.**

A reconcentração e a remobilização dos minerais das rochas, que sofrem transformações pelo intemperismo, gera depósitos minerais que são classificados como depósitos supergênicos. No Brasil, os principais depósitos supergênicos com grande concentração de titânio estão relacionados aos carbonatitos de Tapira, Salitre e Serra Negra (Minas Gerais), Catalão (Goiás) e ao complexo alcalinocarbonatítico Morro dos Seis Lagos (Amazonas).

#### **2.3.1 Processo Supergênico**

A partir do intemperismo físico-químico, em ambientes tropicais, são geradas rochas intemperizadas com características relacionadas à rocha mãe. Este processo denominado de lateritização tem seu principal produto a formação de um perfil composto de crosta laterítica, além dos saprolitos e rocha inalterada. O processo de concentração residual se desenvolve através da lixiviação de certos elementos, e concentração de outros nas zonas alteradas (saprolitos). Os elementos não lixiviados, portanto, têm o aumento da sua concentração gerando os depósitos supergênicos. Sendo o intemperismo o principal fator para concentração residual de minerais de Ti, Oliveira & Imbernon (1998) propuseram uma divisão do perfil de intemperismo com base na caracterização química e geológica para detalhamento e observação das maiores concentrações de Ti: Cobertura Laterítica Superficial, Saprolito Aloterítico, Saprolito Isalterítico e Rocha Alterada. A cobertura laterítica é constituída por material argiloso vermelho escuro, contém argilas e é resultado do intemperismo atual. Imbernon (1993) descreve que os principais minerais encontrados nesta zona são goethita, quartzo, anatásio e fosfatos. A zona denominada por Oliveira & Imbernon (1998) de saprolito aloterítico (Fig.3) está estratigraficamente abaixo da zona laterítica e representa o produto de um intemperismo suficientemente evoluído para destruir todas as estruturas da rocha original, tendo teores de CaO menores que 1% e valores de MgO menores que 1,5%.

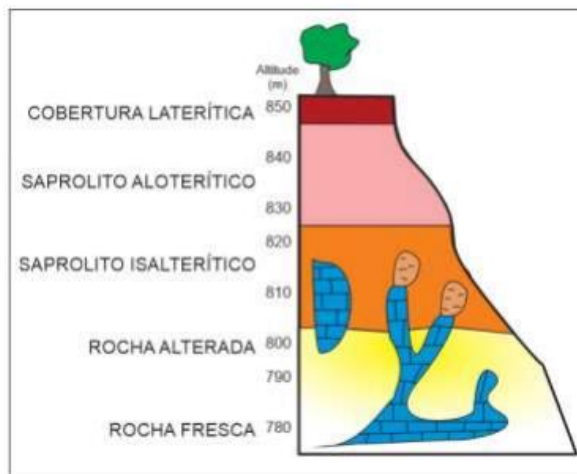


Figura 3 Desenho esquemático das divisões do manto de intemperismo do carbonatito em Catalão.

Quanto a mineralogia, a apatita é transformada em fosfatos secundários, e o anatásio, por ser altamente resistente concentra-se em maiores quantidades. Abaixo do saprolito aloterítico, encontra-se a zona do saprolito Isalterítico, caracterizado por preservar estruturas ígneas ou metassomáticas. Neste contexto, Oliveira & Imbernon (1998) definem valores químicos de CaO maiores que 1% e MgO menor que 5%. A zona denominada de rocha alterada, encontra-se abaixo do saprolito isalterítico e acima da rocha sã. Os minerais encontrados irão variar muito dependendo da mineralogia da rocha sã, e quimicamente, possui valores de CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> menores que 1.6% e MgO superior a 5%. Todas as zonas de alteração possuem relação com o CaO, pela presença do Ca na estrutura cristalina da perovskita (mineral primário), que com o intemperismo resultará nos amorfos de TiO<sub>2</sub>. A reação química descrita neste processo sugere que os sistemas intempéricos e a presença de CO<sub>2</sub>, o Ca é lixiviado, concentrando, neste caso, o anatásio:  $\text{CaTiO}_3 + \text{CO}_2 = \text{TiO}_2 + \text{CaCO}_3$  (Perovskita + CO<sub>2</sub> = Anatásio + Calcita). A calcita livre no sistema 17 poderá formar aglomerados, ou se dissolvida entra na matriz da rocha intemperizada.

### 2.3.2 Influência do Magmatismo e enriquecimento de Ti

Para se ter depósitos carbonatíticos com grandes teores de titânio, ainda que os minerais presentes possam ser de origem supergênica, os cumulados são resultados da cristalização fracionada de magmas silicáticos alcalinos. Em geral, essas rochas ígneas apresentam o protominério de titânio, porém é necessária a concentração residual para que esse teor seja economicamente potencial (Ribeiro, 2014). A grande concentração de Ti nas províncias alcalino-carbonáticas do Brasil está diretamente ligada à formação do anatásio nesses perfis de alteração. Ribeiro (2008) apresentou dados do depósito de Catalão I (Goiás), em que a grande concentração de anatásio é produto da alteração carbohidrotermal da perovskita, e é possível encontrar este mineral na porção intemperizada e também na rocha fresca a 350m de profundidade. Outras anomalias de titânio em outros depósitos carbonatíticos da região, como em Tapira, Salitre e Serra Negra, foram descritos por Brood (1999) e Grasso (2010) com ocorrência apenas no manto de intemperismo, onde a concentração residual forma depósitos potenciais. Mitchell (2002) descreve a estabilidade da perovskita em diversos tipos de magma, porém pontua a possibilidade de alteração metassomática e substituição nos últimos processos de cristalização e intemperismo, produzindo diversos minerais polimorfos de TiO<sub>2</sub> (anatásio, brookita, rutilo) e ilmenita. Pereira et. al (2005) e Ribeiro (2008)

atribuem a alteração da perovskita ao anatásio pela ação de fluidos carbo-hidrotermais, concentrando ainda outros elementos como Mg, Fe, Si, e Nb. Mariano (1989) descreve a alteração da perovskita em anatásio nos solos lateríticos durante o processo de lixiviação do Ca, e ainda cita a presença de monazita derivada das pequenas concentrações de ETR presente na perovskita primária. A intensidade de ocorrências dessas alterações, citadas por diversos autores é dependente do pH, fugacidade do dióxido de carbono e da temperatura (Banfield & Veblen et. Al 1992, Nesbitt et. al 1981).

## **2.4 Contexto Geológico Regional**

Este trabalho está inserido em um ambiente geotectônico caracterizado como Cráton, mais especificadamente ao sul do Cráton São Francisco. Almeida (1977) descreve o Cráton São Francisco Campos e Dardenne (1997) por sequências detríticas do Grupo Bambuí e ainda os Grupos Areado e Mata da Corda, além de sedimentos do Terciário e do Quaternário. O resultado da sedimentação estudada nesse trabalho, envolve o magmatismo kamafugítico da região de Patos de Minas, que foi relacionado à Província Alcalino-Carbonatítica do Alto Paranaíba, presente na Faixa Brasília, SE do Cráton São Francisco (CSF). Além das Unidades pertencentes ao CSF, algumas intrusões kimberlíticas são descritas na área por Chaves (2008) e (Fuck & Pereira, 2005) com inúmeros registros de garimpo de diamante na região.

### **2.4.1 Cráton São Francisco**

O Cráton São Francisco (Almeida, 1967; Teixeira et al., 2000) é constituído por um complexo arranjo de terrenos metamórficos de alto grau (gnaisses, granitóides e granulitos) de idade arqueana, associações do tipo granito-greenstone e cinturões de rochas supracrustais paleoproterozóicas, assim como rochas plutônicas com grande variedade composicional, expostos no extremo sul do cráton (Cinturão Mineiro) e na porção nordeste, no estado da Bahia. O Cráton é amplamente recoberto por rochas sedimentares proterozóicas e fanerozóicas atribuídas a bacia São Francisco, denominada Bacia Sanfrancisca por Sgarbi (1991). O Cráton São Francisco (Fig.4) é margeado por duas faixas móveis dobradas que exerceram compressão nas suas bordas leste (Faixa de Dobramentos Araçuaí) e oeste (Faixa de Dobramentos Brasília), provocando deformações dúcteis-rúpteis, que o afetaram, bem como às suas coberturas, representadas no domínio da Bacia Sanfranciscana.

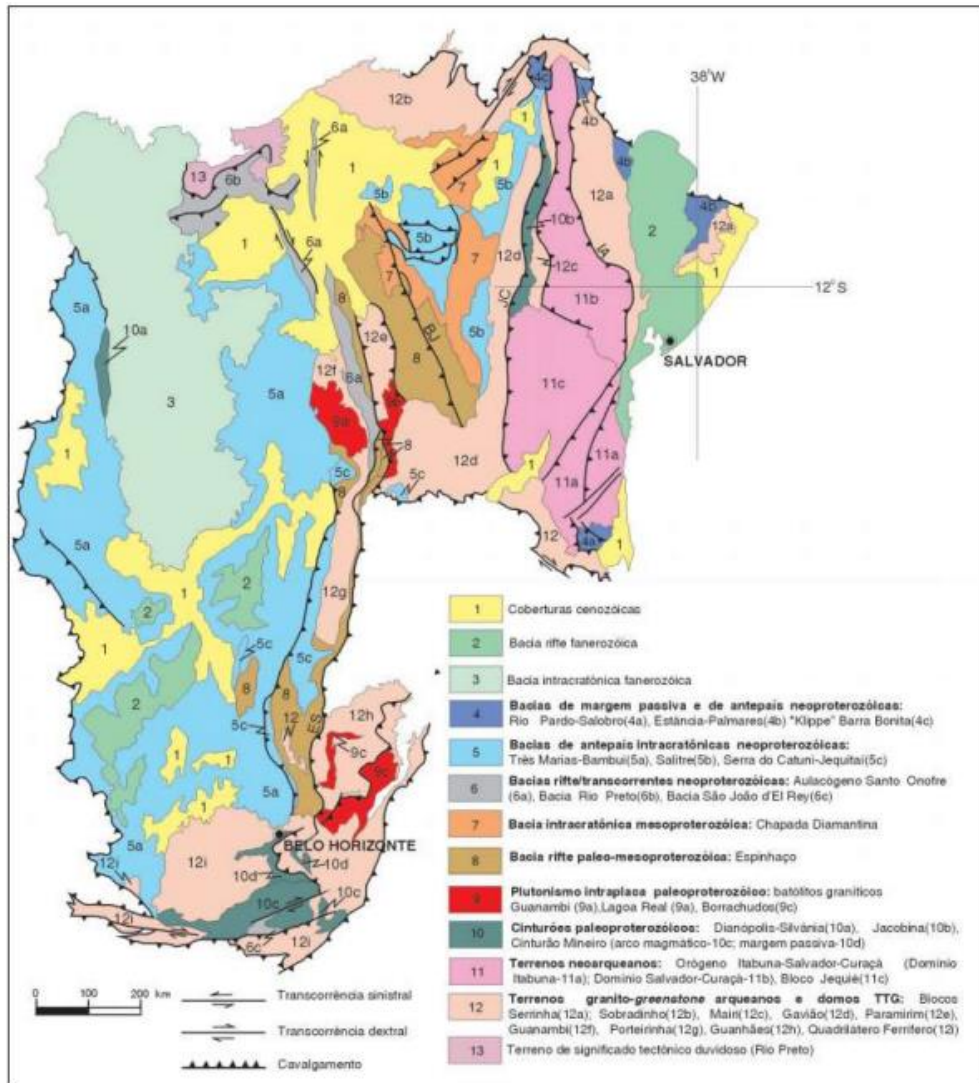


Figura 4 Domínios tectônicos e principais estruturas do cráton São Francisco. (adaptados de CPRM,

#### 2.4.2. Bacia Sanfranciscana

A bacia Sanfranciscana apresenta uma área de 350.000 km<sup>2</sup> sobre o Cráton São Francisco englobando grandes porções dos estados de Minas Gerais e Bahia, e áreas menores dos estados de Goiás, Tocantins e do Distrito Federal. Alkmin & Martins Neto (2001) definiram os seguintes limites para a bacia: a leste, a Serra do Espinhaço (composta no sul pela Faixa Dobrada Araçuaí, e no norte pelo Corredor de Deformação Paramirim); ao sul, o contato estratigráfico entre suas rochas e o embasamento metamórfico (mais velho que 1.8 Ga); a oeste a porção autóctone (thick-skinned) da Faixa Dobrada Brasília (a porção alóctone epidérmica (thin-skinned) dessa faixa é considerada como pertencente à bacia); e a noroeste, o Arco do São Francisco (Faixa Dobrada Rio Preto). A bacia é predominantemente preenchida por rochas Proterozóicas (Supergrupo Espinhaço, e grupos Arai, Paranoá, Bambuí e Macaúbas), cobertas por unidades sedimentares permo-carboníferas (Grupo Santa Fé), Eocretácicas (Grupo Areado), por rochas vulcânicas e epiclásticas Neocretácicas (Grupo Mata da Corda), e por uma chapada composta por arenitos de idade Neocretácica (Grupo Uruçuaia).

## 2.5 Estratigrafia do trabalho

Em detalhe, a estratigrafia da Bacia Sanfrancisca é apresentada em rochas vulcanossedimentares, arenitos eólicos, rochas sedimentares de ambiente lacustre, fluvial e aluvial. Define-se em quatro Grupos: Santa-Fé (com idade Carbonífero-Permiano), Areado (datado em Valanginiano e Albiano), Urucuia e Mata da Corda (ambos com idades Cenomaniano a Masstrichtiano) e ainda, a Formação Chapadão do Terciário Superior. O Grupo Santa Fé é caracterizado pela unidade Fanerozóica mais antiga e foi definida inicialmente por Dardene (1991) e Campos (1992). É composto pelas Formações Floresta e Tabuleiro. A Formação Floresta ainda possui três subdivisões: Membro Brocotó, Brejo do Arroz e Lavrado. A Formação Floresta é descrita em arenitos, com grande variação nas fácies, diamictitos com seixos estriados, conglomerados com fácies indicando retrabalhamento e argilitos. As estruturas sedimentares mais comuns nessa Formação são: estratificação cruzada estratificação plano-paralela nos arenitos e argilitos, estratificação cruzada acanalada e concreções carbonáticas (Campos e Dardene 1997). A Formação Tabuleiro também se apresenta por grande variação das fácies dos arenitos, locamente intercalos com argilitos. Discordante ao Grupo Santa Fé, o Grupo Areado é subdividido em três Formações: Abaeté, Quiricó e Três Barras. Em algumas considerações, Sgarbi (1991) apresenta o Grupo Areado como Formação, tendo Abaeté, Quiricó e Três Barras como Membros. Tanto para Sgarbi (991) quanto para Campos & Dardene (1997) essas Formações são descritas em conglomerados, sedimentos pelíticos e arenitos, respectivamente. Os conglomerados da Formação Abaeté são polimíticos comumente sustentados pela matriz com clastos de metassedimentos e foram interpretados como sedimentação fluvial entrelaçado, sendo capaz de depositar os pacotes conglomeráticos (Campos & Dardenne, 1995). Os siltitos de coloração esverdeada podem ocorrer intercalados a arenitos. A Formação Três Barras é descrita pelos arenitos médios com estratificação cruzada de grande porte e coloração rosa e branca, observado na área, na estratigrafia do ponto TW-03. A Formação Posse, Grupo Urucuia, é constituída por arenitos de variação granulométrica de muito fino a média, com boa maturidade textural e mineralógica. Podem ocorrer juntamente a lentes conglomeráticas, com seixos do próprio arenito. Na Fm. Serra das Araras as principais litologias descritas são arenitos, argilitos e conglomerados com coloração avermelhada com estratificação plano-paralelas.

O Grupo Mata da Corda possui estudos mais detalhados pela ocorrência de diamante encontrada nos aluviões da Bacia Sanfrancisca e sua correlação com o magmatismo Patos citado por Costa & Grossi Sad (1968). O Grupo Mata da Corda foi descrito por Costa & Grossi Sad (1968) como sendo as rochas vulcânicas e vulcanoclásticas que sobrepõem, em discordância erosiva, as rochas do Grupo Areado na Bacia Sanfranciscana (Rimann, 1917; Barbosa, 1965, Sgarbi, 1989). Grossi Sad et al. (1971) subdivide o grupo nas fácies Patos, Capacete e Urucuia, posteriormente. Campos & Dardenne (1997a) elevam a Formação Urucuia a Grupo Urucuia e formalizam o Grupo Mata da Corda, constituído pelas formações Patos e Capacete. Sgarbi (1991) define a Formação Patos instituída por intrusões subvulcânicas kamafugíticas, além de rochas kimberlíticas e vulcanoclásticas.

A Formação Capacete é composta essencialmente de rochas vulcanoclásticas, como conglomerados e arenitos epiclásticos e materiais piroclásticos, que ocorrem com amplo espalhamento geográfico, a qual pode alcançar até 130 m de espessura, o que evidencia a grande magnitude do vulcanismo que afetou o final do Cretáceo (Sgarbi et al. 2001). A datação obtida por diversos autores nas rochas do Grupo Mata da Corda, variam entre 80-90Ma (Hasui & Cordani,



1968; Gibson et al. 1995; Sgarbi et al. 2000, 2004). A datação das rochas da Formação Patos e Formação Capacete mostram que os eventos de erupção e sedimentação foram sincrônicos (Svisero & Basei, 2005). Para Sgarbi (1991) o magmatismo Mata da Corda apresenta um raro magmatismo kamafugítico e teve o período máximo de intensidade posicionado entre o Turoniano Inferior e o Campaniano Médio (80-90Ma). O transporte desta rocha se deu em fan-delta (Fig. 5) por grande extensão na região, formando conglomerados e arenitos com diversas litologias.

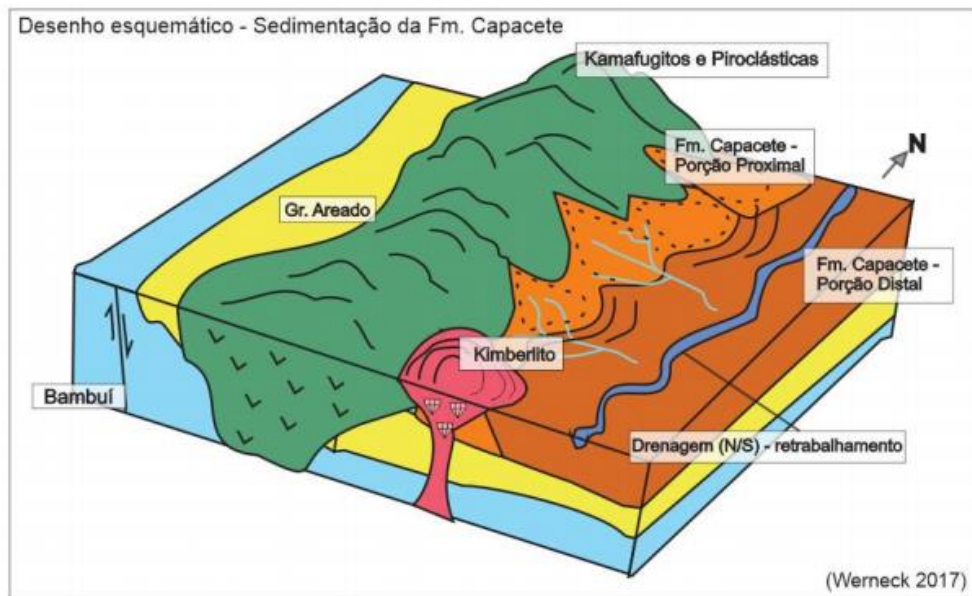


Figura 5 Desenho esquemático para representação de ambientes envolvidos na Formação Capacete

Através da sedimentação destas rochas vulcanoclásticas e piroclásticas, das rochas intrusivas da Formação Patos, foi definida a Formação Capacete (Fig. 6) Campos & Dardenne (1997) interpretaram esta sedimentação como um sistema de leques aluviais distais com transição para fácies fluviais entrelaçada. Por termos como fonte o magmatismo da Formação Patos, a Formação Capacete apresenta diversa fácies, por vezes interpretadas como diferentes pulsos magmáticos. Encobrendo as rochas da Fm. Capacete, uma extensa cobertura se faz presente. Essa cobertura, por vezes se apresenta bem magnética com coloração avermelhada, e por vezes de coloração rósea e menos magnética. As rochas desta formação se destacam na geomorfologia da região por formarem as serras tabulares, típicas da região do Alto Paranaíba. As coberturas inconsolidadas, tais como os sedimentos aluvionares, coluvionares, de idade Cenozóica, são constituintes da Formação Chapadão.

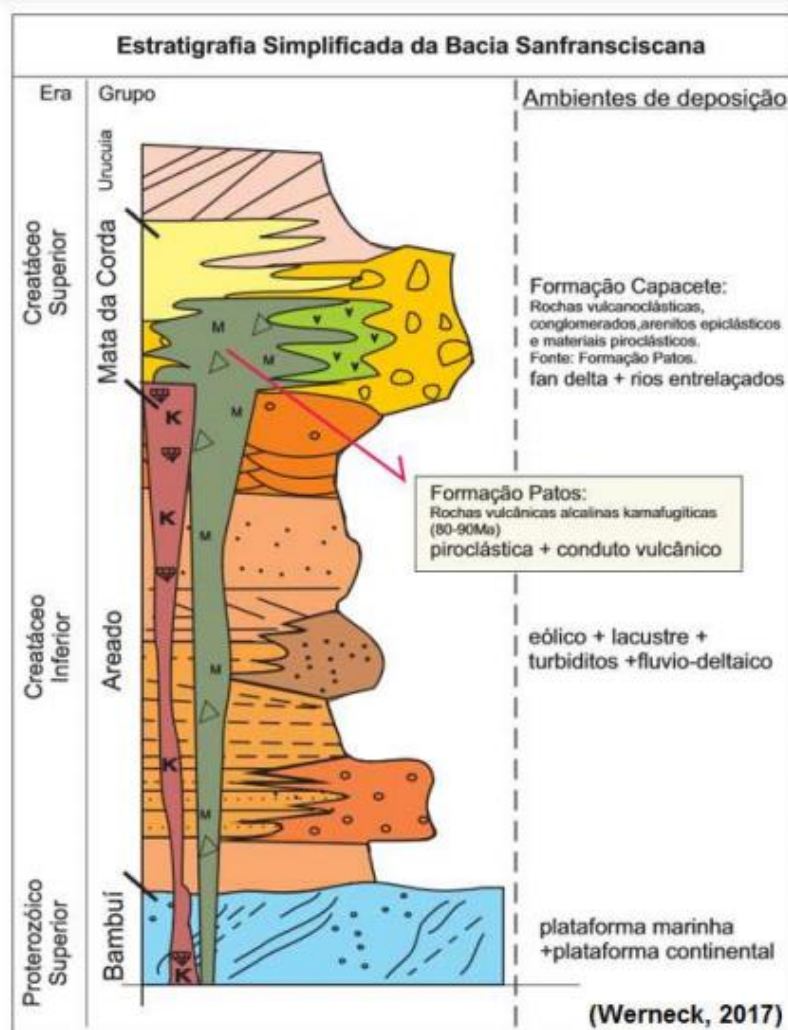


Figura 63 Perfil estratigráfico simplificado da Bacia Sanfranciscana

## 2.6 Província Alcalino-Carbonatítica do Alto Paranaíba

A Formação Patos presente no Grupo Mata da Corda está relacionado a grande Província Alcalino-Carbonatítica do Alto Paranaíba, considerada localmente por alguns autores como Província Alcalina Minas-Goiás (Sgarbi & Gaspar 2001). Neste contexto, as principais intrusões encontram-se ao longo da Faixa Brasília a SW do CSF. Moraes (1987) destaca os depósitos piroclásticos como parte do vulcanismo alcalino que prevaleceu no Brasil no Cretáceo. Quimicamente este vulcanismo é comparado à série kamafugítica descrita por Sahama (1974). Em seu primeiro momento (Cretáceo Inferior) foi contemporâneo aos derrames de basaltos continentais da Formação Serra Geral. Também foi comparado por Gibson (1995) às contemporâneas intrusões de Trindade. Num segundo momento formaram-se as províncias alcalinas descritas por Sgarbi & Gaspar (2001) como Província Alcalina de Minas-Goiás. Além das rochas kamafugíticas da Fm. Patos, outros inúmeros corpos sub-vulcânicos, kimberlitos e carbonatitos estão relacionados à esses eventos. São conhecidos nas regiões de Catalão, Salitre, Araxá e Tapira. Figura 8 Localização dos corpos carbonatíticos. Modificado de Fleishcer, (1998)

## 2.7 Formação Capacete e seus ambientes, Grupo Mata da Corda

Tendo a Bacia do São Francisco subdivisões, este trabalho têm como enfoque a Formação

Capacete aflorada na Sub-Bacia Abaeté. As fácies descritas desta Formação nesta região, por vezes são restritas. A grande ocorrência geográfica da Formação Capacete, sua diversidade em litotipos, e a sua relação com diversos pulsos vulcânicos da Formação Patos, possibilitou que alguns autores a subdividissem em diferentes fácies. Para Sgarbi (2001), esta Formação pode ser dividida em cinco fácies, com sedimentação em diversos ambientes, porém nem todas foram observadas na região de estudo.

### **2.7.1 Fácies conglomerado suportado**

São conglomerados mal selecionados, assim como todos os outros descritos nessa Formação, possuem clastos subarredondados, e matriz formada por arenitos líticos vulcânicos, em grãos bem arredondados depositados em leques aluviais. Ocorre tanto na base quanto no topo da sequência vulcanoclástica, onde os clastos do topo podem ser facilmente caracterizados pelos seixos caulinizados.

### **2.7.2 Fácies conglomerado para-suportado**

Conglomerados com gradação normal ou inversa com estratificação bem marcada, sendo essa tabular ou cruzada. Podem apresentar relação com Grupo Areado em clastos de quartzito e fragmentos de veio de quartzo nessa fácies. Alguns clastos podem apresentar polimento pelo vento, ventifactos. Essa fácies é descrita tendo sua formação relacionada por regime fluvial entrelaçado em áreas mais aplainadas.

### **2.7.3 Fácies arenitos e siltitos líticos vulcânicos**

Arenitos formados por fragmentos de rocha vulcânica, localmente cimentados por carbonato de cálcio. Na matriz são associados a fragmentos quartzosos muito bem arredondados do Grupo Areado, e quando a fácies se apresenta mais alterada, apresenta matriz de esmectita. Podem ocorrer em até 160km de distância da fonte alcalina, principalmente os siltitos, e ainda, se apresentam intercalados com todas as outras fácies. Tanto os arenitos quanto siltitos, são resultados da sedimentação em ambiente fluvial entrelaçado.

### **2.7.4 Fácies de material piroclásticos**

Ocorre nos edifícios vulcânicos na forma de lapilitos e tufos estratificados. Podem aflorar com até 10 metros de espessura e mais comumente intercalado a outras fácies.

### **2.7.5 Fácies de aglomerado de borda de conduto**

Essa fácies está associada às lavas e ocorrem estritamente nas bordas de conduto vulcânico, em seixos arredondados imersos em matriz tufácea ou lapilítica fina. O arredondamento dos clastos vulcânicos deu-se pela abrasão dentro do conduto.

A partir da introdução exposta é possível consultar a metodologia, resultados e discussões do trabalho desenvolvido no Apêndice A, onde é apresentado o artigo completo **“Correlação geoquímica, análise de susceptibilidade magnética, mineralógica e de raios gama nas fácies da Formação Capacete, Grupo Mata da Corda, município de Tiros, MG”**.

**Apêndice A**  
**(Artigo Submetido ao Anuário de Geociências UFRJ)**

## **Correlação geoquímica, análise de susceptibilidade magnética, mineralógica e de raios gama nas fácies da Formação Capacete, Grupo Mata da Corda, município de Tiros, MG**

Geochemical correlations, magnetic susceptibility, mineralogical and gamma ray analyses on facies of Capacete Formation, Mata da Corda Group, municipality of Tiros, Minas Gerais.

Tayla Peixoto Werneck<sup>1,2</sup>; Luiz Alberto Santos<sup>1</sup>, Nely Palermo<sup>2</sup>; Sérgio Bergamaschi<sup>2</sup>; Anderson Costa dos Santos<sup>2\*</sup>; Werlem Holanda dos Santos<sup>2</sup>; Renan Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal Fluminense (UFF), Programa de Pós Graduação Dinâmica dos Oceanos e da Terra, Campus do Gragoatá Av. Gen. Milton Tavares de Souza s/nº - Gragoatá Campus da Praia Vermelha, Niterói, RJ, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Faculdade de Geologia, Rua São Francisco Xavier, 524, 20.550-900 - 4º andar/bloco A, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2\*</sup>[orcid.org/0000-0003-2526-8620](https://orcid.org/0000-0003-2526-8620) -Tektos Group and Instituto GeoAtlântico (UERJ, Brazil) / Geobiotec, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal.

<sup>3</sup> *Laurentian University Willet Green Miller Centre, 935 Ramsey Lake Rd, Sudbury, ON P3E 2C6, Canadá.*

E-mails: [tayla.werneck@hotmail.com](mailto:tayla.werneck@hotmail.com); [luizalb1@gmail.com](mailto:luizalb1@gmail.com); [nelpalermo@gmail.com](mailto:nelpalermo@gmail.com);

[sergioberg7@hotmail.com](mailto:sergioberg7@hotmail.com); [andcostasantos@gmail.com](mailto:andcostasantos@gmail.com) ; [werlemholanda@hotmail.com](mailto:werlemholanda@hotmail.com);

[rsilva@laurentian.ca](mailto:rsilva@laurentian.ca)

### **Resumo**

A sudoeste do Cráton São Francisco, na Bacia Sanfranciscana (Cretáceo), afloram diversas fácies da Formação Capacete, que tiveram como fonte as rochas kamafugíticas da Formação Patos. Em trabalhos anteriores foram descritos minerais de titânio, como anatásio, ilmenita e Ti-magnetita nas fácies da Formação Capacete, indicando um possível enriquecimento supergênico e uma correspondente anomalia de TiO<sub>2</sub>. A partir de amostras de mão e testemunhos de sondagem foram realizadas análise química por Fluorescência de Raio X (FRX), análises petrofísicas de susceptibilidade magnética, raios gama e descrição de mineralogia em grão. Este trabalho visa a correlacionar os teores químicos anômalos, com classificação das quatro principais fácies: conglomerado suportado por matriz, conglomerado suportado por clasto, arenito e siltito. Com a análise mineralógica em lupa binocular, observou-se minerais de titânio, entre eles, cristais de anatásio, ilmenita, titano-magnetita. Nas análises de FRX, as fácies conglomerado suportado por matriz e por clastos apresentaram as maiores concentrações de TiO<sub>2</sub>, com até 18%, valores esses bem superiores da média descrita por Force (1991). A análise de susceptibilidade magnética foi

realizada comparando teores químicos de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Nas amostras de mão e nas amostras de testemunho, os conglomerados apresentam valores variando de 40x10<sup>-6</sup> SI a 120x10<sup>-6</sup> SI, e possuem os maiores teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, com até 59%. Já os arenitos e siltitos variam entre 17,1x10<sup>-6</sup> a 65 X10<sup>-6</sup> SI, e os teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> não ultrapassam de 29%. Na análise dos raios gama, não foi encontrada correlação entres esta análise e valores anômalos de TiO<sub>2</sub> ou Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, não sendo, portanto, um método possível para identificação de teores anômalos. Com a correlação dos métodos, pode-se afirmar que os teores mais elevados em titânio e a maior abundância em anatásio são contínuos ao longo das zonas intemperizadas e mais conglomeráticas.

**Palavras-chave:** Anatásio; FRX; Bacia Sanfranciscana

### **Abstract**

Southwest of the São Francisco Craton, in the Sanfranciscana Basin (Cretaceous), sedimentary rocks from the Capacete Formation has their provenance from kamafugites of Patos Formation. Previous studies show titanium anomalies into Capacete Formation rocks with the main mineralogy composed of anatase, ilmenite, and titanomagnetite, indicating a potential supergene titanium enrichment into these rocks, and consequently anomaly of TiO<sub>2</sub>. Chemical analysis by X-Ray Fluorescence (FRX), petrophysical analyzes of magnetic susceptibility, gamma rays, and description of grain mineralogy were carried out using outcrop samples and driller samples. This study aims to correlate anomalous chemical contents, with the four main facies of the Capacete formation: matrix-supported conglomerate, clast-supported conglomerate, arenite, siltstone. Mineralogical analyses using a binocular lens microscope, titanium-rich minerals were identified: anatase, ilmenite and titano-magnetite. Analyses with XRF show clast-supported conglomerate, arenite and siltstone have the highest concentrations of TiO<sub>2</sub>, with values up to 18% values, which is above the average described by Force (1991) for these rocks. Correlation between the magnetic susceptibility and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> concentrations using grab and drill core samples show conglomerates have measurements varying from 40x10<sup>-6</sup> SI to 120x10<sup>-6</sup> SI with Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> concentration up to 59%. On the other hand, arenites and siltstones have measurements varying 17.1x10<sup>-6</sup> SI to 65x10<sup>-6</sup> SI and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> concentrations up to 29%. Gamma-ray analyses do not show any correlation with the TiO<sub>2</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> anomalies. Therefore, the gamma-ray is not able to identify the anomalies. Using the correlation of those methods, the study shows the high concentrations of titanium are typical presented in conglomerate facies, reflecting the abundance of anatase, especially in the weathering zone.

**Keywords:** Anatase; FRX; Sanfranciscan Basin

## 1 Introdução

O titânio ocorre em diversos minerais que possuem interesse econômico, sendo os principais: ilmenita, leucoxênio, rutilo, anatásio, brookita, perovskita e titanita (Force, 1999). As ocorrências de Titânio mais expressivas no Brasil estão relacionadas às rochas sedimentares, ígneas e em processos supergênicos (Moraes, 2018). A partir desse processo supergênico, na região próxima ao Triângulo Mineiro, nos municípios de Tiros e São Gotardo, é identificada uma anomalia de titânio. Estas altas concentrações são observadas na Formação Capacete, através de processos supergênicos em rochas vulcanosedimentares (Sgarbi, 1989).

Na década de 70, a região de Tiros, São Gotardo e Presidente Olegário, municípios próximos ao Triângulo Mineiro, ficaram conhecidas pelas anomalias de  $TiO_2$  observadas em estudos de avaliação econômica, publicados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), atual Agência Nacional de Mineração (ANM).

Em dados comparativos, Force (1999) descreveu teores médios encontrados em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, sendo a última apresentando valores entre 0,2 e 0,6% de  $TiO_2$ . A partir dessas variações de teor, este trabalho apresenta uma análise preliminar para o desenvolvimento de exploração de titânio, no Sudoeste de Minas Gerais, através da caracterização e correlação de fácies sedimentares com química, mineralogia e petrofísica.

## 2 Contexto Geológico

A região de trabalho está localizada a sudoeste do Cráton São Francisco, na Bacia Sanfranciscana (Figura 1). Nesse contexto, os pontos focais de estudo se concentram na Formação Capacete, Grupo Mata da Corda.

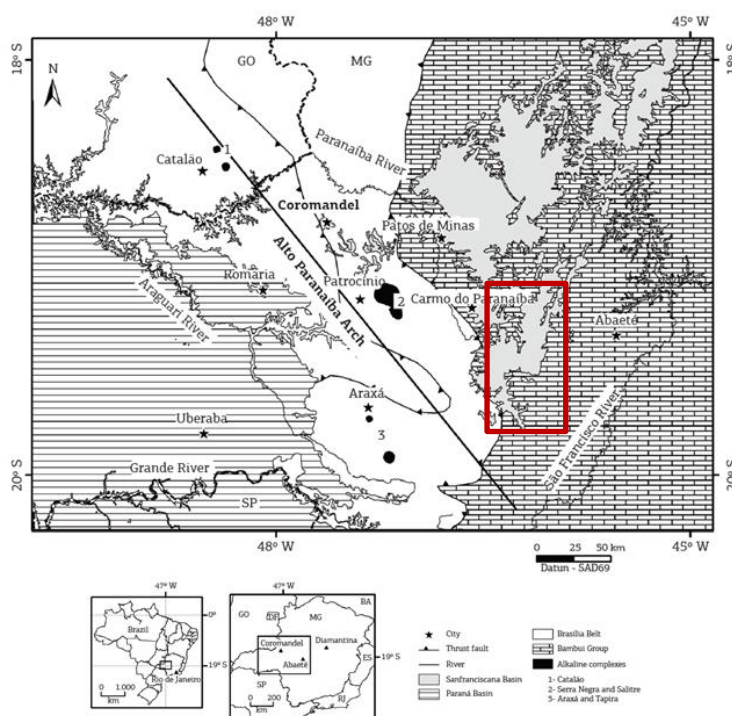


Figura 1 Região do Triângulo Mineiro com alto Paranaíba, Bacia do Paraná, e Bacia do Abaeté do Sul. Destaque para Bacia Sanfranciscana (vermelho). Heineck et al. 2004

## 2.1 Grupo Mata da Corda

O Grupo Mata da Corda foi descrito por Costa & Grossi Sad (1968) como rochas vulcânicas e vulcanoclásticas que sobrepõem, em discordância erosiva, às rochas do Grupo Areado na Bacia Sanfranciscana (Rimann, 1917; Barbosa, 1965; Sgarbi, 1989). Grossi Sad et al. (1971) subdividem o grupo nas fácies Patos, Capacete e Urucuia. Posteriormente Campos & Dardenne (1997a) elevam a Formação Urucuia a Grupo Urucuia e formalizam o Grupo Mata da Corda, constituído pelas Formações Patos e Capacete. Sgarbi (1991) define a Formação Patos por intrusões subvulcânicas kamafugíticas, além de rochas kimberlíticas e vulcanoclásticas. Através da sedimentação destas rochas vulcanoclásticas e piroclásticas, das rochas intrusivas da Formação Patos, foi definida a Formação Capacete.

A Formação Capacete é composta essencialmente de rochas vulcanoclásticas, como conglomerados e arenitos epiclásticos e materiais piroclásticos (Sgarbi et al., 2001). A partir desses dados, Sgarbi (2001) subdividiu a Formação Capacete em cinco principais fácies: conglomerado suportado, conglomerado para-suportado, arenito e siltitos líticos vulcânicos, material piroclástico e aglomerado de borda de conduto.

## 4 Materiais & Métodos

O material utilizado neste trabalho envolve um total de 22 amostras, coletadas em 7 diferentes afloramentos, além de 15 amostras retiradas de 3 testemunhos de sondagem, disponibilizados por empresa que pesquisou na região. Todas as amostras coletadas em afloramento foram caracterizadas pela fácies sedimentar, mineralogia e química, seguindo o fluxograma A (Figura 2). Já as amostras de testemunhos de sondagem foram baseadas nos 15 maiores valores de susceptibilidade magnética, e tratadas seguindo o fluxograma B (Figura 3).

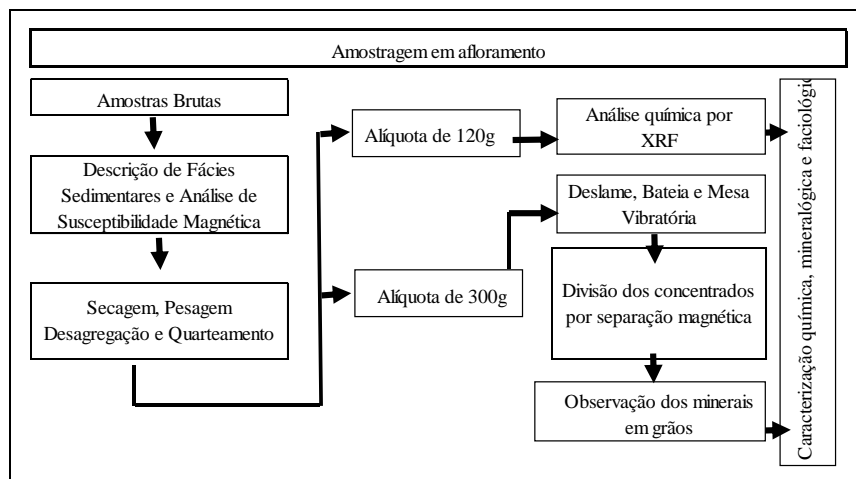


Figura 2 Fluxograma (A) do processamento aplicado para as amostras coletadas nos afloramentos.



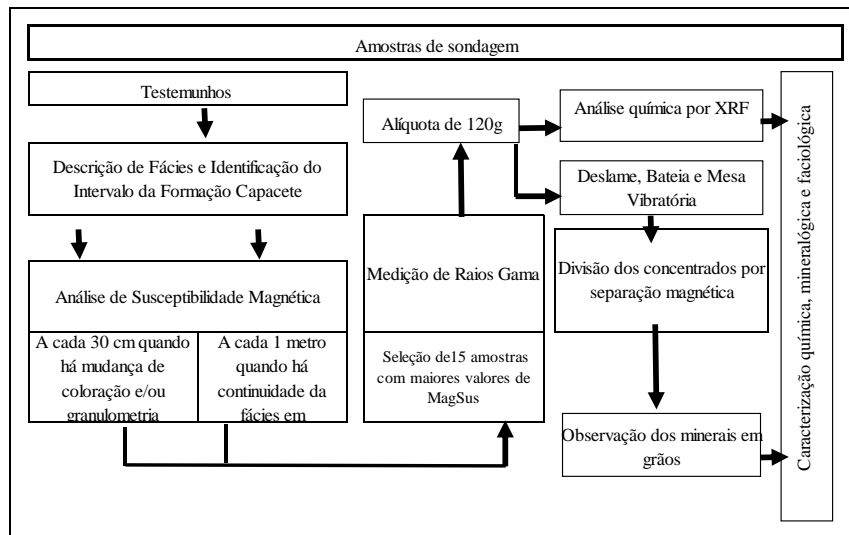


Figura 3 Fluxograma (B) do processamento aplicado para amostras coletadas em determinados intervalos de testemunhos de sondagem.

#### 4.1 Amostragem, Caracterização Faciológica e Mineralógica

Através dos afloramentos indicados (Fig. 4), foram realizadas 22 amostragens. A descrição foi realizada com base nas fácies e as características observadas nos afloramentos. Inicialmente o material amostrado, de quantidades variando ente 3 a 5kg, foi seco, desagregado, com posterior remoção de lama em água corrente para a retirada das frações argila e silte. Em seguida, o material foi peneirado a 2 mm e realizada a bateia para concentração dos minerais pesados. Algumas frações de minerais pesados foram concentradas em mesa vibratória. O produto final dos concentrados foi pesado e separado por imãs, seguido de descrição dos minerais em lupa.

Os testemunhos disponibilizados pela Iluka Brasil Mineração foram perfurados próximo aos afloramentos TW2, TW3 e TW7, onde foram selecionadas 15 amostras com maiores valores de susceptibilidade magnética. Essa determinação se deve a possível correlação de  $Fe_2O_3$  e  $TiO_2$ . Foram amostrados cerca de 200g de material para medição de Espectrometria Gama e análises químicas.

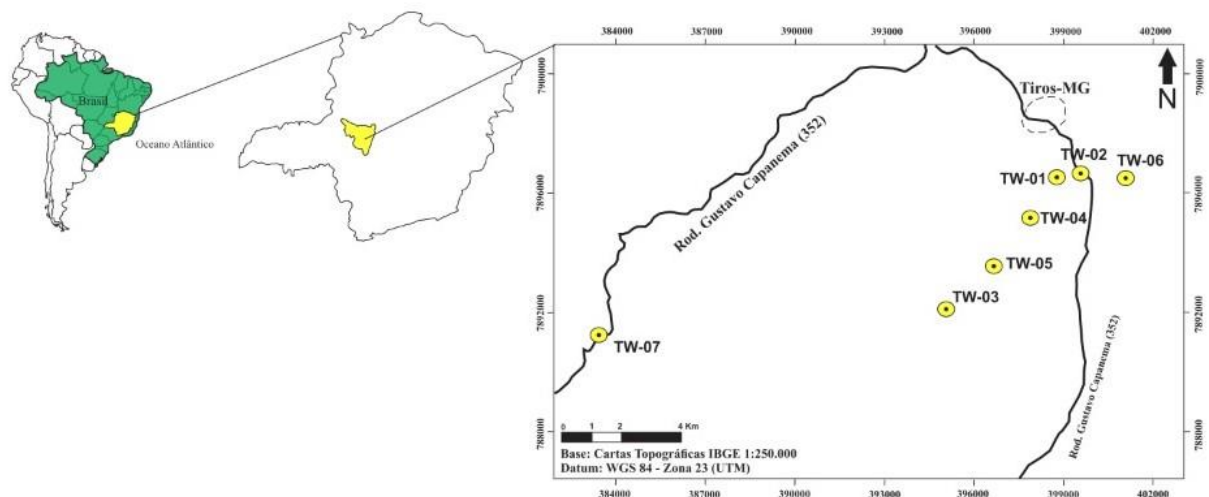


Figura 4 Localização da área de estudo e pontos de afloramentos amostrados.

### **3.3 Caracterização Química**

Para caracterização química, o método utilizado foi a fluorescência de raio-x (FRX), com equipamento disponibilizado pela Iluka Brasil Mineração, Niton XL2GOLDD. A preparação das amostras seguiu os seguintes procedimentos: de cada amostra coletada em afloramento e testemunho, moída e seca, foi retirada 120g. Colocou-se em um refratário apropriado para análise, lacrado com vitafilme. Para início da leitura, utilizou-se o *software* do equipamento, o Niton Data Transfer. Por recomendação do fabricante, ficou determinado o mínimo de 150s para leitura.

### **3.4 Caracterização Petrofísica**

Nas 22 amostras coletadas no campo, foi realizado o teste de susceptibilidade magnética utilizando o KT-10 Magnetic Susceptibility Meter sendo sua sensibilidade superior a  $10^{-8}$  SI. Para isso, inicialmente o susceptímetro foi calibrado para o ambiente durante 120s, e em cada amostra coletada, o processo se repetiu três vezes. O valor utilizado para correlação é uma média dos três registros. O mesmo processo foi feito em 58 metros de testemunho. Com o objetivo de identificar possíveis correlações químicas e faciológicas, 15 amostras coletadas em testemunho foram analisadas com o Espectrômetro portátil de raios-gama modelo Radiation Solucion RS 230. As amostras de mão, coletadas em afloramento não tiveram medições de Raio Gama.

## **4 Resultados**

### **4.1 Análise Faciológica**

A partir dos afloramentos e amostras de testemunho, foi possível observar relações entre fácies, caracterizá-las e propor uma divisão das fácies sedimentares mais recorrentes.

#### **4.1.1 Fácies Conglomerado suportado por clasto (CC)**

Conglomerados com gradação normal ou inversa com estratificação bem marcada, sendo essa tabular ou cruzada. Podem apresentar relação com Grupo Areado em clastos de quartzito e fragmentos de veio de quartzo nessa fácies. Alguns clastos podem apresentar polimento pelo vento, ventifactos. Essa fácies é descrita tendo sua formação relacionada por regime fluvial entrelaçado em áreas mais aplainadas.

#### **4.1.2 Fácies Conglomerado suportado por matriz (CM)**

São conglomerados mal selecionados, possuem clastos subarredondados, e matriz formada por arenitos com líticos vulcânicos, com grãos bem arredondados e depositados em leques aluviais. Ocorre tanto na base quanto no topo da sequência vulcanoclástica, onde os clastos do topo podem ser facilmente caracterizados pelos seixos caulinizados.

#### **4.1.3 Fácies arenitos (A)**

Arenitos formados por fragmentos de rocha vulcânica, localmente cimentados por carbonato de cálcio. Na matriz são associados a fragmentos quartzosos muito bem arredondados do Grupo Areado, e quando a fácies se apresenta mais alterada, exhibe matriz de esmectita. O ambiente dessa fácies é relacionado ao fluvial entrelaçado.

#### 4.1.4 Fácies siltito (S)

A fácies siltito foi observada, em grande parte, intercalada a fácies arenito, como resultado de uma sedimentação em ambiente fluvial entrelaçado, na porção distal do leque.

Além dessas quatro principais fácies, ainda foi observada a fácies de material piroclástico, ocorrendo nos edifícios vulcânicos na forma de lapilitos, tufos estratificados, porém, por não se apresentarem constantes, o estudo mineralógico destacou apenas as quatro principais já descritas.

## 4.2 Análise Mineralógica

Após separação magnética e densimétrica, obteve-se o concentrado de minerais compostos essencialmente por anatásio, ilmenita, monazita, rutilo, micas, hematita, brookita, cromita, diopsídio, granada, quartzo e titanita (Tabela 2). Dentre os minerais com altos teores de titânio, destaca-se o anatásio, ilmenita e rutilo.

TABELA 2: Ocorrência e frequência de cristais observados em lupa binocular.

Minerais em Grãos	Fácies	TW-01		TW-02		TW-03	T20-43.2	T20-48.0	TW-04	T18-28.5	TW-05	T18-37.0	TW-06	
		CM	AR	CC	AR	CM	CC	AR	CM	AR	CC	AR	CM	AR
anatásio		CC		CC		CC			CM	AR	CC			
brookita			AR				CC						CM	AR
cromita								AR		AR				
diopsídio								AR		AR	CC	AR		
fosfato (monazita)					AR				CC	AR	CC	AR		
goethita		CC	AR	CC	AR							AR	AR	
granada						CM			CM	AR				
ilmenita		CC	AR	CC	AR		CC	AR		AR		AR	CM	AR
magnetita		CC	AR	CC	AR	CC	AR	AR	CC	AR	CC	AR	CC	AR
mica										AR				
quartzo					AR	CC	AR	AR		AR		AR		
rutilo		AR	AR	AR	AR					AR	AR	AR		AR
titanita										AR		AR		
hematita		AR												
fragmento de rocha		CC	AR		AR		CC	AR		AR		AR	CC	AR
Frequência dos minerais	CC	Muito frequente (>20% do concentrado)						CC	Conglomerado suportado por clasto					
	AR	Frequente (entre 15 e 20% do concentrado)						CM	Conglomerado suportado por matriz					
	AR	Pouco frequente (< 15% do concentrado)						AR	Areia					
		Não observado ou sem ocorrência												

O anatásio (Figura 5a) está presente nas fácies conglomerado suportado por matriz e por clasto principalmente. Foi observado também na fácies arenito quando ocorre em intercalação com os conglomerados, porém sem expressividade. Apresenta-se em geral euédrico, bipiramidal, variando de 0.1 a 0.4 mm de dimensão, coloração acastanhada.

A ilmenita (Figura 5b) ocorre em todos os concentrados analisados, das fácies conglomerado e arenito. Os grãos são arredondados, com média esfericidade e se apresentam de forma subédrica à anédrica. Possui brilho metálico à fosco, coloração cinza azulada e dimensões de até 0.3 mm.

O rutilo, (Figura 5c) presente nas fácies arenito, possui forma euédrica e subédrica, com arestas bem angulosas e fraturas conchoidais. Possui brilho metálico e a coloração é marrom avermelhada. Juntamente com anatásio representa a maturidade sedimentar (Huston 1977).

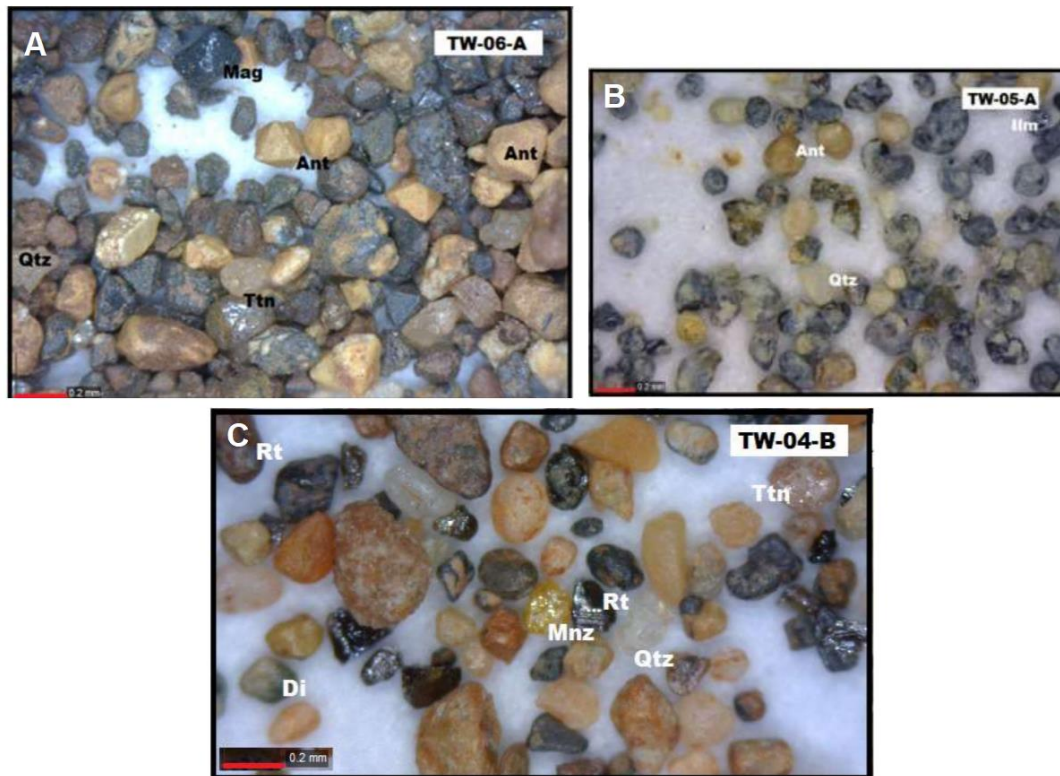


Figura 5 Grãos de anatásio (Ant) (6.A); Grãos de ilmenita (Ilm) (6.b); Grão de rutilo (Rt) (6.c)

### 4.3 Análise Química

#### 4.3.1 Fluorescência de Raio X (FRX)

Foram realizadas 37 análises químicas, sendo 22 de amostras de afloramento e 15 amostras de intervalos de testemunho (Tabela 3). Após a análise discriminatória, optou-se pela correlação dos seguintes elementos:  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ .

É possível observar altos teores de  $TiO_2$  nas 37 amostras analisadas. A fácies conglomerado se destaca com as maiores anomalias, apresentando até 18,8% de  $TiO_2$ . Na figura 6 é possível notar uma relação entre fácies e os teores de Fe e Ti, tendo os conglomerados um destaque frente às outras fácies.

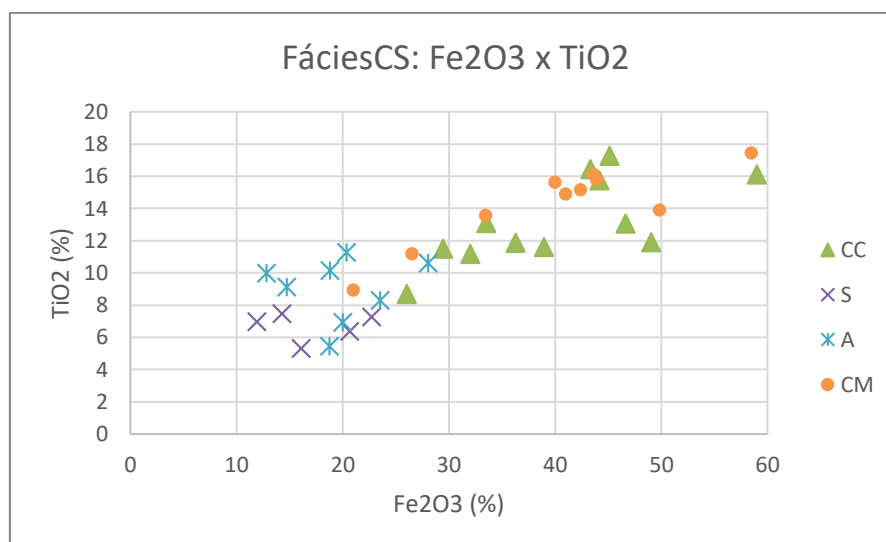


Figura 6 Gráfico correlacionando valores de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Onde S=siltito; CC=conglomerado com clasto suportado; A=arenito e; CM=conglomerado com matriz suportada

Os altos valores de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  podem ser relacionadas à quantidade de magnetita encontrada nos concentrados, à possível inclusão de titânio nas magnetitas (titanomagnetita), e pelos cristais de anatásio também encontrados principalmente nas fácies conglomerado suportado por matriz e por clastos. Os valores de  $\text{TiO}_2$  para conglomerados suportados por clastos variam aproximadamente entre 11 e 18%, já os suportados por matriz de 10% a 15%.

#### 4.4 Análise Petrofísica

Conforme foi exposto nos resultados de análise química, verificou-se que amostras com valores mais elevados de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (até 58%) apresentam valores anômalos de  $\text{TiO}_2$  (até 17%). Com o intuito de utilizar a susceptibilidade magnética como possível rastreador de anomalias, efetuou-se a medição em todas as amostras. Em cada amostra foram realizadas três medições e a média foi considerada. A partir dos gráficos binários de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e Susceptibilidade Magnética (Figura 7), é possível observar uma relação das fácies conglomerado, com maior teor de Ferro e maior magnetismo.

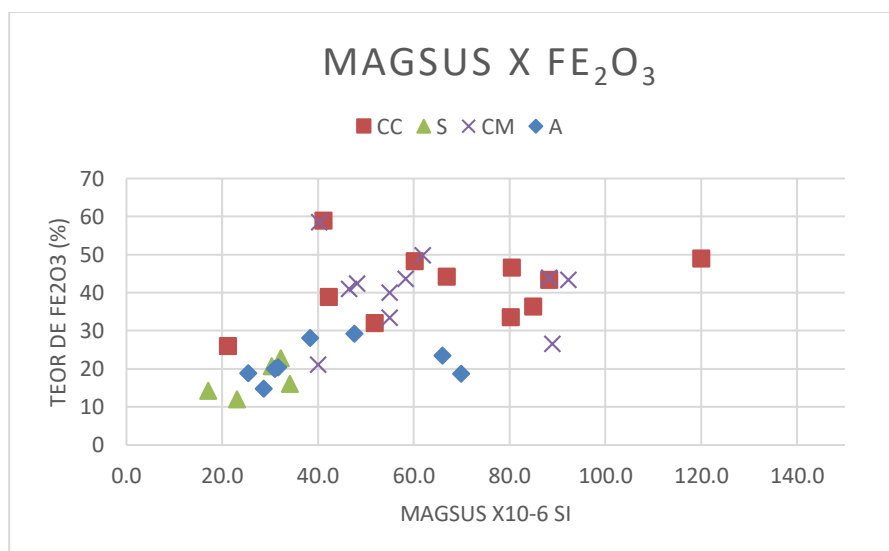


Figura 7 Gráfico relacionando teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Susceptibilidade Magnética.

Os altos valores de TiO<sub>2</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> podem ser relacionadas à quantidade de magnetita encontrada nos concentrados, à possível inclusão de titânio nas magnetitas (titanomagnetita), e pelos cristais de anatásio.

A partir da análise de Raios Gama, foram coletados valores de K, Th, U. Para esses sedimentos analisados, não houve qualquer correlação entre os dados obtidos e os teores de TiO<sub>2</sub> ou individualização de fácies.

TABELA 3: Teores químicos analisados por FRX

Testemunhos de Sondagem	TiO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO%	MnO%	MgO%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Outros (%)*
T(furo)-profundidade								
T18-28.5	16.43	7.16	43.33	0.08	0.05	0.30	8.82	40.27
T18-57.5	0.09	5.17	12.80	0.02	0.03	0.12	1.34	80.51
T18-17.5	13.09	< LOD	33.53	0.12	1.05	3.58	3.18	58.54
T18-12.0	5.44	0.98	18.82	0.05	0.34	2.58	5.99	71.24
T18-37.0	8.69	0.95	26.02	0.12	0.26	1.81	7.86	62.98
T20-14.0	5.32	0.82	16.09	0.06	0.41	1.59	4.12	76.91
T20-14.5	14.88	1.01	41.03	0.12	0.51	1.57	2.62	53.14
T20-33.0	8.91	0.88	21.04	0.12	0.34	1.93	3.06	72.63
T20-43.2	21.25	1.01	43.33	0.04	0.29	2.57	6.14	46.63
T20-45.0	15.75	0.48	43.94	0.04	0.24	4.30	5.67	45.33
T20-47.5	11.85	< LOD	36.31	0.04	0.55	1.33	4.03	57.74
T20-48.0	6.93	0.75	20.34	0.10	0.19	< LOD	5.59	73.03
T33-8.6	8.27	< LOD	28.05	0.10	0.27	2.28	3.09	66.22
T33-11.5	7.24	< LOD	22.72	0.10	0.31	0.70	5.32	70.86
T33-12.0	11.17	< LOD	32.02	0.10	0.44	< LOD	3.78	63.66
Amostra TW(afloramento)-Amostra	TiO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO%	MnO%	MgO%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Outros (%)*

TW1-01	11.48	1.87	29.44	0.16	2.86	0.77	10.77	54.12
TW1-02	13.54	0.87	33.50	0.04	0.18	0.58	9.48	55.35
TW1-03	15.59	1.30	40.00	0.10	0.26	1.41	8.46	48.47
TW1-04	16.11	0.71	43.63	0.07	0.26	1.24	7.69	46.41
TW1-05	10.61	1.21	29.22	0.10	0.62	3.59	12.92	52.34
TW1-06	13.07	0.84	46.65	0.07	0.66	1.59	3.40	46.79
TW1-07	11.88	1.25	49.05	0.10	9.62	4.66	9.12	26.20
TW2-01	16.10	0.60	59.00	0.06	0.36	0.79	9.77	29.43
TW2-02	17.44	0.88	58.51	0.05	0.63	1.97	8.86	29.09
TW2-03	17.27	1.01	45.16	0.06	0.39	1.31	8.52	43.55
TW2-04	15.75	0.48	44.16	0.04	0.38	1.02	8.19	45.74
TW2-05	9.12	0.66	18.76	0.14	0.29	0.59	3.19	76.36
TW2-06	11.59	1.59	38.95	0.10	0.26	< LOD	2.99	56.12
TW3-01	10.12	1.06	20.01	0.12	0.28	0.82	4.37	73.35
TW4-01	6.97	0.58	11.93	8.64	0.21	2.58	2.20	73.85
TW4-02	7.47	0.56	14.28	9.80	0.25	1.39	1.83	71.90
TW4-03	9.97	1.07	14.75	7.75	0.20	1.73	1.66	72.83
TW5-01	6.37	1.41	20.67	0.32	0.17	1.32	3.64	72.46
TW5-02	11.18	0.84	26.56	0.36	0.27	1.55	3.24	67.19
TW7-01	13.89	1.42	49.86	0.14	0.61	< LOD	7.23	40.74
TW7-02	11.27	1.91	23.51	0.23	0.50	1.33	3.95	68.56
TW7-03	15.13	2.04	42.42	0.12	0.54	1.41	20.88	32.59

## 5 Discussões e Conclusões

Os dados levantados na presente pesquisa reafirmam a indicação de anomalia de titânio na região de estudo. Os teores mais elevados em  $\text{TiO}_2$  (até 18%) estão relacionados a maior quantidade de cristais de anatásio (até 30% da amostra total), principalmente na fácies mais intensamente intemperizada do conglomerado suportado por matriz ou por clasto. As análises que resultaram em um menor teor em  $\text{TiO}_2$  (até 6%) são principalmente as amostras de fácies areia que contém polimorfos de titânio como a ilmenita, rutilo, brookita e ti-magnetita como minerais principais, e o anatásio como mineral secundário.

Através dos métodos geofísicos utilizados, é possível observar uma correlação entre os dados Susceptibilidade Magnética e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , conseqüentemente com teores de  $\text{TiO}_2$ . A utilização de gamaespectrometria não forneceu conclusões possíveis para correlação da anomalia de  $\text{TiO}_2$ , portanto não é um método recomendado para detecção dessa anomalia.

Pode-se afirmar que os teores mais elevados em titânio foram identificados em rochas vulcanossedimentares de fácies conglomeráticas e com maiores níveis de susceptibilidade magnética. Com essa observação, conclui-se que a fácies da porção mais proximal do sistema reteve grande parte desses minerais responsáveis pela anomalia de titânio na região.

## 6 Agradecimentos

Os autores prestam seus agradecimentos a empresa de mineração Iluka Resources pela

liberação das amostras, análises e uso das mesmas para fins acadêmicos. Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFF pela utilização dos equipamentos. Ao LGPA, LGQM, laboratórios da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, pela infraestrutura.

## 7 Referências

- Barbosa, O. 1965. Geologia Econômica e aplicada a uma parte do Planalto Central Brasileiro. In: CONGR. BRAS. GEOL., 19, Rio de Janeiro, 1965, Anais, 11p.
- Campos, J.E.G & Dardenne, M.A. 1997. Origem e Evolução Tectônica da Bacia Sanfranciscana. Revista Brasileira de Geociências. 27(3): 283-294.
- Compton, R.R. 1962. Manual of Field Geology. John Wiley & Sons, New York, 378 p.
- Costa, M.T & Grossi Sad, J.H. 1968. O Cretáceo em Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 22, Belo Horizonte, 1968. Resumo das Comunicações, p. 23-36.
- Gibson, S.A.; Thompson, R.N.; Leonardos, O.H.; Dickin, A.P & Mitchell, J.G. 1995. The late Cretaceous impact of the Trindade mantle plume – evidence from large-volume, mafic, potassic magmatism in SE Brazil. Journal of Petrology, 36(1): 189-229.
- Grossi Sad, J.H.; Cardos, R.N & Costa, M.T. 1971. Formações Cretácicas em Minas Gerais: uma revisão. Rev.Bras.Geoc., 1:1-13.
- Hasui, Y & Cordani, U.G. 1968. Idades Potássio-Argônio de rochas eruptivas mesozóicas do oeste mineiro e sul de Goiás. In: CONG. BRAS. GEOL., 22, Belo Horizonte, 1968. Anais. (1):139-143.
- Force, E.R. 1991a. Geology of Titanium-Mineral Deposits. Geological Society of America, (259), 112p. Citações no corpo do texto, seguir os formatos do seguinte
- Pettijohn, F.J. 1975. Sedimentary Rocks. 2nd Edition, Harper and Row Publishers, New York, 628 p.
- Ribeiro, Carlos Cordeiro. 2014. Geologia, geometalurgia, controles e gênese dos depósitos de fósforo, Terras Raras e titânio do Complexo Carbonatítico Catalão I, GO. Universidade de Brasília, Brasília, Tese de Doutorado, 508p.
- Rimann, E. 1917. A Kimberlita no Brasil. Anais Escola de Minas Ouro Preto, 15:27-32.
- Seer, H.J.; Moraes, L.C & Fogaça, A.C.C. 1989. Roteiro Geológico para a Região de Lagoa Formosa – Chumbo – Carmo do Paranaíba – MG. Belo Horizonte: SBG/MG. 58p.
- Sgarbi, G.N.C. 1989. Geologia da Formação Areado. Cretáceo Inferior a Médio da Bacia Sanfranciscana, Oeste do Estado de Minas Gerais. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 324p.
- Sgarbi, G.N.C.; Sgarbi, P.B.A & Brito, W. 1989. Conglomerados Cretáceos e suas relações com o vulcanismo alcalino no oeste mineiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO



GEOLOGIA, 40, Belo Horizonte, 1989, Anais, 97.

- Sgarbi, P.B.A. 1991. Petrografia e Geoquímica das Rochas do Grupo Mata da Corda na Região de Carmo do Paranaíba, MG. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 214 p.
- Sgarbi, P.B.A.; Gaspar, J.C & Valença, J.G. 2000. Brazilian kamafugites. *Rev. Bras. Geoc.*, 30(3):417-420.
- Sgarbi, G.N.C.; Sgarbi, P.B.A.; Campos, J.E.G.; Dardenne, M.A & Penha, U.C. 2001. Bacia Sanfranciscana: O Registro Fanerozóico da Bacia do São Francisco. In: Pinto, C. P & Martins Neto, M.A (ed.). Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais. SBG MG, Belo Horizonte, p. 93-138. exemplo: Lima (1999), Lima & Silva (1992 a, b), e para três autores
- Sgarbi, P.B.A.; Heaman, L.M & Gaspar, J.C. 2004. U-Pb perovskite ages for Brazilian kamafugitic rocks: further support for a temporal link to a mantle plume hotspot track. *Jour. South Amer. Earth Scienc.*, (16): 715-724.
- Svisero, D.P & Basei, M.A.S. 2005. Novas evidências de uma origem proximal para o diamante da região de Coromandel, Minas Gerais [Internet]. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia. Núcleo Minas Gerais.* (14): 166-168. Available from: <http://sbg-mg.org.br/novosite/wp-content/uploads/2018/08/Boletim-14-2.pdf>