CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS – UNIDADE ARAXÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS
MESTRADO PROFISSIONAL

MARIA EUGÊNIA FERREIRA CAMPOS

DEFORMAÇÃO ASSOCIADA À INTRUSÃO ALCALINO-CARBONATÍTICA DE TAPIRA, MINAS GERAIS

ARAXÁ – MINAS GERAIS
2022

Maria Eugênia Ferreira Campos

DEFORMAÇÃO ASSOCIADA À INTRUSÃO ALCALINO-CARBONATÍTICA DE TAPIRA, MINAS GERAIS

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas do CEFET-MG, na área de concentração de Engenharia de Minas, na Linhas de Pesquisa em Geologia de Engenharia na Mineração como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Hildor José Seer

ARAXÁ – MINAS GERAIS
2022

ATA DA 9ª DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS – MESTRADO PROFISSIONAL

Aos 27 (vinte e sete) dias do mês de outubro do ano de 2022 (dois mil e vinte dois), às 14h00min (quatorze horas), através da Plataforma Microsof TEAMS, foi instalada a Sessão Pública para a Defesa de Dissertação da Mestranda **Maria Eugênia Ferreira Campos**, *sob a forma totalmente remota (Resolução CPPG 08/2020, de 09/07/2020; Resolução CEPE 09/2020, de 17/11/2020)*, sendo a banca examinadora composta pelo Prof. Dr. Hildor José Seer (Presidente) – CEFET- MG, Profa. Dra. Maria Eugênia Silva de Souza (Membro externo) – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP e Prof. Dr. Carlos Humberto da Silva (Membro externo) – Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT. Dando início aos trabalhos o Presidente, com base no Regulamento do Programa e nas Normas que regem as Sessões de Defesa de Dissertação, concedeu a Mestranda ***Maria Eugênia Ferreira Campos***, até 40 (quarenta) minutos para a apresentação do seu trabalho intitulado "DEFORMAÇÃO ASSOCIADA À INTRUSÃO ALCALINO-CARBONATÍTICA DE TAPIRA, MINAS GERAIS", na Área de Concentração: *Engenharia de Minas* e Linha de Pesquisa *Geologia de Engenharia na Mineração*. Terminada a exposição, o Presidente da Banca examinadora passou a arguição da candidata aos membros da banca examinadora. Dando continuidade, ainda de acordo com as normas que regem a Sessão, o Presidente solicitou aos presentes que se retirassem do recinto para que a banca examinadora procedesse a análise e decisão, anunciando, a seguir publicamente, que a Mestranda foi **aprovada** (aprovada/reprovada/aprovada com recomendações), por unanimidade. Para constar, foi lavrada a presente ATA que, após aprovada, vai assinada pelos membros da Banca Examinadora e pela Mestranda.

Araxá, 27 de outubro de 2022.

Prof. Dr. Hildor José Seer
Presidente (CEFET-MG)

Profa. Dra. Maria Eugênia Silva de Souza
Membro externo (UFOP)

Prof. Dr. Carlos Humberto da Silva
Membro externo (UFMT)

Maria Eugênia Ferreira Campos
Discente

Emitido em 27/10/2022

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 5/2022 - DMCAX (11.57.04)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 29/10/2022 10:35)
HILDOR JOSE SEER
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DMCAX (11.57.04)
Matrícula: ###186#5

Visualize o documento original em https://sig.cefetmg.br/documentos/ informando seu número: **5**, ano: **2022**, tipo: **ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**, data de emissão: **29/10/2022** e o código de verificação: **2ae1bf21f1**

Campos, Maria Eugênia Ferreira
C198d Deformação associada à intrusão alcalino-carbonatítica de Tapira, Minas Gerais / Maria Eugênia Ferreira Campos. – 2022.
108 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Hildor José Seer.

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Araxá, 2022.
Bibliografia.

1. Geologia estrutural – Teses. 2. Estruturas rúpteis – Teses. 3. Estruturas dúcteis – Teses. 4. Domos estruturas – Teses. I. Seer, Hildor José. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Título.

CDU 551.244

Ficha elaborada pela Biblioteca – *Campus* Araxá – CEFET- MG
Bibliotecária: Gleisa Mara Alves CRB-6/1713

AGRADECIMENTOS

O sucesso é o resultado direto de um processo longo e árduo, de perseverança, aprendizado e muito amor pelo que fazes. Se cheguei até aqui, é porque estive apoiado em “ombros de gigantes” que merecem ser lembrados.

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida e saúde, que me permitiu seguir com os meus sonhos mesmo em meio a pandemia do Covid-19.

Agradeço ao CEFET-Araxá por me proporcionar a continuidade dos estudos na unidade através do PPGEMIN – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas e pela concessão de bolsa de estudos e infraestrutura de apoio para os trabalhos de campo.

Ao professor Hildor, que com a sabedoria de um mestre ofereceu apoio, paciência, dedicação, companheirismo e orientação acadêmica em todo o processo de aprendizado e desenvolvimento do trabalho. Ao Carlos Humberto e Tiago Antônio pelos comentários de revisão detalhada e participação da banca de qualificação, que me ajudaram a melhorar o trabalho. Ao Dion da Mosaic Tapira, que nos proporcionou acesso à pontos restritos da empresa.

À minha família, em especial ao Rafael e meus pais Valdice e José Luiz, que ofereceram constante e inestimável incentivo desde o início, bem como apoio necessário para abraçar as oportunidades e chegar à conclusão desse trabalho. Às minhas irmãs e minha filha princesa Madu, um perdão pela minha ausência e obrigada por existirem.

A todos os demais amigos que contribuíra direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho e torceram para o meu sucesso, deixo aqui os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O Complexo Alcalino-Carbonatítico de Tapira, localizado no sudeste do Brasil, é uma intrusão ígnea do Cretáceo Superior em quartzitos e xistos do Neoproterozoico, com aproximadamente 6,5 km de diâmetro e 35 km² de área. A foliação regional metamórfica de baixo ângulo torna-se mais íngreme próximo à intrusão, e até mesmo subvertical, configurando uma estrutura de cúpula NNE alongada. A entrada de magma do manto superior pode ter sido facilitada pela reativação de alinhamentos regionais NW ativos desde o Pré-Cambriano. A acomodação final do magma ocorreu por dobramento forçado, possivelmente ao longo de fraturas Riedel tipo X na direção NNE, em um contexto de deformação regional por cisalhamento simples destral, induzida pelo movimento da Placa Sul-Americana ativa para oeste. Em seu entorno, foram observadas fraturas radiais e anelares cuja origem pode estar ligada ao processo intrusivo. Em alguns afloramentos, principalmente quartzitos fenitizados próximos ao complexo, observam-se padrões geométricos de fraturas bastante caóticos, gerados a partir de intensos fraturamentos hidráulicos. As principais famílias de fraturas apresentam padrão NNW e EW, sendo o padrão EW semelhante ao padrão regional obtido através dos fotolineamentos, podendo corresponder a reativações de fraturas mais antigas. As fraturas presentes no interior do complexo foram formadas após a intrusão ígnea e refletem as condições gerais do binário EW de cisalhamento destral que atua na região desde o Cretáceo Superior. Os diques foram localizados preferencialmente também ao longo das fraturas R' e X, obedecendo ao modelo regional de deformação por cisalhamento destral.

Palavras-chave: *Complexo Alcalino-Carbonatítico de Tapira, geologia estrutural, estruturas rúpteis e dúcteis, domo estrutural.*

ABSTRACT

The Tapira Alkaline-Carbonatitic Complex located in southeast Brazil is an Upper Cretaceous igneous intrusion in Precambrian Neoproterozoic quartzites and schists, approximately 6.5 km in diameter and 35 km² in área. Low-angle metamorphic regional foliation becomes steeper near the intrusion, and even subvertical, configuring an elongated NNE dome structure. The input of magma from the upper mantle may have been facilitated by the reactivation of NW regional alignments active since the Precambrian. But the final accommodation of the magma took place by forced folding, possibly along Riedel type X fractures in the NNE direction, in a context of regional deformation by dextral simple shear, induced by the movement of the active South American Plate to the west. In its surroundings, radial and annular fractures were observed whose origin may be linked to the intrusive process. In some outcrops, especially phenitized quartzites near the complex, very chaotic geometric patterns of fractures are observed, generated from intense hydraulic fracturing. The main fracture families have an NNW and W-E pattern, the W-E pattern being similar to the regional pattern obtained through the photo lineaments, which may correspond to reactivations of older fractures. The fractures present inside the complex were formed after the igneous intrusion and reflect the general conditions of the dextral shear E-W binary that has acted in the region since the Upper Cretaceous. The dykes were located preferentially along R' and X fractures as well, conforming to the regional model of dextral shear deformation.

Keywords: *Tapira Alkaline-Carbonatitic Complex, structural geology, brittle and ductile structures, structural dome.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização do complexo de Tapira 10
Figura 2 - Gráfico de deformação (б) x esforço (e), mostrando as formas elástica, plástica e de ruptura de um material 13
Figura 3 - Principais tipos de fraturas 15
Figura 4 - Elementos geométricos das falhas 16
Figura 5 - Blocos diagrama ilustrando os principais tipos de falhas, de acordo com a classificação cinemática e o posicionamento dos tensores principais s (σ1, σ2, σ3). a) Falha normal. b) Falha reversa. c) Falha transcorrente. 17
Figura 6 - Elementos geométricos de uma dobra 18
Figura 7 - Tipos de dobras 19
Figura 8 - Tectônica sinistral ao longo do lineamento Az 125°. (a) porção norte do sistema L3 e (b) porção central nos sistemas L2 e L3. 23
Figura 9 - Compartimentos neotectônicos no sudeste do Brasil. As setas em vermelho indicam regime transcorrente regional E-W destral com σ1 em SE-NW. 24
Figura 10 - Resumo das principais características de algumas das principais intrusões ígneas de estrutura circular e semicircular de origem endógena brasileira. 27
Figura 11 - Ocorrências carbonatíticas mundiais 28
Figura 12 - Localização das províncias alcalinas das margens da bacia do Paraná 30
Figura 13 - Mapa geológico da Província Ígnea do Alto Paranaíba com a localização dos complexos plutônicos alcalino–carbonatíticos e derrames kamafugíticos. 31
Figura 14 – Croqui do esboço geológico do substrato (rocha fresca) do complexo de Tapira, com base em informações de testemunhos de sondagem sobre imagem de satélite. B1 e B2 representam unidades de cumulados bebedouríticos. C1 a C5 são sucessivas intrusões carbonatíticas. A área em azul na porção noroeste é uma intrusão sienítica. A linha amarela delimita o contato com as rochas encaixantes. 33
Figura 15- Quadro esquemático resumindo a história de evolução do CAT 36
Figura 16 - Seção vertical ilustrativa de um complexo vulcânico carbonatítico-ijolítico-nefelinítico idealizado (Le Bas, 1977) e o nível estimado onde se encontram os complexos alcalinos carbonatíticos brasileiros, em especial o complexo de Tapira (Santos & Clayton, 1995) 37
Figura 17:Mapa geológico simplificado da região de Tapira, Minas Gerais com a organização estrutural da área estudada. DN: domínio norte; DW: domínio oeste; DE: domínio leste; DS: domínio sul 38
Figura 18 - Classificação metodológica da pesquisa 39
Figura 19 - Tela do aplicativo *Fieldmove Clino,* utilizado para a coleta de dados em campo 41
Figura 20: Pontos mapeados durante os trabalhos de campo. 42
Figura 21 - (a) Imagem do relevo sombreado (b) mapa geológico da área (c) imagem de satélite, com delimitação da área utilizada na determinação dos lineamentos, limite da intrusão e entorno das rochas encaixantes diretamente influenciadas pela intrusão. 44
Figura 22 - Estereograma da foliação S4 para a região do entorno de Tapira-MG. O traço ciclográfico traz a atitude dos máximos estatísticos. 45
Figura 23 - Estereograma das foliações medidas em campo. 46
Figura 24 - Mapa resultado das foliações medidas em campo sobre o mapa geológico (Seer et. al, 2015) 47
Figura 25: Fotolineamentos (c) identificados a partir de dados SRTM (a) e de Imagem de satélite Landsat 8 (Google Earth) (b). 48
Figura 26: (a) Diagrama de roseta de todos os lineamentos identificados. (b) diagrama de roseta dos lineamentos com persistência maior que 1km. 49

Figura 27: Localização do setor bigorna da mina de fosfato da empresa Mosaic em Tapira. 50
Figura 28 - (a) Diagrama de rosetas geral e (b) estereograma destacando as principais famílias de fraturamento da área mapeada na Bigorna, no CAT..... 50
Figura 29 - Mapa com as fraturas medidas..... 51
Figura 30 - (a) Diagramas de rosetas e (b)estereogramas das fraturas divididos em setores. 53
Figura 31 - (a) Estereograma e (b) diagrama de roseta das fraturas totais. 54
Figura 32 - Mapa destacando os locais de ocorrência de diques no entorno do CAT. 55
Figura 33 - Estereograma e diagrama de roseta de fraturas da encaixante no ponto ME15.56
Figura 34 - Estereograma e diagrama de roseta dos diques mapeados no ponto ME15. 56
Figura 35 - Estereograma e diagrama de roseta das fraturas internas do dique de sienito. . 57
Figura 36 - (a) Dique de kamafugito e à esquerda fratura mais recente com persistência maior que 10m. (b) dique de sienito observado no ponto ME15. 57
Figura 37 - Locais onde ocorre fenitização das rochas encaixantes 58
Figura 38 - (a) Detalhe da ocorrência de feldspato formado por fenitização no ponto ME13 e (b) Muscovita xisto com vênulas de feldspato da fenitização no ponto ME18. 59
Figura 39 - Afloramento do ponto ME47 com ocorrência de quartzito muito fraturado. 60
Figura 40 - Quartzito bastante fraturado com sinais de fenitização observado no ponto ME49. 61
Figura 41 - Modelo simplificado da evolução de um domo..... 61
Figura 41 - (a) Interpretação das estruturas de deformação conforme o modelo de desenvolvimento de fraturas de Riedel (Petit, 1987), com o posicionamento dos tensores de tensão principais (σ1 e σ3). (b)Sistemas de fratura a partir do estereograma dos lineamentos identificados na região do CAT. 63

SUMÁRIO

RESUMO ..... **iii**
ABSTRACT ..... **iv**
LISTA DE ILUSTRAÇÕES ..... **v**
1 - INTRODUÇÃO **9**
1.1 - Considerações iniciais 9
1.2 - Localização e vias de acesso 10
1.3 - Objetivos 10
1.3.1 - Objetivo geral 11
1.3.2 - Objetivos específicos 11
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **11**
2.1 - Aspectos gerais da deformação 12
2.1.1 - Deformação rúptil 13
2.1.2 - Estruturas rúpteis – fraturas: juntas e falhas 14
2.1.3 - Deformação dúctil 18
2.2 - Análise estrutural 19
2.2.1 - **Lineamentos** 21
2.2.2 - **Contexto regional dos lineamentos estruturais** 22
2.3 - Formação de domos a partir de intrusão de rochas ígneas 24
2.4 - Complexo Alcalino-Carbonatítico 28
2.4.1 - Contexto geológico – Províncias Alcalinas da Bacia do Paraná 29
2.4.2 - Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP) 30
2.5 - Complexo Alcalino-Carbonatítico de Tapira 32
2.5.1 - Petrografia 33
2.5.2 - Evolução geológica 35
2.5.3 - Relação entre a geração do domo e a geocronologia das intrusões 36
2.6 - Contexto Estrutural da Área 37
2.6.1 - Organização estrutural 37
3 - METODOLOGIA **39**
3.1 – Revisão bibliográfica 39
3.1.1- Análise de fotolineamentos 40
3.2 - Trabalhos de campo 41
3.3 - Sistematização, tratamento e análise de dados 42
3.4 - Comparação dos dados levantados com dados da bibliografia 43
4 - RESULTADOS **43**

4.1 - Deformação dúctil – estrutura dômica 44
4.1.1 Fases de deformação e a foliação regional das encaixantes 45
4.1.2 Foliação das encaixantes nas proximidades do CAT 45
4.2 Deformação Rúptil 47
4.2.1 Lineamentos estruturais 48
4.2.2 Fraturamento 49
4.2.3 Fraturamento no interior do CAT 49
4.2.4 Fraturamento no entorno do CAT 51
4.2.5 Alojamento de diques e fenitização 54
4.2.6 Análise da deformação e correlações de dados 61
4.2.7 Análise dos lineamentos estruturais 62
4.2.8 Estruturas rúpteis e seu contexto geodinâmico 63
REFERÊNCIAS 66

APÊNDICE A - MAPEAMENTO DE CAMPO 01
APÊNDICE B - MAPEAMENTO DE CAMPO 02
APÊNDICE C - MAPA GEOLÓGICO FOLHA ARAXÁ – SE.23-Y-C-VI (CODEMIG-2015)

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Considerações iniciais

O Complexo Alcalino-Carbonatítico de Tapira é uma intrusão dômica, com forma elíptica em superfície, de aproximadamente 6,5km de diâmetro e 35km² de área, decorrente da amalgamação de duas intrusões de magma ultrabásico, cinco de carbonatito e uma de sienito, ocorrendo encaixado em quartzitos e xistos pré-cambrianos do Grupo Canastra (Eberhardt, 2014).

Situado a 35km à sudeste de Araxá, o complexo de Tapira tem grande relevância econômica, pois aloja a maior mineração de rocha fosfática do Brasil, possuindo também jazidas residuais sem atual aproveitamento econômico de nióbio, titânio e terras raras, que estão localizadas no manto do intemperismo (Seer & Moraes, 2018). O complexo é resultado de um evento magmático regional que deu origem a um conjunto de estruturas intrusivas, aproximadamente circulares em superfície, alinhadas por mais de 1000km na direção NW-SE com derrames e rochas piroclásticas de filiação kamafugítica, conhecido como Província Ígnea do Alto Paranaíba (Santos *et al*., 2002; Brod *et al*., 2004).

As feições estruturais reconhecidas no entorno do complexo evidenciam que a atitude espacial da foliação principal das rochas encaixantes, de origem Neoproterozoica, foi modificada pelo processo de intrusão, onde observa-se mergulhos de baixo ângulo até mergulhos íngremes, com padrão anelar em torno do CAT (Silva, 2003; Pires, 2005).

O mapeamento estrutural de detalhe permite conhecer os efeitos deformacionais provocados pelo processo de ascensão ígnea da intrusão dômica e a compreensão do quadro estrutural das litologias da região pode ser subsídio para trabalhos futuros de estudos do comportamento hidrogeológico dos aquíferos fissurados da região, bem como para o planejamento de lavra, construções de barragens e outras estruturas apoiadas sobre o maciço rochoso, em especial às construídas pela empresa mineradora de fertilizantes, atual Mosaic Fertilizantes S.A.

1.2 - Localização e vias de acesso

A área de estudo está localizada no sudoeste do Estado de Minas Gerais, tendo a cidade de Tapira como referência. Partindo de Araxá-MG, o acesso rodoviário é feito pela BR-146 sentido Tapira-MG por 48km, atingindo a porção central da área. Com relação à capital do estado, o complexo situa-se à 404km.

Figura 1 - Mapa de localização do complexo de Tapira

Fonte: Adaptado de Eberhard (2014)

1.3 - Objetivos

A partir de poucas feições estruturais conhecidas na área em estudo, é possível perceber que a atitude espacial da foliação principal da rocha encaixante do complexo foi modificada pelo processo de intrusão, onde se observa uma variação de mergulhos de baixo ângulo, até mergulhos íngremes, que seguem um padrão anelar em torno do CAT.

Os trabalhos publicados sobre a história da deformação e os efeitos gerados nas rochas encaixantes do complexo de Tapira são escassos, e a compreensão do quadro estrutural da região é de grande relevância pois traz embasamento a outros estudos e trabalhos de aplicação prática como avaliações de comportamento hidrogeológico de aquíferos fissurados da região, planejamentos de lavra e de construções apoiadas no maciço rochoso.

1.3.1 - Objetivo geral

A pesquisa desenvolvida para a presente dissertação tem como objetivo principal compreender, através de análise estrutural e sensoriamento remoto, o quadro estrutural das rochas encaixantes no entorno Complexo Alcalino-Carbonatítico de Tapira.

1.3.2 - Objetivos específicos

- Identificar os efeitos deformacionais nas rochas encaixantes associadas ao processo de intrusão do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Tapira-MG, visando o entendimento da condição estrutural da borda do complexo.

- Reconhecer padrões de fraturamento presentes no entorno do complexo, identificando quais são as feições decorrentes do evento magmático intrusivo.

- Comparar o comportamento das fraturas que ocorrem dentro do Complexo de Tapira com o das rochas encaixantes no seu entorno.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como base para a discussão das deformações associadas ao CAT, torna-se essencial o detalhamento da sua formação geológica. Sendo assim, o objetivo desta primeira seção é realizar uma breve revisão sobre deformação rúptil e caracterizar geologicamente a região estudada, trazendo também um panorama geral sobre intrusões carbonatíticas.

2.1 - Aspectos gerais da deformação

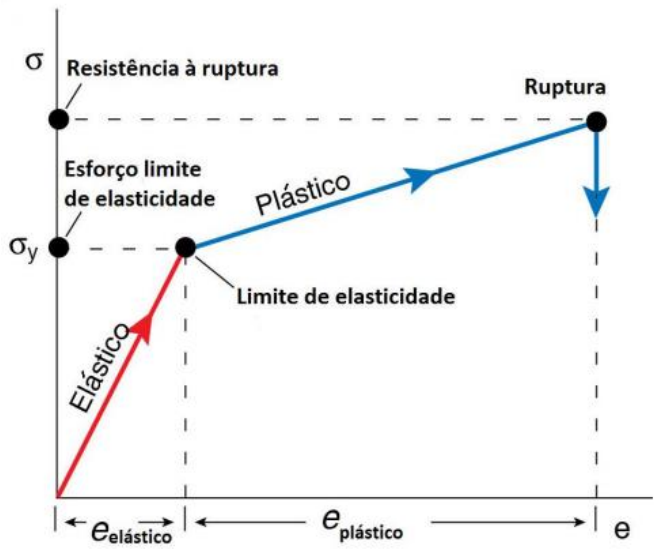
As rochas da litosfera estão e estiveram submetidas a tensões de diferentes naturezas e intensidades e são modificadas mecanicamente, obtendo um novo estado de equilíbrio, seja ele atingindo novas formas e proporções, ou deslocamento no espaço desde a escala crustal até a de partículas. O novo estado das rochas tem como resultado a presença de estruturas tectônicas, que são os principais elementos de investigação da história da Terra (Pinheiro, 2015). A familiarização e reconhecimento das diferentes geometrias resultantes dos processos deformacionais é a melhor maneira de entendê-las preliminarmente.

Os materiais que sofrem esforços em sua superfície, conforme as forças que atuam neles e de acordo com suas propriedades físicas, podem apresentar basicamente três comportamentos: elasticidade, plasticidade e ruptura (figura 2). A deformação elástica permite a volta a sua forma original quando o esforço é removido e seu nível máximo é quando alcança o limite de elasticidade. Se os esforços continuam, a deformação continua se acumulando, ultrapassando o limite de elasticidade e por isso ela passa a ser considerada plástica. A deformação plástica é uma mudança permanente na forma ou no tamanho do corpo e neste não ocorre fraturamento. Se o esforço continua atuando no material, a deformação plástica ocorre até a resistência à ruptura e, quando excede este ponto, o material sofre fraturamento (Durlo, 2016).

Na geologia, pode-se dizer que uma rocha sofreu deformação dúctil quando acumula deformação, muda permanentemente sua forma e sofre fluxo cristalino. Já a deformação rúptil sucede quando as rochas se fraturam na crosta superior, onde os esforços se acumulam em níveis que ultrapassam a resistência à ruptura, resultando em um rompimento das estruturas cristalinas. A resistência depende das forças atuantes, das propriedades das rochas e da temperatura, anisotropia, taxa de deformação, fluidos e profundidade de soterramento (pressão) (Fossen, 2012).

Na litosfera podem-se diferenciar dois domínios em profundidade, onde as rochas mostram comportamentos mecânicos distintos. O domínio rúptil corresponde aos níveis crustais, da ordem de 10 a 15km até a superfície, ou seja, os níveis considerados relativamente rasos. Em profundidades acima dessa ordem, tem-se o domínio dúctil. A zona de transição, denominada domínio rúptil-dúctil e dúctil-rúptil, acontece onde a litosfera alcança temperaturas entre 250º a 350º C, podendo ser variável em diferentes ambientes geológicos devido aos diferentes graus geotérmicos no domínio das placas tectônicas (Pinheiro, 2015).

Figura 2 - Gráfico de deformação (σ) x esforço (e), mostrando as formas elástica, plástica e de ruptura de um material



Fonte: Fossen (2012)

As estruturas deformacionais ocorrem nas rochas de acordo com as condições como temperatura, pressão, elasticidade, plasticidade, resistência à ruptura e outros as quais são submetidas. Realizar a análise estrutural permite compreender os eventos tectônicos e quais os processos de deformação ocorreram nas rochas ao longo do tempo (Durlo, 2016).

A partir de ensaios de laboratório, é possível estudar e reproduzir a formação de estruturas rúpteis. É a partir de um conjunto de dados ensaiados com interpretações de campo e de lâminas petrográficas que se tem uma base do conhecimento atual sobre a deformação rúptil.

2.1.1 - Deformação rúptil

Entende-se como rúptil uma característica reológica de qualquer material, seja ele mineral ou industrial, que ao ultrapassar o limite de rigidez, deforma-se de forma definitiva, fragmentando-se por fraturamentos ao sofrer uma lesão (Winge *et al.,* 2001). O regime rúptil é conhecido como aquele em que as condições físicas favorecem mecanismos de deformação rúptil, como deslizamento friccional ao longo de contatos de grãos e rotação e fratura de grãos (Zerfass & Chemale Jr., 2011).

Em situações de baixa temperatura e tensão hidrostática as rochas se deformam gerando descontinuidades, as quais correspondem em quebras de coesão, como as falhas e as juntas, comumente mencionado como deformação rúptil (Zerfass & Chemale Jr, 2011).

As estruturas rúpteis podem desenvolver-se de forma amena, por exumação e resfriamento das rochas, ou de modo abrupto, no decorrer da movimentação das placas tectônicas. Em ambos os casos, a deformação rúptil provocada pela perda de coesão, implica uma separação instantânea das estruturas cristalinas em escala atômica, tendendo a ser uma deformação rápida e mais localizada do que a deformação plástica (Fossen, 2012).

Em quase toda a superfície sólida da Terra é possível observar estruturas rúpteis, sendo a deformação rúptil uma marca registrada da deformação na crosta superior.

2.1.2 - Estruturas rúpteis – fraturas: juntas e falhas

Um processo de fraturamento que originou diversas estruturas rúpteis está diretamente ligado às propriedades mecânicas da rocha e das que atuam no determinado plano investigado.

De modo geral, as fraturas (falhas e juntas) são consideradas estruturas muito comuns nas regiões rasas da crosta e bastante heterogêneas em tipos e situações de formação. Sua diversidade de tipos deve-se ao fato de que, sob uma deformação elástica, diferentes rochas podem ser submetidas a distintos estados de tensão, resultando em diferentes tipos de fraturas (Pinheiro, 2015).

As estruturas de deformação rúptil muitas vezes podem ser identificadas por lineamentos através de imagens aéreas ou de satélite. Os lineamentos estruturais representam uma feição linear, geralmente retilínea, que podem ser identificados em campo, como a ocorrência de uma falha, cristas alinhadas, drenagens retilíneas devido a presença de falhas.

Fraturas são zonas delgadas, consideradas como superfícies, e estão relacionadas a descontinuidades permanentes nas propriedades mecânicas (resistência/ rigidez e deslocamento) formadas em resposta aos estresses internos e externos atuantes.

A fratura ocorre quando os esforços diferenciais superam a coesão, ultrapassando os limites de resistência mecânica, o que implica na perda de coesão interna da rocha (Fossen, 2012).

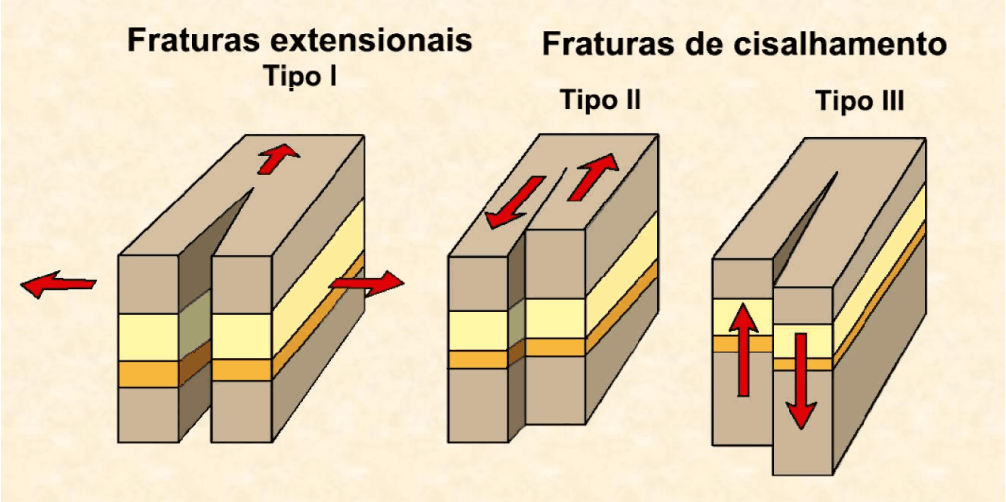
São consideradas como “juntas” as fraturas simples em que o deslocamento relativo entre os blocos separados pelas descontinuidades não reflete afastamento notável na escala de observação (Zerfass & Chemale Jr, 2011).

As falhas de um corpo rochoso são descontinuidades dispostas em uma superfície onde ocorre deslocamento ao romper a rocha, podendo ser denominadas fraturas de cisalhamento (Fig. 3). Fraturas extensionais podem apresentar separação entre os planos, mas esta separação não é suficiente para denomina-las falhas.

Nas fraturas de cisalhamento ocorre um deslocamento entre as paredes, podendo variar de microscópico à quilométrico e se caracterizam por serem superfícies deslizantes em que o movimento é paralelo à fratura. Em geral, quanto maior a pressão de confinamento de uma rocha, maior será o stress diferencial que a rocha sustenta antes de cisalhar. Dessa forma, em níveis mais baixos de pressão de confinamento, elas são mais suscetíveis ao fraturamento (Fossen, 2012).

As fraturas extensionais são geradas pelo movimento perpendicular às superfícies, nas quais a deformação atua no sentido de afastamento das paredes. São denominadas de juntas ou diáclases quando não há deslocamento apreciável dos blocos paralelamente ao plano de fratura. Fissuras são as fraturas ao longo das quais há um movimento dos blocos que gera uma abertura perceptível, podendo ser preenchidos por materiais (Fossen, 2012).

Figura 3 - Principais tipos de fraturas



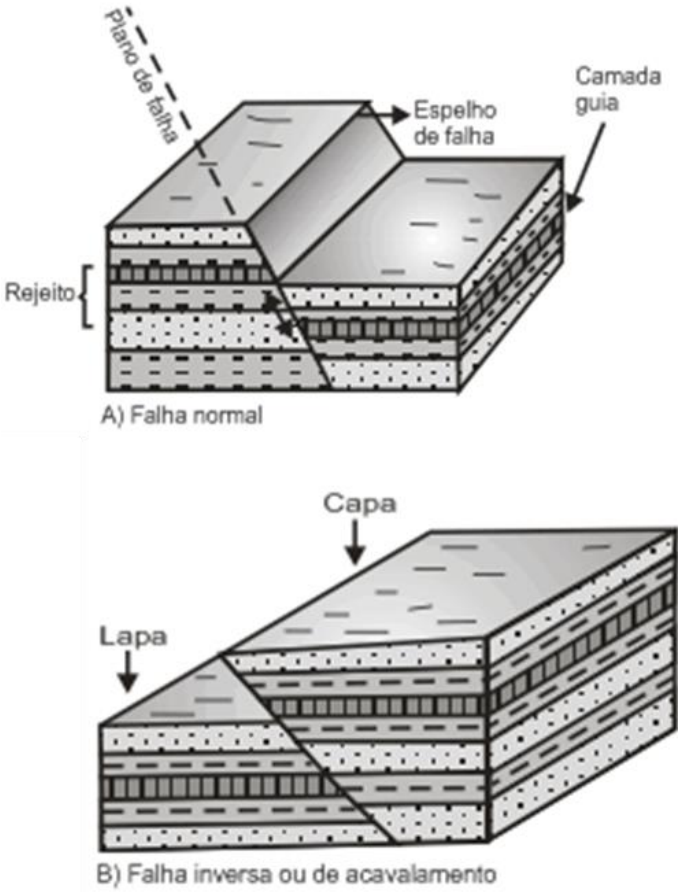
Fonte: Fossen (2012)

Falhas são consideradas estruturas planares onde pode-se observar deslocamento relativo entre os blocos, paralelo às suas paredes e induzida por mecanismos de deformação rúptil, sendo expressivo ao observador, independente da escala de investigação (Zerfass & Chemale Jr, 2011). Na geologia, as falhas têm papel importante devido a sua capacidade de interromper a continuidade lateral entre terrenos geológicos e de deslocar grandes volumes de rochas, tanto verticalmente quanto lateralmente. Um bom exemplo pode ser verificado nas placas tectônicas, que são marcadas por diferentes tipos de falhas (Pinheiro, 2015).

O movimento se dá pelo cisalhamento paralelo ao plano de ruptura. Há um ponto onde o cisalhamento é mais intenso, com alta deformação, e diversos pontos de cisalhamento em menor grau, que estão relacionados com a falha. Também ocorrem várias fraturas que estão conectadas a essa estrutura (Fossen, 2012).

A geometria de uma falha é descrita pelo seu plano de ruptura, capa e lapa (blocos acima e abaixo do plano da falha) e pelo deslocamento relativo entre um bloco e outro durante o processo de fraturamento (Fossen, 2012). A figura 4 abaixo traz um esquema básico dos elementos geométricos de uma falha.

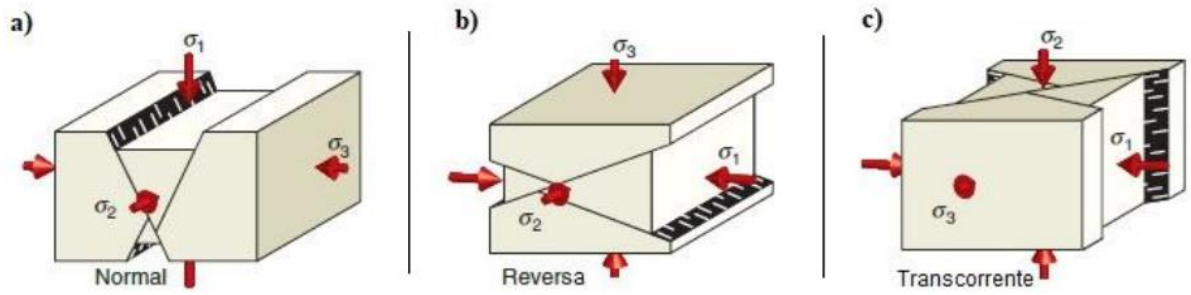
Figura 4 - Elementos geométricos das falhas



Fonte: Fossen (2012)

Em função do sentido de deslocamento, as falhas podem ser classificadas como normais, inversas e transcorrentes (Fig.5). As falhas normais ocorrem quando o bloco superior (capa) é rebaixado em relação ao inferior (lapa). Nessa configuração, a tensão principal máxima (σ1) está contido no plano vertical e as tensões principais intermediária (σ2) e mínima (σ3) estão contidas no plano horizontal. Quando o bloco superior é cavalgado sobre o inferior, ocorre uma falha inversa, onde as tensões principais máxima (σ1) e intermediária (σ2) estão contidas no plano horizontal e a tensão principal mínima (σ3) no plano vertical. As falhas transcorrentes são caracterizadas pelo movimento lateral dos blocos, onde a cinemátia é indicada pelo sentido de movimentação relativa entre os blocos para a direita (dextral) ou para a esquerda (sinistral). Nesse caso, as tensões principais máxima (σ1) e mínima (σ3) estão contidos no plano horizontal e a tensão principal intermediária (σ2) no plano vertical (Fossen, 2012).

Figura 5 - Blocos diagrama ilustrando os principais tipos de falhas, de acordo com a classificação cinemática e o posicionamento dos tensores principais s (σ1, σ2, σ3). a) Falha normal. b) Falha reversa. c) Falha transcorrente.



Fonte: Fossen (2012)

Em campo, a classificação dos tipos de falhas ocorre com a indicação do movimento relativo entre os blocos, que pode ser identificada a partir feições como estrias (lineações), rejeitos de falhas e do uso de indicadores cinemáticos, tais como: deslocamento de marcadores estratigráficos, dobras de arrastos, e outros (Roldan, 2007). Quando se observa uma série de falhas ou superfície de deslizamento subparalelas muito próximas, denomina-se de zona de falha. A largura da zona de falha depende da escala de observação em campo, podendo variar de centímetros à metros ou até quilômetros (Fossen, 2012).

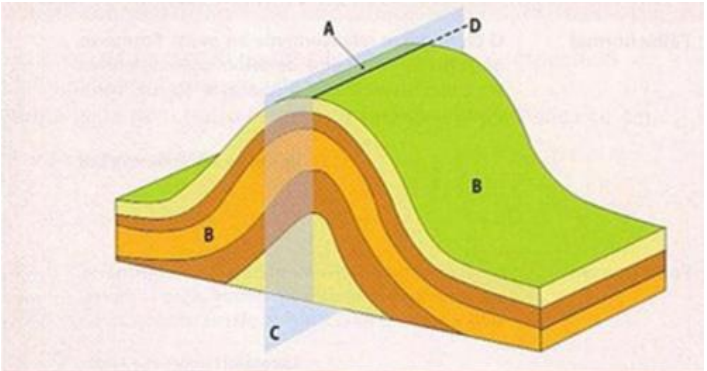
2.1.3 - Deformação dúctil

As principais feições de deformações dúcteis mais comuns na crosta terrestre são os dobramentos, que se formam por deformação sem rompimento. Os dobramentos são deformações que ocorrem nas rochas resultando no arqueamento de camadas rochosas, com comportamento dúctil, pela ação de tensões compressivas. Feições estiradas e boudins (lentes de material que sofrem estiramento e estrangulamento) também são exemplos de feições de deformação dúctil (Wicander e Monroe, 2009).

Em geologia estrutural, uma dobra é uma pilha de camadas originalmente planas, como estratos sedimentares, foliação de rocha ou bandamento, que são dobrados ou curvados durante a deformação permanente. Eles ocorrem como dobras isoladas simples ou em conjuntos periódicos (Fossen, 2012).

Os elementos geométricos que caracterizam uma dobra são: charneira (zona de maior curvatura), linha da charneira (uni os pontos de curvatura da zona dobrada), linha de inflexão (uni os pontos de inflexão das dobras), superfície axial (é uma superfície, curva ou plana, que contém a linha de charneira), flancos (são os dois lados de uma dobra, separados pela superfície ou plano axial) e perfil (plano perpendicular à linha de charneira ou eixo da dobra, onde deve ser observada a morfologia e o estilo das dobras) (Wicander e Monroe, 2009).

Figura 6 - Elementos geométricos de uma dobra

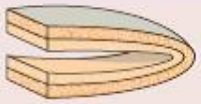
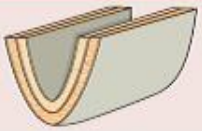


A – Charneira	Linha que une os pontos de máxima curvatura de uma dobra.
B – Flancos	São as partes da dobra de um e do outro lado da charneira.
C – Superfície ou plano axial	Plano de simetria da dobra que a divide em duas partes (flancos) aproximadamente iguais.
D – Eixo de dobra	É a linha de separação dos flancos da dobra, que resulta da intersecção longitudinal do plano axial com a crista da dobra.

Fonte: Wicander e Monroe (2009)

As dobras são classificadas segundo sua disposição espacial, podendo ser denominadas dobras neutras quando a abertura se orienta lateralmente, dobras antiformas (concavidade voltada para baixo), dobras sinformas (concavidade para cima) e segundo a idade das rochas que a constituem, sendo conhecidas como anticlinais quando as rochas mais antigas de encontram no núcleo da antiforma, ou por dobras sinclinais, quando as rochas mais recentes se localizam no núcleo da sinforma (Monroe e Wicander, 2009).

Figura 7 - Tipos de dobras

CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO	NOME	CARACTERIZAÇÃO
Disposição espacial da dobra	Dobra neutra	Dobra cuja abertura se orienta lateralmente. 
	Antiforma	Dobra cuja abertura está dirigida para baixo.
	Sinforma	Dobra cuja abertura está voltada para cima. 
Disposição, na dobra, da sequência estratigráfica	Anticlinal	No núcleo da antiforma, encontram-se as rochas mais antigas.
	Sinclinal	No núcleo da sinforma, encontram-se as rochas mais recentes.

Fonte: Monroe e Wicander (2009)

2.2 - Análise estrutural

Os principais métodos para compreender e definir os fenômenos que deram origem à deformação de uma rocha são a observação em campo, experimentos de laboratório e modelagens numéricas (Borges, 2018).

O trabalho de observação de campo envolve o uso de ferramentas como trena, mapas topográficos, lupas, bússola, GPS, imagens de satélite e aerofotografias e tem como objetivo a descrição de estruturas a partir de observações pontuais, nas quais são coletados dados como o tipo de estrutura (falha, fratura, dique e outros), comprimento, orientação, mergulho e distância entre estruturas (Durlo, 2016).

Os dados de campo podem ser adquiridos pelas medidas estruturais planares e/ou lineares e podem ser tratados e interpretados quando são projetados em estereogramas, analisados em diagramas de roseta, em perfis, mapas, bem como estudados por sensoriamento remoto.

A análise geométrica é o tipo de análise das estruturas que define a forma, orientação geográfica, tamanho e relações geométricas entre a estrutura principal e as estruturas de menor escala associadas (Fossen, 2012). Vários métodos são utilizados para a medição e descrição das estruturas e associações estruturais. A fim de definir essas estruturas usa-se algumas ferramentas como a atitude da camada, direção (*strike*), mergulho (*dip*) e direção do mergulho (*dip direction*) (Durlo, 2016).

A análise cinemática diz respeito ao modo como as partículas das rochas se movem durante a deformação. As estrias em superfícies de falhas e a flexão do acamamento ao longo de falhas e zonas de cisalhamento são estruturas úteis na análise cinemática (Fossen, 2012).

Tratando a interação entre o esforço e a cinemática temos a análise dinâmica, que estuda as forças que causam o movimento de partículas. As análises geométrica e dinâmica são utilizadas para o estudo da análise tectônica (Fossen, 2012).

Para medir e descrever uma estrutura a geologia faz uso de leituras de atitude da camada, direção, mergulho e direção do mergulho. O Serviço Geológico do Brasil CPRM, a partir do Glossário Geológico Dinâmico Ilustrado, define como atitude a disposição espacial de um plano com relação ao plano horizontal e à linha meridiana N-S verdadeira. A direção é resultado do ângulo entre a linha N-S e a linha de interseção do plano geológico com o plano horizontal sempre referida ao N verdadeiro e o mergulho é definido pelo ângulo diedro entre o plano geológico (Winge, M. et al. 2001).

Os dados coletados em campo devem ser estruturados em uma base sistemática e organizada, para posterior análise. Segundo Fossen (2012), os dados podem ser homogêneos ou heterogêneos, podendo ser divididos conforme sua distribuição espacial.

A elaboração de diagramas permite representar atitudes de dados, sendo eles planares ou lineares, facilitando na interpretação de deformações. Para as estruturas rúpteis aconselha-se os diagramas de rosetas, que permitem determinar a direção do esforço principal. Para as estruturas dúcteis, é recomendado o uso de diagramas estereográficos, onde é possível representar a direção e o sentido do caimento de estruturas planares e lineares. Mesmo assim, é interessante a elaboração de estereogramas para os sistemas de fraturas, uma vez que estas podem adquirir diferentes mergulhos. Os diagramas de rosetas permitem a comparação entre os lineamentos extraídos de imagens e as direções de fraturas medidas em afloramentos.

2.2.1 - Lineamentos

O'Leary et al. (1976) definiram "lineamentos" como feições lineares mapeáveis, sejam elas retilíneas ou levemente encurvadas, que provavelmente refletem estruturas geológicas de subsuperfície. Os lineamentos podem refletir zonas de fraqueza com expressão superficial como aqueles atingidos pela percolação de água ao longo de suas extensões, que são ressaltadas pelo crescimento de vegetação ao longo do traçado, ou pelo desenvolvimento preferencial de redes de drenagem.

Santos (1986) desenvolveu um método para identificar lineamentos através de produtos fotográficos de pequena escala, que vem sendo facilitada pela continua disponibilização de novas tecnologias de sensoriamento remoto. A técnica consiste de contagem ponderada das fraturas foto-interpretadas, gerando mapas de frequências de fraturas que definem as principais descontinuidades. Nos estudos dos eventos de tectônica rúptil e rúptil-dúctil em nível regional, esse método é uma importante ferramenta para entendimento do quadro evolutivo de uma área, pois permite a interpretação sobre a distribuição, dinâmica e influência dos sistemas de fraturas no arcabouço tectônico (Santos,1986).

Os mapas de relevo sombreados são uma boa opção para identificar lineamentos, uma vez que apresentam ausência de feições superficiais como estradas e cobertura de vegetação e por permitir diferentes posições de iluminação, favorecendo observar o contraste de lineamentos orientados em todas as direções. Para a coleta de informações morfoestruturais, leva-se em consideração que a quantidade de sombreamento de uma feição topográfica está relacionada com a elevação solar. Quando a elevação está com baixo ângulo produz um maior sombreamento, destacando possíveis lineamentos.

2.2.2 - Contexto regional dos lineamentos estruturais

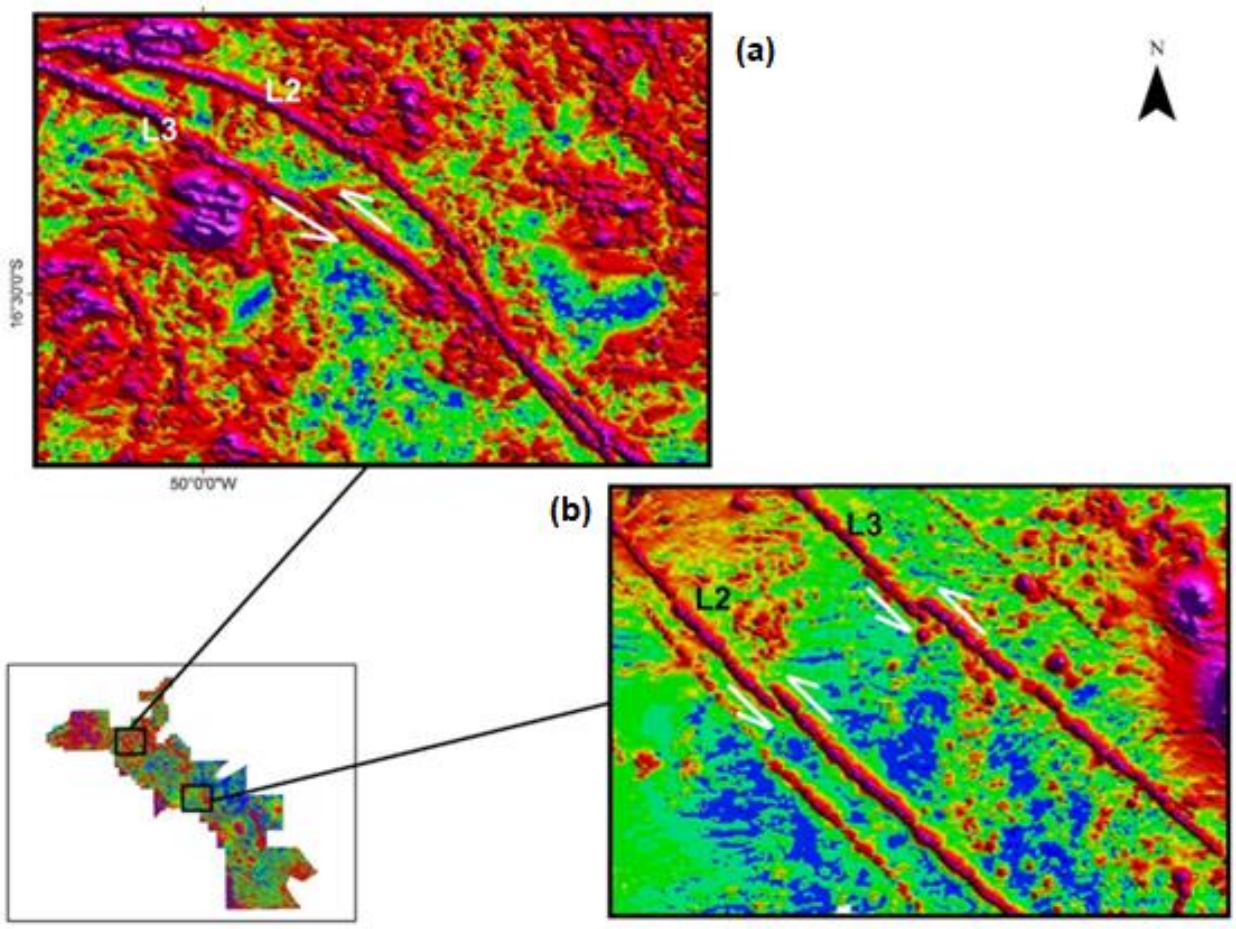
De acordo com Rocha *et al.* (2014), o lineamento Az 125° é formado por um conjunto de lineamentos que tem cerca de 850km de comprimento e 70km de largura e ocorre no Centro e Sudeste do Brasil, com orientação NW-SE, a qual se divide, a partir de evidências petrográficas e magnéticas, em três sistemas de lineamentos magnéticos (L1, L2 e L3) com diferentes características de magnetização (polaridade normal e invertida), que ocorreram ao mesmo tempo durante o Evento Brasiliano iniciado por volta de 670Ma.

Segundo Gonzaga e Tompkins (1991) *apud* Rocha *et al.* (2014), o lineamento Az 125º ocorre desde o estado de Rondônia até o estado do Rio de Janeiro, sendo um conjunto de falhas que funcionaram como um canal para o magma, onde se formaram províncias geológicas com mineralizações de alto valor econômico, incluindo os mais importantes complexos de carbonatitos e kimberlitos do Brasil.

Os movimentos sinistrais observados ao longo dos sistemas de lineamentos magnéticos do Az 125° indicam uma provável associação com uma zona de cisalhamento transcorrente (Rocha *et al*., 2014). Seer & Moraes (2011) associaram as zonas de cisalhamento sinistral subvertical do mapa geológico da Folha de Campos Altos ao lineamento Az 125°, reforçando a ideia de que a tectônica sinistral ocorreu ao longo deste azimute, sendo claramente demonstrado na Fig.8.

O lineamento Az 125° está envolvido no controle da geometria e do padrão tectônico regional NW-SE resultante da colocação de corpos intrusivos, como carbonatitos e kimberlitos. Segundo Rocha *et al.* (2014), a intrusão de magma foi facilitada pelo movimento de extensão que foi seguido por cinemática sinistral regional (transtensão) e ocorreu durante dois ou três períodos diferentes: (i) entre 950 Ma e 520 Ma em dois ciclos de orogenia Brasiliano, (ii) em 180 Ma durante a fragmentação do Gondwana e cinemática destral (iii) durante a passagem da pluma da Trindade, sendo esse último o responsável pela formação da Província Ígnea do Alto Paranaíba, a qual pertence o CAT (área estudada). Durante o Cretáceo Inferior, entre 134,5 e 131,5 Ma, estes lineamentos NW foram utilizados como canal de ascensão de magma básico que ao se extravasar na superfície gerou os extensos derrames de basalto da Bacia do Paraná (Seer *et al.*, 2011; Moraes & Seer, 2018) designados como episódio Serra Geral por Riccomini (1995). Segundo este autor “Os dados disponíveis para o Cretáceo Superior parecem indicar a permanência de esforços relacionados a um binário destral de orientação geral E-W, vigente desde a fase tardia do episódio Serra Geral”.

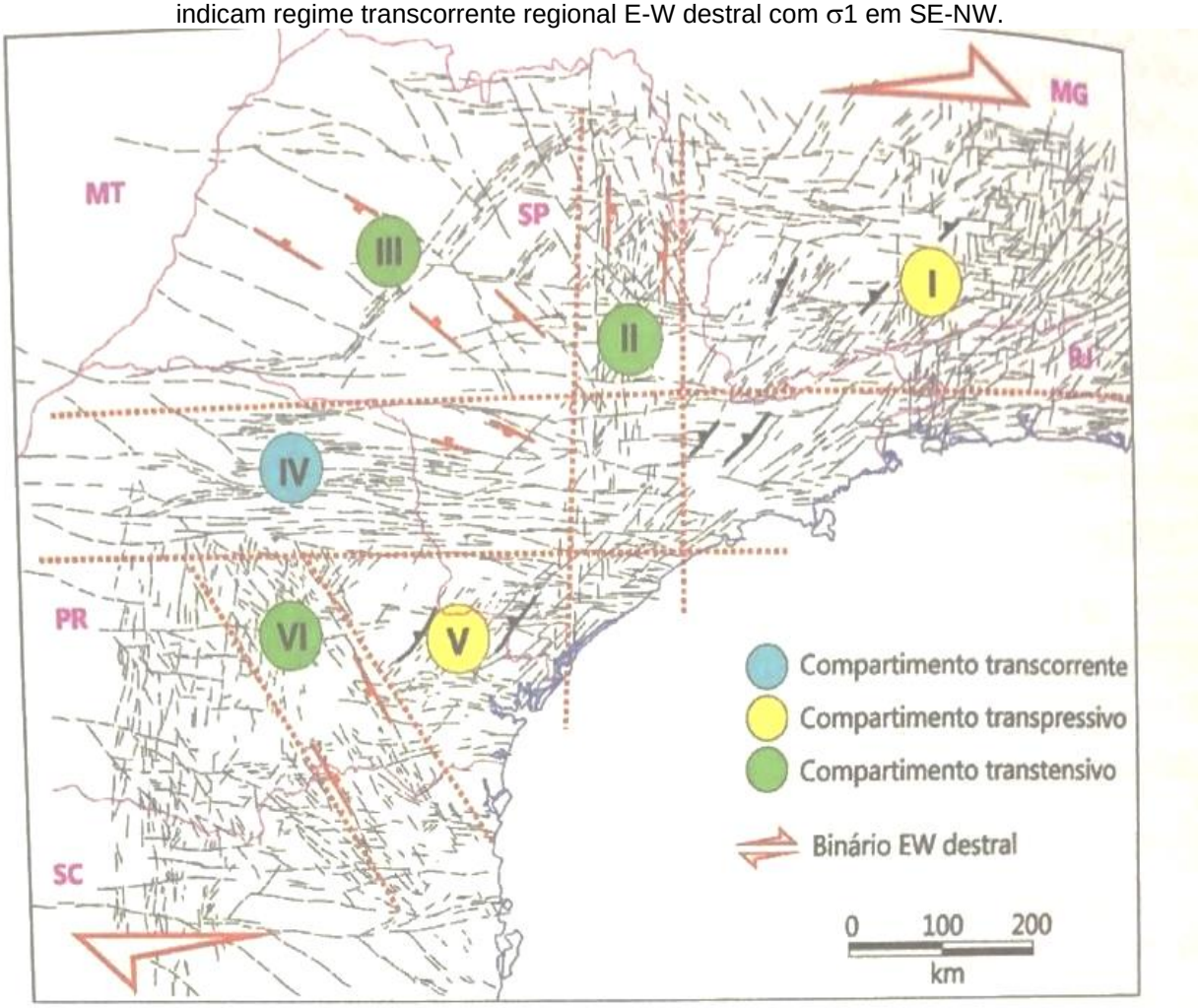
Figura 8 - Tectônica sinistral ao longo do lineamento Az 125°. (a) porção norte do sistema L3 e (b) porção central nos sistemas L2 e L3.



Fonte: Rocha et al. (2014)

Estudos morfoestruturais, morfotectônicos e de falhas na região do Estado de São Paulo, sul de Minas Gerais e norte do Paraná realizados por Borges *et al.* (1998), Hasui *et al.* (1999,2000) e Morales *et al.* (2001) definiram uma divisão em seis compartimentos neotectônicos com características próprias (Fig. 9). Em diversas áreas do estado de Minas Gerais foram observadas falhas classificadas como neotectônicas atribuídas ao Mioceno-Plioceno (Saadi,1991 *apud* Hasui *et al.* 2019) e apontam um evento transcorrente destral E-W com $\sigma 1$ em torno de NW, passando a ser considerado como de atuação regional (Hasui *et al*. 2019).

Figura 9 - Compartimentos neotectônicos no sudeste do Brasil. As setas em vermelho indicam regime transcorrente regional E-W destral com σ1 em SE-NW.



Fonte: Borges *et al*. (1998), Hasui *et al.* (1999,2000), Morales *et al*. (2001) *apud* Hasui *et al.* 2019

2.3 - Formação de domos a partir de intrusão de rochas ígneas

As rochas ígneas são formadas a partir de um líquido de rocha fundida denominado magma. O magma pode se formar em profundidades maiores no interior da crosta terrestre ou em zonas mais profundas ainda como no próprio manto, com temperaturas que variam entre 700 e 1.200 °C. A formação de uma rocha ígnea envolve a formação do magma em profundidade, a sua ascensão, acomodação, resfriamento e consolidação (Gonçalves & Carneiro, 2007).

A ascensão do magma ocorre devido à sua densidade ser menor que a rocha hospedeira. Assim, ao ser forçado para cima, o material fundido se acomoda em fraturas formando os corpos ígneos plutônicos ou intrusivos e, se atingir a superfície, os corpos ígneos vulcânicos ou extrusivos (Gonçalves & Carneiro, 2007). Dentre as variáveis que condicionam a formação dos corpos ígneos são as mais importantes: composição química, temperatura, teor dos conteúdos voláteis e viscosidade, sendo as duas últimas as propriedades mais importantes e que exercem maior influência na morfologia e no tipo de corpo gerado (Tokashiki, 2015).

O alojamento de intrusões ígneas rasas é acomodado por soerguimento e dobramento das rochas intrudidas. Estes dobramentos são denominados dobras forçadas porque ocorrem logo acima de intrusões ígneas que são injetadas e mesmo infladas nas rochas encaixantes (Stearns, 1978). Muitos exemplos provêm de estudos de bacias sedimentares e sistemas petrolíferos onde são comuns as intrusões tipo *sill* (Magee *et al*., 2017; Hansen & Cartwright, 2006). Estes autores relatam que intrusões do tipo *sill* podem gerar estruturas com formatos de domos nas rochas encaixantes e que podem ser armadilhas para hidrocarbonetos. Do mesmo modo, domos formam armadilhas para o aprisionamento de magmas alcalino-carbonatíticos como os que ocorrem na Província Ígnea do Alto Paranaíba. Os corpos desta província apresentam comportamento intrusivo/sub-intrusivo e formas subcirculares ou ovais, que indicam uma grande energia associada à ascensão do magma (Comin-Chiaramonti *et al.,* 2007). Segundo Magee *et al.* (2017) as dobras forçadas induzidas por intrusão geralmente se desenvolvem instantaneamente e acomodam todo o volume de magma intrudido.

Uma intrusão dômica pode atingir de 100 a 200km de diâmetro, sendo que essa dimensão varia de acordo com a proporção do corpo intrusivo que pode estar concordante (*sill,* lacólito, lopólito, facólito) ou não (diques, *necks,* apófises, batólitos) com as rochas encaixantes e que, geralmente, são de origem de material proveniente da parte superior do manto (Casseti, 1990 *apud* Araújo & Andrade, 2011).

De acordo com Araújo & Andrade (2011), após efeitos erosivos, a estrutura dômica tende a proporcionar o desenvolvimento de uma morfologia circular ou oval e, conforme o ataque erosivo em seu núcleo, pode expor rochas resistentes e brandas. Em casos onde as rochas expostas são frágeis, a parte central do domo se converte em depressão topográfica. Em casos de rochas mais resistentes em seu núcleo, a topografia pode chegar a ser de morros ou até montanhas.

São definidos três tipos de estrutura dômica. O domo batolítico é caracterizado pelo arqueamento convexo das camadas sedimentares ou metassedimentares de cobertura, podendo esse arqueamento ser concomitante com a intrusão ou posterior. O domo lacolítico

ocorre entre planos de acamamento dos estratos, formando uma massa lenticular convexa para cima e os domos salinos são pequenas estruturas salientes produzidas pela intrusão de sal no interior de estratos rochosos (AB' Sáber, 1975 *apud* Araújo & Andrade, 2011).

O trabalho de Martins *et al*. (2016) descreve um pouco sobre as características das principais estruturas circulares e semicirculares de origem endógena (ECSCOEN) e exógena (ECSCOEX) presentes no território brasileiro. As estruturas endógenas raramente possuem morfologia circular perfeita, apresentam diâmetros entre 8 e 38 km e ocorrem direta ou indiretamente associadas à complexos ígneos mesozoicos. As estruturas exógenas têm morfologia circular perfeita, diâmetros entre 4,5 e 40 km e são estruturas de impacto complexas.

No Brasil temos vários exemplos de estruturas ígneas circulares e semicirculares que se originaram de processos endógenos, conhecidas tanto em bacias sedimentares fanerozoicas como no domínio do embasamento cristalino mais antigo e também aquelas relacionadas à granitogênese em sistemas orogênicos. Podem ser citados o Alto Estrutural de Quatiguá no Paraná e o Domo de Pitanga em São Paulo, cuja gênese é atribuída a processos associados à reativação de estruturas presentes no embasamento de bacias sedimentares fanerozoicas (Martins *et al*., 2016). Tem-se ainda as estruturas associadas à intrusão de magmas alcalinos, merecendo destaque as de idade mesozoica, tais como Poços de Caldas e Araxá em Minas Gerais, Catalão em Goiás e Lages em Santa Catarina (Martins *et al*., 2016). A estrutura estudada no presente trabalho é semelhante às últimas citadas.

Figura 10 - Resumo das principais características de algumas das principais intrusões ígneas de estrutura circular e semicircular de origem endógena brasileira.

Estrutura	Tipo	Referência	Local	Registro	Diâmetro	Características e gênese
Monte Alegre	Alto Estrutural	(i) Montalvão & Oliveira (1975),Figueira (2011), Almeida & Pinheiro (2007)	PA	Rochas devonianas da Bacia do Amazonas	~ 30 km	Forma elíptica, estrutura dômica. Hipóteses genéticas: i) braquianticlinal resultante da manifestação ígnea mesozoica máfica de um possível lacólito não aflorante; ii) braquianticlinal resultante de um padrão de interferência regional.
Lages	Alto Estrutural	Scheibe (1986), Riccomini et al. (2005), Roldan et al. (2010)	SC	Rochas paleozoicas da Bacia do Paraná	~ 23 km	Estrutura dômica semicircular associada a intrusões alcalinas na Bacia do Paraná durante o Cretáceo Superior.
Quatiguá	Alto Estrutural	Rostirolla et al. (2000)	PR	Rochas paleozoicas da Bacia do Amazonas	~ 8 km	Forma concêntrica incipiente, com gênese provável atribuída ao efeito cumulativo de eventos tectônicos que afetaram as unidades carboníferas e permianas da bacia do Paraná durante o Mesozoico, possivelmente através da reativação de paleolineamentos presentes no embasamento da bacia.
Pitanga	Alto Estrutural	Sousa (2002), Siqueira (2011)	SP	Rochas paleozoicas (BP)	~ 25 km	Forma irregular ("elipsoidal"), com eixo maior alongado na direção NNE-SSW, provavelmente decorrente de tecotônica transcorrente cenozoica.
Tapira	Complexo Alcalino	Melo (1997), Brod et al. (inédito)	MG	Rochas metassedimentares meso a neoproterozoicas	~ 11 km	Forma circular, associada a intrusão de complexo magmático ultramáfico-alcalino do Cretáceo Superior em rochas. metassedimentares proterozoicas
Catalão	Complexo Alcalino	Ribeiro (2008), Cordeiro (2009), Brod et al. (2005)	GO	Rochas metassedimentares meso a neoproterozoicas	~ 8 km	Forma aproximadamente circular, associada à intrusão de complexo magmático ultramáfico-alcalino do Cretáceo Superior em rochas metassedimentares proterozoicas.
Araxá	Complexo Alcalino	Brod et al. (inédito)	MG	Rochas metassedimentares meso a neoproterozoicas	~ 10 km	Forma circular, associada à intrusão de complexo magmático ultramáfico-alcalino do Cretáceo Superior em rochas metassedimentares proterozoicas.
Caldas Novas	Complexo Alcalino não aflorante (?)	Campos et al. (2005)	GO	Rochas metassedimentares meso a neoproterozoicas	~ 13 km	Forma elíptica, com provável origem associada a dois eventos tectônicos: i) tectônica formadora - Ciclo Brasiliano; ii) tectônica modificadora - reativação da Plataforma Sul-Americana no Mesozoico. Presença de águas termais anômalas e sem manifestação de magmatismo associado na superfície.
Domo de Serra Negra	Complexo Alcalino	Mariano et al. (1991);	MG	Rochas metassedimentares meso a neoproterozoicas	~ 16 km	Forma aproximadamente circular, associada à intrusão de complexo magmático ultramáfico-alcalino do Cretáceo Superior em rochas metassedimentares proterozoicas.
Maciço Alcalino de Poços de Caldas	Complexo Alcalino	Slavec et al. (2004), Ulbrich et al. (2005), Riccomini et al. (2005)	MG/ SP	Rochas metamórficas gnáissicas neoproterozoicas	~ 38 km	Estrutura semicircular a levemente elipsoide que ocupa uma área com cerca de 800 km². Gênese associada ao desenvolvimento de uma gigantesca caldeira vulcânica no Cretáceo Superior. Magmatismo alcalino e fontes termais anômalas associados.

Fonte: Adaptado de Martins *et al.* (2016)

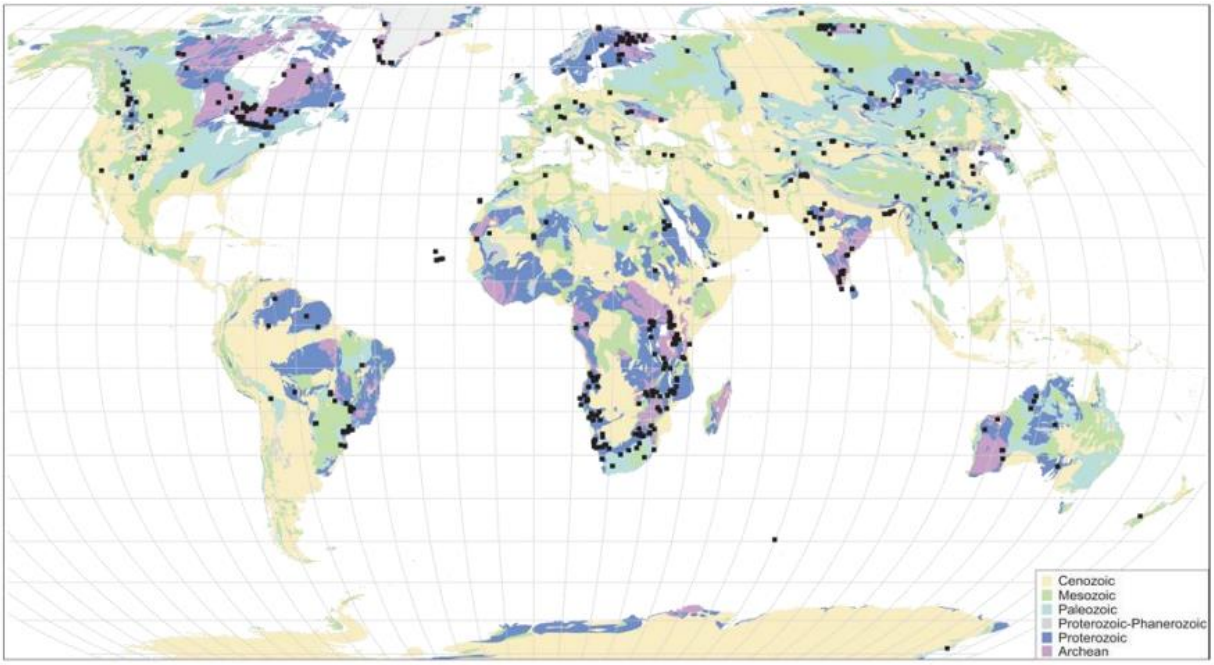
2.4 - Complexo Alcalino-Carbonatítico

A União Internacional de Ciências Geológicas definiu carbonatito como uma rocha ígnea composta por mais de 50% de minerais magmáticos carbonáticos primários. Geralmente os carbonatitos compreendem associações de carbonatos: dolomita, calcita, calcita-dolomita, ankerita e siderita, além de grande variedade de minerais acessórios (Streckeisen, 1979 *apud* Luciano & Godoy, 2017).

De acordo com Luciano & Godoy (2017), do Proterozoico ao recente são identificados carbonatitos, encontrados dominantemente associados a um ambiente de intraplaca continental anorogênico, a partir de *hot spots* em *rifts*, separação continental e extensões continentais de falhas transformantes. De modo secundário, podem ocorrer associados com eventos orogênicos, como em margens continentais e separação de placas e ilhas oceânicas.

Os complexos alcalino-carbonatíticos são comumente compostos por duas séries petrogenéticas – a série silicática de volume majoritário e subordinadamente, a série carbonatítica. De forma rara e em menor volume, pode ocorrer a série foscorítica nos complexos plutônicos.

Figura 11 - Ocorrências carbonatíticas mundiais



Fonte: Woolley & Kjarsgaard (2008) *apud* Hernandez (2013)

A ocorrência de carbonatitos no mundo é pouco expressiva quando comparada com outros litotipos mais comuns (rochas basálticas, graníticas, metamórficas ou sedimentares). Estimativas atuais colocam o volume de carbonatitos em torno de 3% da cobertura litosférica terrestre (Woolley & Kjarsgaard, 2008 *apud* Hernandez, 2013). Embora seu volume seja pouco expressivo, acredita-se que as composições químicas próprias destes corpos ígneos, ricos em elementos incompatíveis e elementos de terras raras, reflitam características particulares do manto litosférico (Hernandez, 2013).

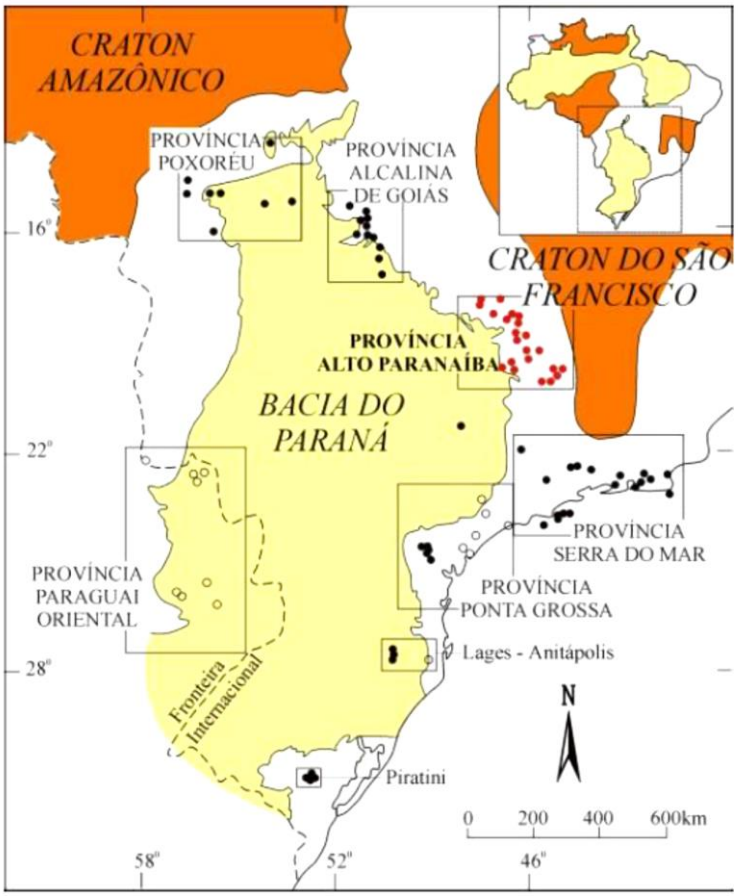
2.4.1 - Contexto geológico – Províncias Alcalinas da Bacia do Paraná

A intensa atividade magmática ocorrida no intervalo do Eocretáceo ao Eoceno, nas porções central e sul do Brasil e também no Paraguai oriental, foi responsável pela formação dos basaltos da Formação Serra Geral (Sistema Paraná-Etendeka) que cobrem parte da Bacia do Paraná e por províncias alcalinas situadas em suas margens (Brod *et al*. 2004; Grasso, 2010).

O magmatismo da região é atribuído à interação de plumas mantélicas na base da litosfera continental. Segundo Thompson *et al*. (1998) *apud* Barbosa (2009), as províncias de Poxoréu, de Goiás e do Alto Paranaíba seriam resultantes da interação inicial desta pluma sob a litosfera do Brasil central. Posteriormente, durante a migração do Continente Sul-Americano para oeste, à medida que a litosfera espessa do Cráton do São Francisco passava sobre o local da pluma, formava-se a Província Serra do Mar, correspondente ao "vazamento" de manto anomalamente quente para o sul. Algumas províncias são resultado de magmatismo alcalino sódico, enquanto outras são ultrapotássicas (Eberhardt, 2014).

Das províncias ultrapotássicas evidenciam-se duas das principais províncias kamafugíticas do mundo, a Província Ígnea do Alto Paranaíba-PIAP, na borda nordeste, e a Província Alcalina de Goiás-PAG, na borda norte da bacia (Fig. 12) (Eberhardt, 2014). De acordo com Brod *et al*. (2004), a disposição geográfica das províncias e de suas idades permite agrupá-las em três categorias. As províncias ao norte (Poxoréu, Goiás, Alto Paranaíba) são de idade Neocretácea. As províncias mais para sul, tanto na margem oeste (Província do Paraguai Oriental) quanto na margem leste (Província Ponta Grossa) da bacia, têm um espectro de idades variável, com rochas do Eocretáceo (contemporâneas aos basaltos da Formação Serra Geral) e rochas Neocretáceas (Província Ponta Grossa e, mais para o sul, nas regiões de Piratini e Lages). As rochas mais jovens aparecem na província mais oriental (Serra do Mar), variando do Neocretáceo ao Eoceno.

Figura 12 - Localização das províncias alcalinas das margens da bacia do Paraná



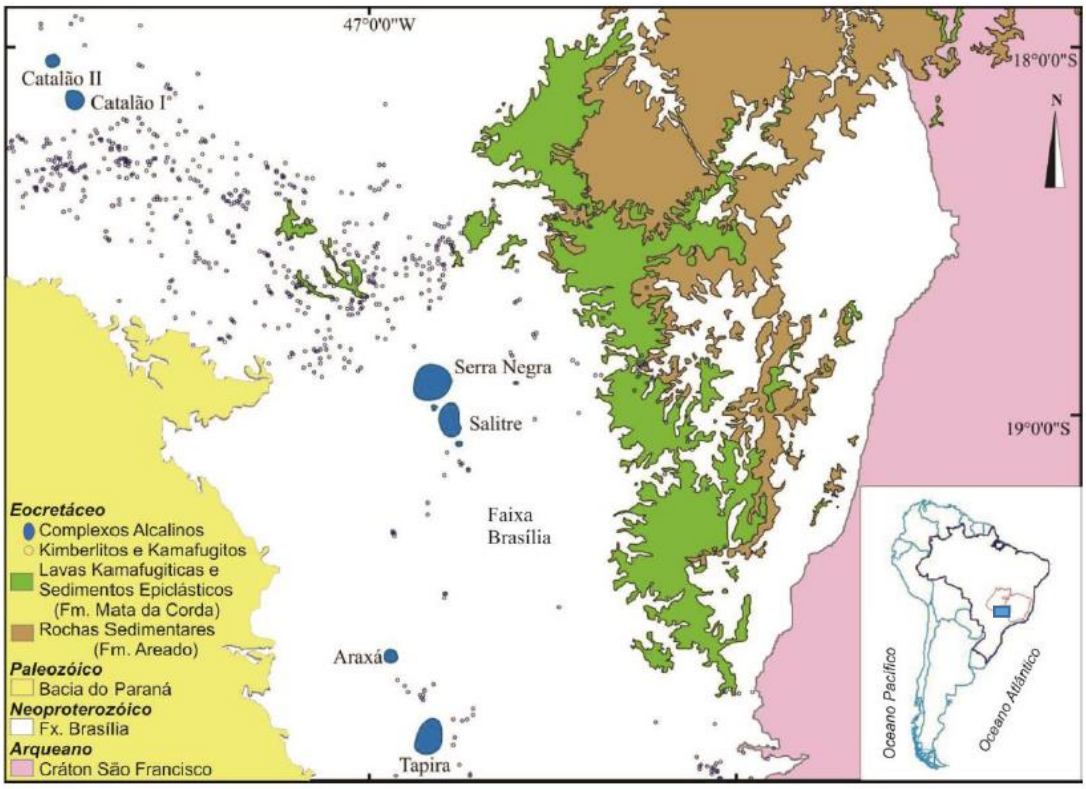
Fonte: Gibson *et al.* (1995ª) *apud* Grasso (2010)

2.4.2 - Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP)

Para Campos & Dardenne (1997), no soerguimento iniciado no Eocretáceo e intensificado no Neocretáceo, surge o Arco do Alto Paranaíba, uma importante estrutura alongada NW-SE, a qual influencia de forma direta a evolução tectono-estratigráfica das bacias do Paraná e Sanfransciscana. O embasamento do Arco é composto por metassedimentos dos grupos Araxá, Canastra e Bambuí, e seus contatos são caracterizados por falhas de empurrão da tectônica Brasiliana de idade Neoproterozoica (Campos & Dardenne,1997).

Ainda de acordo com Campos & Dardenne (1997), Gibson *et al*. (1995b) denominaram de Província Ígnea do Alto Paranaíba as rochas alcalinas situadas no sudeste de Goiás e Alto Paranaíba, em Minas Gerais (Fig. 13).

Figura 13 - Mapa geológico da Província Ígnea do Alto Paranaíba com a localização dos complexos plutônicos alcalino–carbonatíticos e derrames kamafugíticos.



Fonte: Oliveira *et al.* (2004) *apud* Eberhardt (2014)

A Província Ígnea do Alto Paranaíba está localizada ao longo do Arco homônimo. Formada no Cretáceo Superior, a intrusão desses complexos deformou as rochas metassedimentares da Faixa Brasília, quase sempre com a geração de estruturas dômicas. Grasso (2010) a considera uma das maiores províncias alcalinas intracontinentais do mundo devido ao volume de magma potássico derramado nessa região, com alojamento de rochas alcalinas máficas e ultramáficas.

Borges (2018) afirma que a PIAP se destaca pela variedade de depósitos minerais envolvidos e pela complexidade petrológica, decorrente da associação entre carbonatitos e rochas alcalinas ultrapotássicas. Estas rochas ocorrem sob a forma de diques, *pipes*, veios, diatremas e complexos plutônicos, além de lavas e piroclásticas. Os magmas são, principalmente, kamafugíticos, além de kimberlíticos e lamproíticos.

Portadores de diversas mineralizações como nióbio, fosfato, terras raras, titânio, vermiculita e barita, dentre outros, os complexos alcalino-carbonatíticos da PIAP são alvo de estudos de Elementos de Terras Raras – ETR (Moraes & Seer, 2018), bem como têm uma grande importância econômica para o país através da mineração dos depósitos de fosfato

(Araxá, Tapira, Salitre I e Catalão 1) e nióbio (Araxá, Catalão 1, Catalão 2) localizados no manto de intemperismo (Eberhardt, 2014; Novaes, 2018).

2.5 - Complexo Alcalino-Carbonatítico de Tapira

O Complexo Alcalino-Carbonatítico de Tapira (CAT) possui composição ultramáfico-carbonatítica e ocorre encaixado em quartzitos e xistos Neoproterozoicos do Grupo Canastra. A idade de intrusão, utilizando o método 40Ar/39Ar, mostra que ao longo de 17 Ma ocorreram três eventos magmáticos em 96 Ma, 85-86 Ma e 79 Ma (Godoy, 2015).

O CAT é o mais meridional de todos os complexos da APIP, apresenta uma forma elíptica, com cerca de 6,5 km de diâmetro e cobre uma área de 35 km² sendo formado predominantemente por piroxenito alcalino (bebedourito) com quantidades subordinadas de serpentinito (dunito), sienito e diques potássicos ultramáficos (Grasso, 2010).

A intrusão fenitizou e deformou as encaixantes do Grupo Canastra em uma estrutura dômica. De acordo com Litholdo (2013), a intrusão de Tapira é diretamente associada à presença de sucessivos pulsos magmáticos, que causaram um típico zoneamento de ordem litológica, onde as rochas hidrotermais ocupam sua parte central e as rochas ultrabásicas suas bordas.

Nas rochas encaixantes próximas ao contato, a interação com os fluidos metassomáticos resultou na formação de piroxênio sódico e feldspato; já os efeitos termais parecem ser restritos aos quartzitos próximos à intrusão (Grasso, 2010). Segundo Brod (1999) antes da intrusão final, os magmas primitivos do CAT sofreram diferenciação na crosta. Assim, temos exemplos de carbonatitos produzidos por imiscibilidade de líquidos, e por cristalização fracionada. A cristalização fracionada a partir de um magma com a composição dos flogopita-picritos é um processo capaz de originar os bebedouritos.

Estes mecanismos petrogenéticos contrastantes geraram assinaturas geoquímicas e mineralógicas diversas, as quais podem ser usadas para auxiliar na identificação de eventos específicos na formação do CAT, bem como para testar a afinidade de carbonatitos e rochas silicáticas associadas (Brod, 1999).

As unidades geológicas do CAT podem ser agrupadas em série carbonatítica e silicatada; já as rochas encaixantes da intrusão são formadas por quartzitos e xistos do Grupo Canastra (Neoproterozoico) (Conceição *et al*., 2010).

2.5.1 - Petrografia

Como uma primeira abordagem para a descrição dos tipos de rocha do Complexo Alcalino de Tapira, tem-se a distinção entre as rochas compostas predominantemente por minerais de silicato, e aquelas compostas essencialmente por carbonatos.

Figura 14 – Croqui do esboço geológico do substrato (rocha fresca) do complexo de Tapira, com base em informações de testemunhos de sondagem sobre imagem de satélite. B1 e B2 representam unidades de cumulados bebedouríticos. C1 a C5 são sucessivas intrusões carbonatíticas. A área em azul na porção noroeste é uma intrusão sienítica. A linha amarela delimita o contato com as rochas encaixantes.

Fonte: Brod (1999) *apud* Eberhardt (2014)

O CAT é considerado uma intrusão multifásica, decorrente da amalgamação de ao menos duas intrusões de magma ultramáfico, cinco de carbonatito e uma de sienito (representados na Fig.14 pelo esboço do substrato rochoso). Em termos de volume, cerca de 80% equivalem às rochas ultramáficas, com predominância de bebedouritos, seguidos por dunitos, peridotitos e piroxenitos (Brod, 1999).

- **ROCHAS DA SÉRIE SILICATADA**

Segundo Barbosa (2009) bebedourito é um termo proposto por *Tröger* em 1928 para denominar clinopiroxenitos ricos em perovskita e biotita. Rochas da série bebedourítica consistem em bebedouritos e clinopiroxenitos, com dunitos, wehrlitos e sienitos subordinados.

De acordo com Brod (1999) pelo menos duas unidades separadas de rochas ultramáficas, chamadas de B1 e B2 são reconhecíveis com base na sua localização no CAT e nas variações modais e químicas dos minerais essenciais. A unidade B2 pode ainda consistir em duas intrusões separadas, com histórias petrogenéticas distintas.

Bebedouritos e piroxenitos são finos a grossos, localmente pegmatíticos, compostos de quantidades variáveis de diopsídio, flogopita, perovskita, apatita, magnetita, melanita e titanita. Orientação mineral e acamamento magmático são comuns (Brod,1999). Os bebedouritos B1 apresentam maior conteúdo em apatita, olivina, diopsídio, flogopita e perovskita. Minerais opacos ocorrem como acessório. Os bebedouritos B2 destacam-se principalmente pela presença de diopsídio, flogopita, tetraferriflogopita, granada e apatita, tendo como principais acessórios titanita, perovskita e carbonatos. Variações modais produzem cumulados ricos em olivina (dunitos, wehrlitos), perovskita (perovskititos), magnetita (magnetititos) ou apatita (apatititos) (Eberhardt, 2014). Alguns corpos discordantes ricos em apatita ou em perovskita+magnetita cortam os cumulados ou alojam-se na encaixante, sugerindo remobilização de *crystal mush* (Brod *et al*., 2004).

- **ROCHAS DA SÉRIE CARBONATÍTICA**

De acordo com Eberhardt (2014) no CAT são identificados três tipos composicionais de carbonatito: (a) calciocarbonatitos médios a finos, compostos de calcita, flogopita e/ou tetra-ferriflogopita e apatita com quantidades acessórias de pirocloro e magnetita, (b) magnesiocarbonatitos médios a finos, como corpos maciços a diques, às vezes

microporfiríticos e com estrutura de fluxo. Flogopita e/ou tetra-ferriflogopita, pirocloro e barita são acessórios comuns e (c) Ba-calciocarbonatito e Ba-magnesiocarbonatito, como diques e veios tardios disseminados, finos, às vezes bandados e com estrutura de fluxo. Flogopita e/ou tetra-ferriflogopita, magnetita, apatita e barita são acessórios comuns.

2.5.2 - Evolução geológica

As rochas metassedimentares da área estudada são atribuídas ao Grupo Canastra. De acordo com Reis (2010), o Grupo Canastra é constituído por um conjunto de metassedimentos detríticos, que compreendem uma sucessão de camadas, com direção aproximada leste-oeste, contendo quartzitos muito finos com intercalações de filitos sericíticos e carbonosos, que gradam para grafita xistos, ocorrendo também granada-cloritóide-grafita xistos mais grossos.

Para Silva (2003) essas rochas encontradas em Tapira têm origem em uma bacia sedimentar desenvolvida na margem ocidental do paleocontinente São Francisco durante o Neoproterozoico.

Os estudos de Vieira (1997) indicam que o CAT tem idade cretácica tardia e que durante o seu posicionamento, imprimiu às rochas encaixantes do Grupo Canastra estruturas radiais complexas, que refletem atualmente a rede fluvial. Hasui & Cordani (1968) e Sonoki & Garda (1988) *apud* Godoy (2015) sugerem, a partir da geocronologia K/Ar em biotitas de sienito, idades de 70 Ma e 71.2 ± 5.1 Ma, para o complexo alcalino-carbonatítico de Tapira. Soares *et al.* (2015) utilizando traço de fissão em apatita, indicam a idade de 88,9 ± 7,4 Ma para a intrusão de Tapira.

Os trabalhos de Godoy (2015) concluíram que o CAT ocorreu no Cretaceo Superior, em pelo menos três pulsos magmáticos separados, há 96 Ma, 85-86 Ma e 79 Ma (dados de $^{40}Ar/^{39}Ar$), com atividades ígneas começando com magmas silicáticos ultramáficos alcalinos e terminando com magmas carbonatíticos. Essa sequência de atividade ígnea alcalina-carbonatítica associada à fenitização também é descrita para a história geológica da Província oeste do Quênia e para outros locais do mundo onde magmas carbonatíticos são reconhecidos (Godoy, 2015).

Brod *et al.* (2013) através do estudo geoquímico de algumas amostras de Tapira, sugerem os processos de imiscibilidade de líquidos, cristalização fracionada e

metassomatismo, como os responsáveis pela gênese do CAT, sendo a imiscibilidade o principal processo responsável, desde a fase inicial até as fases tardias durante sua evolução.

2.5.3 - Relação entre a geração do domo e a geocronologia das intrusões

Para o caso do CAT, estudos geocronológicos recentes utilizando o método $^{40}Ar/^{39}Ar$ indicam três etapas de intrusão magmática (Godoy, 2015) em 96 Ma, 85-86 Ma e 79 Ma. Segundo Godoy (2015) a intrusão de Tapira foi formada por sucessivos pulsos magmáticos que geraram zoneamento litológico, com as rochas ultrabásicas, dominantemente bebedouritos, ocupando as bordas e os carbonatitos as partes centrais. Com base nestes aspectos e na forte inclinação da foliação das rochas encaixantes junto ao CAT, pode-se levantar a hipótese de que o domo foi gerado nas fases iniciais do magmatismo pela intrusão das rochas bebedouríticas (Fig. 15). Este processo forçado foi acompanhado de fenitização potássica (Godoy, 2015) e intenso fraturamento o que é evidenciado pela fenitização dos quartzitos encaixantes, geração de veios e vênulas ricas em feldspato e piroxênio sódico e intrusão de diques de kamafugitos e sienitos.

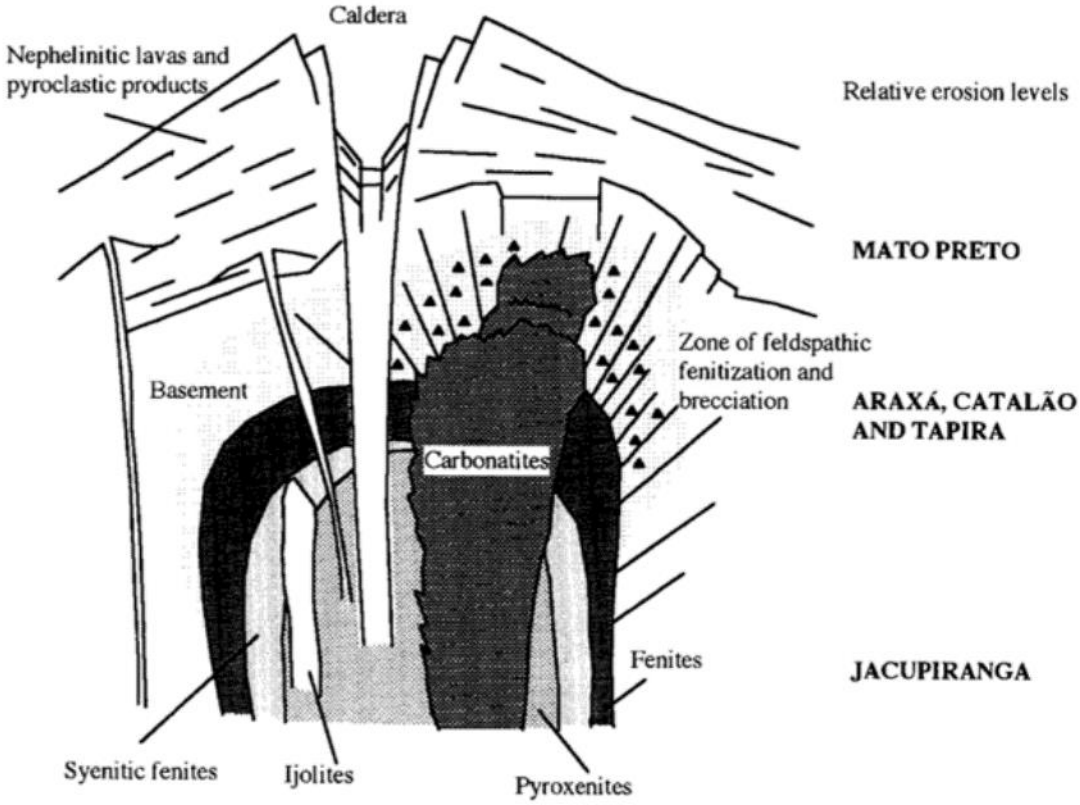
Figura 15- Quadro esquemático resumindo a história de evolução do CAT

Idade	Atividade ígnea	Processos associados	Tectônica	Erosão	Intemperismo
De 3 Ma até hoje					Concentração de minerais residuais de P e Nb
....				Erosão e grande contribuição de sedimentos para as bacias sedimentares de Santos, Campos e Espírito Santo, além do Gr. Bauru da Bacia Sedimentar do Paraná	
79-40 Ma					
....					
79-81 Ma 85-86 Ma	Magmas carbonatíticos	Origem principal das apatitas Flogopitização das rochas primárias			
....		Fenitização potássica das rochas encaixantes (quartzitos do Gr. Canastra) + Sienitos	Soerguimento Brechação		
96 Ma	Magmas ultramáficos (séries bebedourítica e foscorítica)				

Fonte: Godoy, 2015.

Quando o domo já estava formado pelo dobramento forçado das encaixantes, houve intrusão de carbonatito na forma de diques e veios que cortam as rochas pré-existentes, especialmente as ultramáficas, processo que foi acompanhado por fraturamento. Com base nestas evidências Godoy (2015) posicionou crustalmente o CAT como uma intrusão subvulcânica (Fig. 16) utilizando modelo geral proposto por Le Bas (1977 para a intrusão de complexos alcalino-carbonatíticos.

Figura 16 - Seção vertical ilustrativa de um complexo vulcânico carbonatítico-ijolítico-nefelinítico idealizado (Le Bas, 1977) e o nível estimado onde se encontram os complexos alcalinos carbonatíticos brasileiros, em especial o complexo de Tapira (Santos & Clayton, 1995)



Fonte: Godoy, 2015.

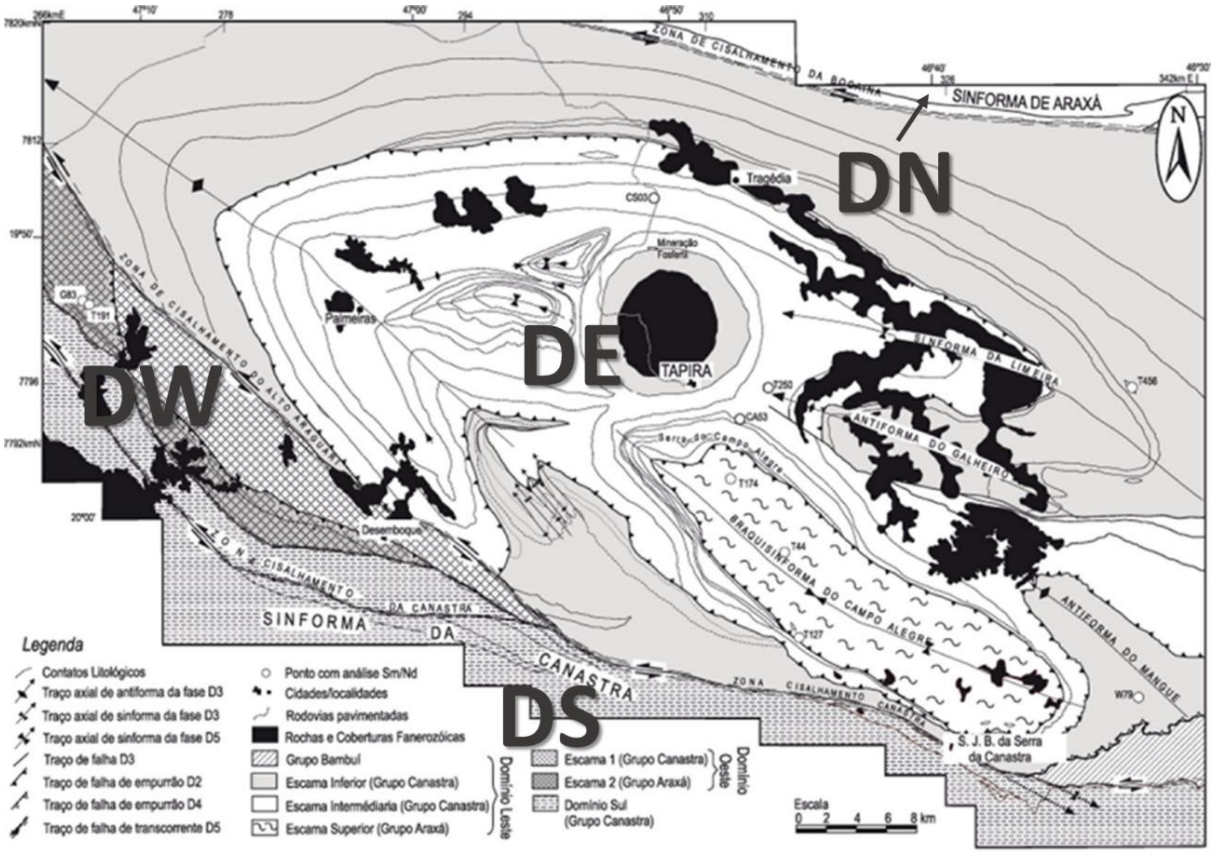
2.6 - Contexto Estrutural da Área

2.6.1 - Organização estrutural

Situada à sudoeste de Minas Gerais, na porção meridional da Faixa Brasília, a região de Tapira apresenta uma evolução estrutural que envolve diversas escamas de empurrão e zonas de cisalhamento transversais. Silva (2003) propôs a compartimentação da área em 4

domínios tectono-estruturais, sendo seus limites marcados por aquelas zonas de cisalhamento (Fig. 17).

Figura 17:Mapa geológico simplificado da região de Tapira, Minas Gerais com a organização estrutural da área estudada. DN: domínio norte; DW: domínio oeste; DE: domínio leste; DS: domínio sul



Fonte: Adaptado de Silva (2003)

O domínio Norte (DN) é definido a partir da zona de cisalhamento da Bocaina e predominam rochas correspondentes a uma sucessão psamopelítica com predominância de quartzitos. (Simões & Navarro,1996, e Seer,1999, *apud* Silva, 2003. O domínio Oeste (DW) é marcado pela zona de cisalhamento da Canastra, com ocorrência de xistos e quartzitos e rochas metamáficas, metaultramáficas e gnáissicas subordinadamente, recobertas pelas rochas da Bacia do Paraná (Silva, 2003).

O Domínio Leste (DE) é definido a partir da zona de cisalhamento do Alto Araguari, onde predominam xistos com intercalações de quartzitos, quartzo xistos e rochas metaultramáficas (Silva, 2003). A zona de cisalhamento Canastra é a responsável pela divisão entre o domínio

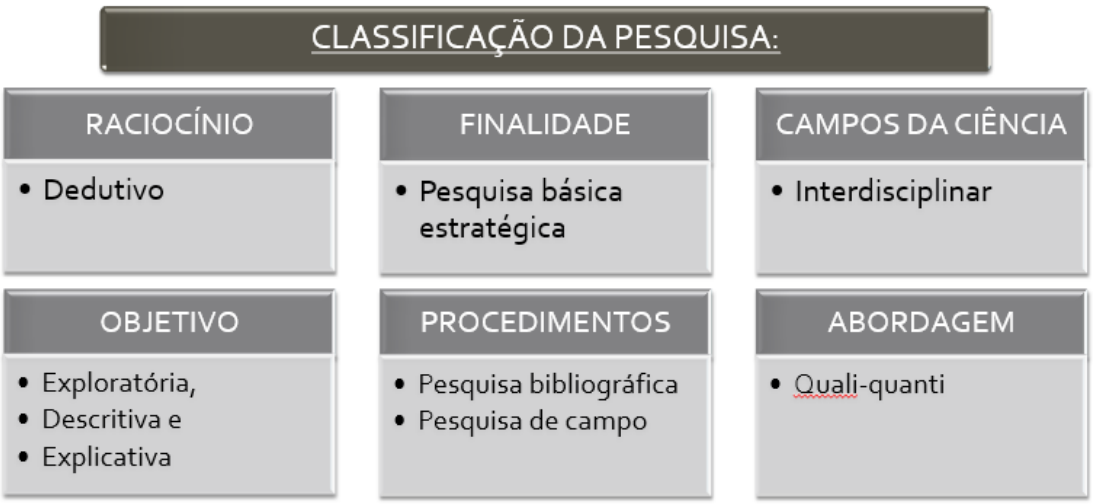
leste (DE) e o domínio Sul (DS), sendo este marcado por predominância de rochas metapsamíticas com feições sedimentares preservadas (Silva, 2003).

3 - METODOLOGIA

A metodologia adotada pode ser dividida em quatro etapas. A primeira é a revisão bibliográfica, onde procurou-se revisar trabalhos publicados da área em estudo. Em especial, destaca-se dois trabalhos motivadores da pesquisa, que são a tese de doutorado de Silva (2003) e o trabalho de conclusão de curso de Pires (2005).

A segunda etapa compreendeu o levantamento de dados no campo, obtidos através de um mapeamento estrutural de afloramentos na área estudada. Em seguida, a terceira etapa foi o tratamento dos dados obtidos e por fim, a quarta etapa a cofecção do texto de dissertação e discussão dos dados com o auxílio dos dados de literatura. O trabalho segue a linha de pesquisa Geologia de Engenharia na Mineração e tem como delimitação do tema o mapeamento estrutural.

Figura 18 - Classificação metodológica da pesquisa



Fonte: Próprio autor

3.1 – Revisão bibliográfica

Foram realizados levantamentos bibliográficos em artigos de periódicos, livros textos, monografias de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorado sobre a ocorrência dos complexos alcalinos-carbonatíticos e a formação geológica da área estudada. Adicionalmente foi empreendida uma revisão sobre os aspectos gerais dos

regimes de deformações rúpteis e dúcteis.

Como base geológica utilizou-se o mapa geológico da Folha Araxá- SE.23-Y-C-IV de escala 1:100.000 (Seer *et al*., 2015). Com o auxílio de imagens de satélite e cartas topográficas foram preparados mapas base para orientação no deslocamento no campo pelos acessos já existentes.

3.1.1- Análise de fotolineamentos

Para elaboração de mapas de relevo, tem-se disponível no site da Embrapa, através do projeto Brasil em Relevo (Miranda *et al.* 2010), uma série de dados pré-processados de todo o território nacional, com resolução espacial de 90 metros obtidos do projeto SRTM - *Shuttle Radar Topographic Mission*. O projeto SRTM consistiu de um levantamento realizado entre a *National Aertonautics* and *Space Agency* (NASA), a Agência Espacial Italiana (ASI) e o Centro espacial Alemão (DLR), com objetivo de rastrear a superfície do planeta obtendo dados precisos de altimetria.

Foram utilizadas as imagens georreferenciadas do satélite *Landsat 8* (USGS/NASA) acessadas no QGIS pelo complemento *Google Earth* e o modelo digital de elevação do banco de dados topográficos digitais TOPODATA (INPE, 2008). A imagem escolhida para a extração de lineamentos foi a identificada como 19_48, extensão GRD (modelo digital de elevação com dados altimétricos interpolados para 30 m).

A partir das imagens georreferenciadas no *software* QGIS, delimitou-se uma área extrapolando em média 5km para além da borda do CAT, resultando em um polígono de 61.000ha, para se avaliar o comportamento das fraturas regionais a partir de fotolineamentos. Foram traçados manualmente, em formato *shapefile,* os lineamentos observados a partir da imagem de satélite e do modelo digital de elevação. Os lineamentos coincidentes podem corresponder a zonas de fratura e, com o uso do *software Dips* da *Rocscience* se obteve o diagrama de rosetas das fraturas em escala regional. Foi realizado também um filtro com as fraturas de maior persistência (mínimo 1km) e obtido o diagrama de rosetas.

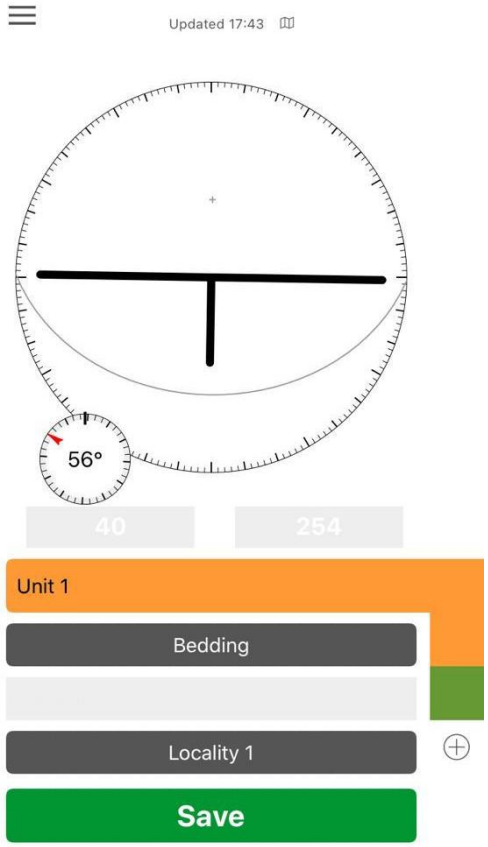
3.2 - Trabalhos de campo

Partindo-se do conhecimento obtido na revisão bibliográfica e na interpretação de imagens de satélite, foi delimitada a área para mapeamento em campo.

Na primeira etapa de campo foram descritos 35 afloramentos, identificando-se o tipo de rocha e as estruturas existentes, medindo-se a atitude espacial de foliação, das fraturas e dos diques. Na segunda etapa foram mapeados mais 34 afloramentos, totalizando 69 pontos mapeados.

Para o levantamento de campo usou-se um receptor GPS de mão GARMIN ETREX10, martelo geológico, caderneta de campo, placa de alumínio lisa, colete de sinalização, *smartphone* da marca *Apple* para fotos e uso das leituras de bússola do aplicativo *Field Move Clino*. Este dispositivo foi calibrado por bússola *Brunton* através da medição de planos com a bússola e comparados com os planos medidos no aplicativo.

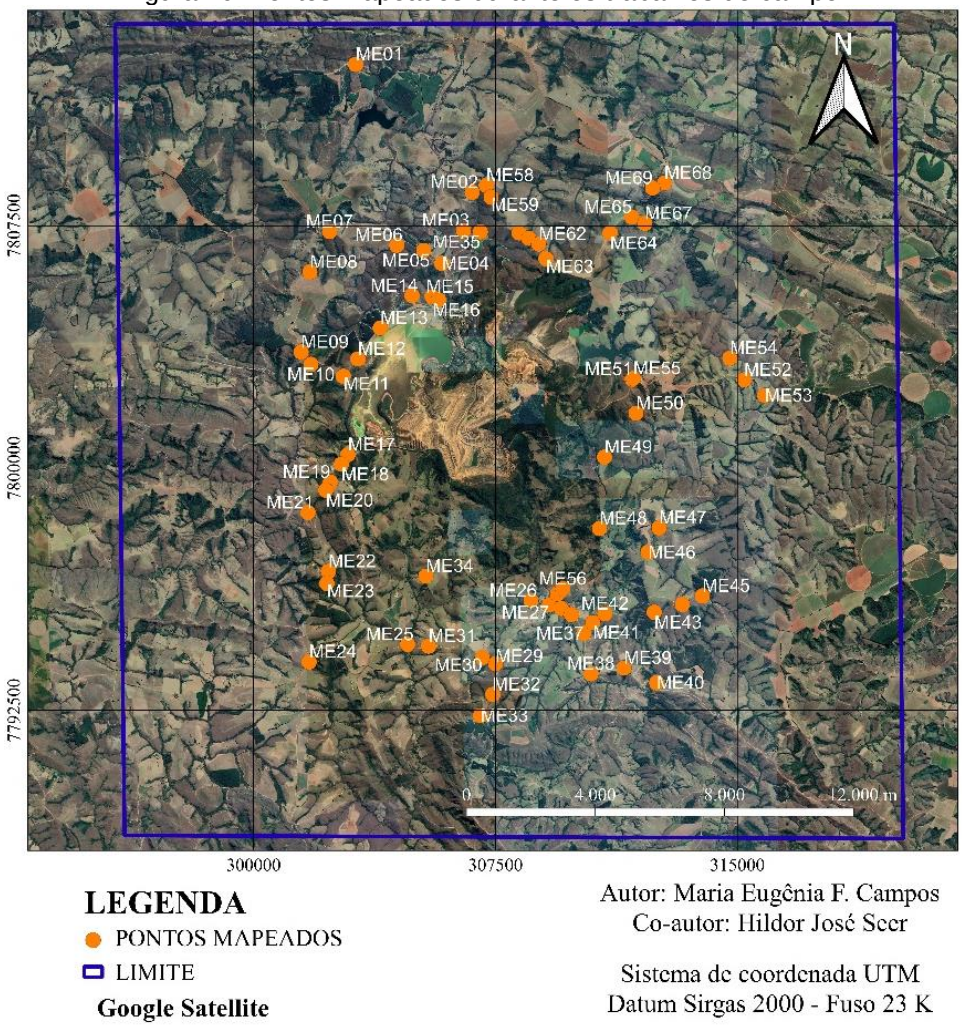
Figura 19 - Tela do aplicativo *Fieldmove Clino,* utilizado para a coleta de dados em campo



Fonte: Próprio autor

O mapeamento foi realizado ao longo de estradas e trilhas já existentes, com o auxílio de veículo do CEFET-MG/Campus Araxá e por caminhamento a pé, sendo direcionados pelo mapa com imagem de satélite inseridos no aplicativo do *smartphone Avenza.*

Figura 20: Pontos mapeados durante os trabalhos de campo.



Fonte: Próprio autor

3.3- Sistematização, tratamento e análise de dados

Após o mapeamento em campo, os dados foram plotados no *software* QGis (versão *Desktop* 13.16.11) sobre o Mapa Geológico Folha Araxá – SE.23-Y-C-VI (CODEMIG-2015) apresentado no apêndice C. Para a construção dos mapas os pontos e dados estruturais foram sistematizados em planilhas Excel, sendo executada uma planilha para cada afloramento e uma contendo um conjunto de todos os dados.

Para o tratamento dos dados utilizou-se o programa *Dips*, da empresa *Rocscience*, sendo possível, a partir da importação das planilhas, obter estereogramas e diagramas de rosetas das fraturas e foliações mapeadas.

O diagrama de rosetas apresenta as direções do fraturamento, e os estereogramas fornecem os polos das fraturas, indicando a direção do mergulho (*dip direction*) e o valor do mergulho (*dip*).

Por fim, os diagramas de rosetas e estereogramas foram plotados nos mapas usando-se o *software QGis*. Os dados de cada afloramento e a sua integração em mapas permitiram uma análise dos padrões de fraturamento e de atitude de foliações e diques.

3.4- Comparação dos dados levantados com dados da bibliografia

Após o levantamento e tratamento dos dados de campo, os resultados obtidos foram comparados com dados levantados por outros autores. O trabalho mais antigo é o de Silva (2003) que desenvolveu uma Tese de Doutorado na qual apresentou um mapa de foliações. Estas foliações regionais, em geral com mergulhos suaves, podem ser comparadas com as foliações obtidas nas proximidades do CAT e que possuem mergulhos mais acentuados para se modelar o arqueamento que gerou a estrutura dômica. Pires (2005) realizou o mapeamento litoestrutural das encaixantes do CAT no âmbito de um Trabalho de Formatura. Ele analisou tanto as foliações quanto as fraturas e seus resultados também foram utilizados nesta dissertação.

Por fim, em 2019, foi realizado um levantamento estrutural de parte da mina de fosfato de Tapira por alunos do Curso de Engenharia de Minas do CEFET-MG, cujos resultados estão em um relatório interno da Mosaic Fertilizantes S.A. Os dados deste levantamento são interessantes, pois permitiram a comparação das estruturas rúpteis internas do CAT com as externas.

4 - RESULTADOS

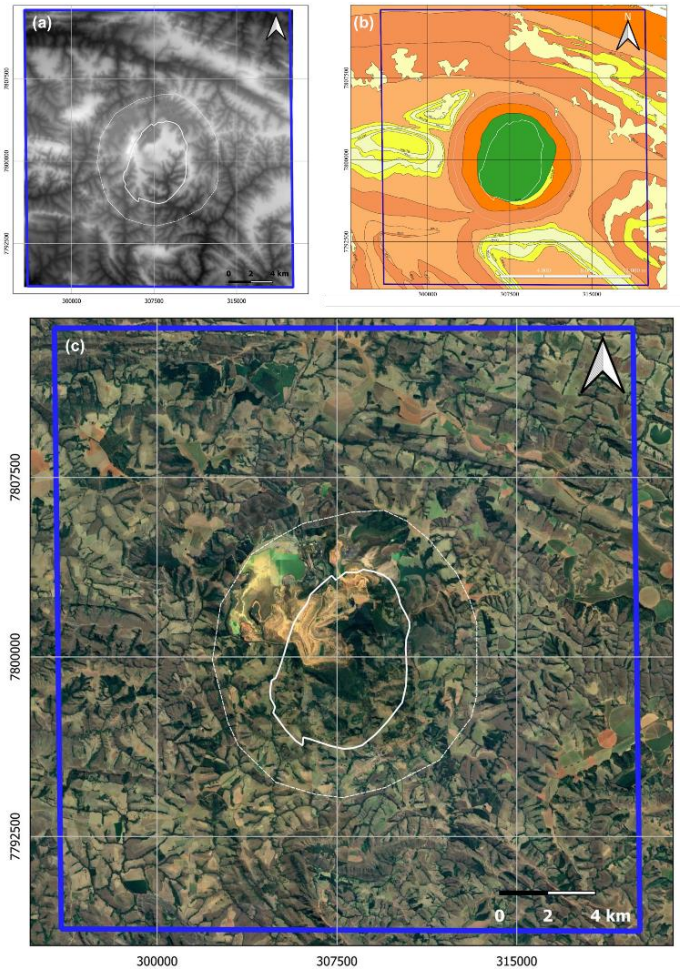
Os resultados obtidos foram tratados de forma separada quanto ao método de entrada, podendo ser de sensoriamento remoto ou coletados em campo (fraturas, foliações, superfícies

de acamamento e diques). Para o tratamento dos dados criou-se estereogramas e diagramas de rosetas, sendo os resultados obtidos apresentados a seguir.

4.1 - Deformação dúctil – estrutura dômica

O Complexo Alcalino-Carbonatítico de Tapira é uma intrusão ígnea cujo relevo associado é estruturado em uma forma semicircular (elíptica) claramente observada em produtos de sensoriamento remoto orbital, destacando-se proeminentemente através de sua forma típica, em especial nas bordas das rochas encaixantes diretamente influenciadas pela intrusão (Fig. 21). As características da intrusão do CAT permitem caracterizá-la como uma intrusão dômica cujo magma não ascendeu até a superfície terrestre.

Figura 21 - (a) Imagem do relevo sombreado (b) mapa geológico da área (c) imagem de satélite, com delimitação da área utilizada na determinação dos lineamentos, limite da intrusão e entorno das rochas encaixantes diretamente influenciadas pela intrusão.



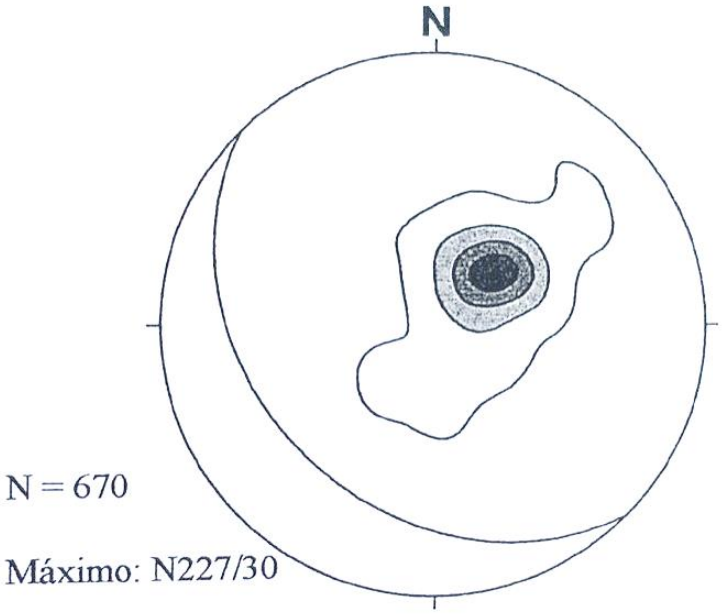
Fonte: Adaptado de (a) SRTM, (b) Mapa geológico Folha Araxá e (c) *Google Earth Pro*

4.1.1 Fases de deformação e a foliação regional das encaixantes

Para avaliar os efeitos deformacionais nas rochas encaixantes ocasionados pela intrusão do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Tapira utilizou-se como base o reconhecimento das fases deformacionais das estruturas geradas na evolução da Faixa Brasília por Silva (2003). Segundo o autor, a área estudada tem a foliação S4 reconhecida em praticamente todos os afloramentos e se encontra paralela ao bandamento composicional (S0).

Silva (2003) definiu que regionalmente a foliação S4 possui uma atitude preferencial de 227/30, que pode ser observada no estereograma apresentado para uma área mais abrangente em torno do domo de Tapira (Fig. 22).

Figura 22 - Estereograma da foliação S4 para a região do entorno de Tapira-MG. O traço ciclográfico traz a atitude dos máximos estatísticos.



Fonte: Silva (2003)

4.1.2 Foliação das encaixantes nas proximidades do CAT

Em cada ponto do mapeamento foi medida a foliação Sn (S4 de Silva, 2003) da rocha encaixante e as superfícies de acamamento S0 quando presentes, sendo possível elaborar o mapa de foliações apresentado na fig. 24.

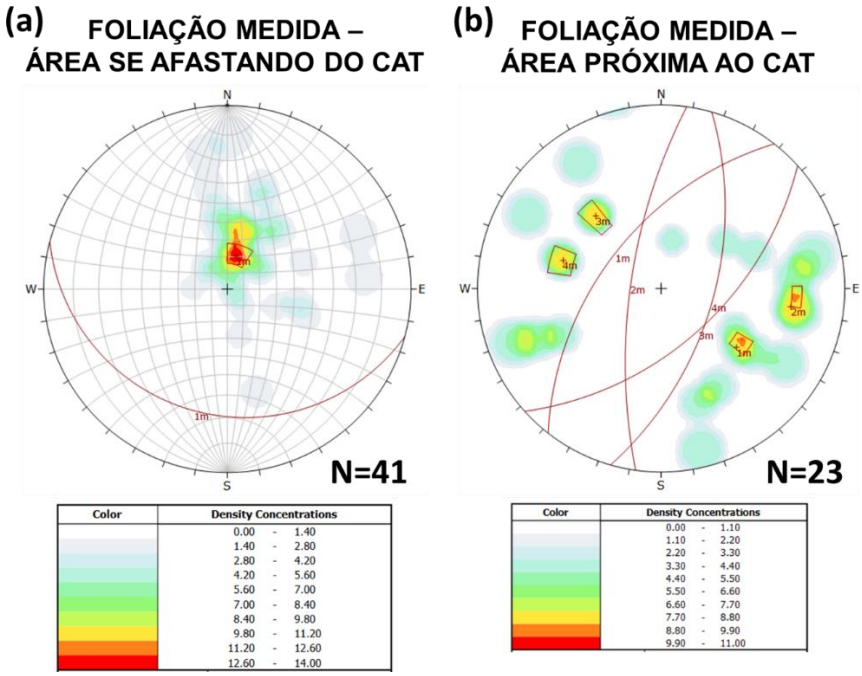
A partir deste mapa foi inserida uma linha propondo uma divisão para análise da foliação, dividindo-a em área próxima e em áreas se afastando do CAT. As foliações de cada área foram analisadas a partir dos estereogramas apresentados junto ao mapa.

A foliação medida nas áreas se afastando do CAT tem um padrão regional que é sub-horizontal, mergulhando de forma suave para SW, conforme estereograma da foliação medida da área se afastando do CAT (Fig. 23a). Esse resultado é coerente e semelhante à atitude preferencial 227/30 (Sn da área) da foliação S4 definida regionalmente por Silva (2003).

Ao se aproximar da intrusão, o mergulho da foliação principal tende a aumentar chegando a ser sub-vertical, com atitudes destes planos variando radialmente seguindo a mesma conformação da borda da intrusão, sendo os mergulhos especialmente para o lado oposto do CAT. Na cidade de Tapira, na borda do CAT, observou-se foliação mergulhando contra o CAT, possivelmente devido a uma inversão do mergulho da foliação durante a intrusão.

O padrão anelar das atitudes fica bem evidente na análise do estereograma da foliação medida na área próxima ao CAT, onde se observa uma dispersão de polos em todas as direções preenchendo bem a área do estereograma, e mergulhos variando de alto a baixo ângulo (Fig. 23b). A confirmação do padrão anelar seria esperada para uma intrusão posterior à geração desses planos, comprovando a influência da intrusão nas rochas encaixantes.

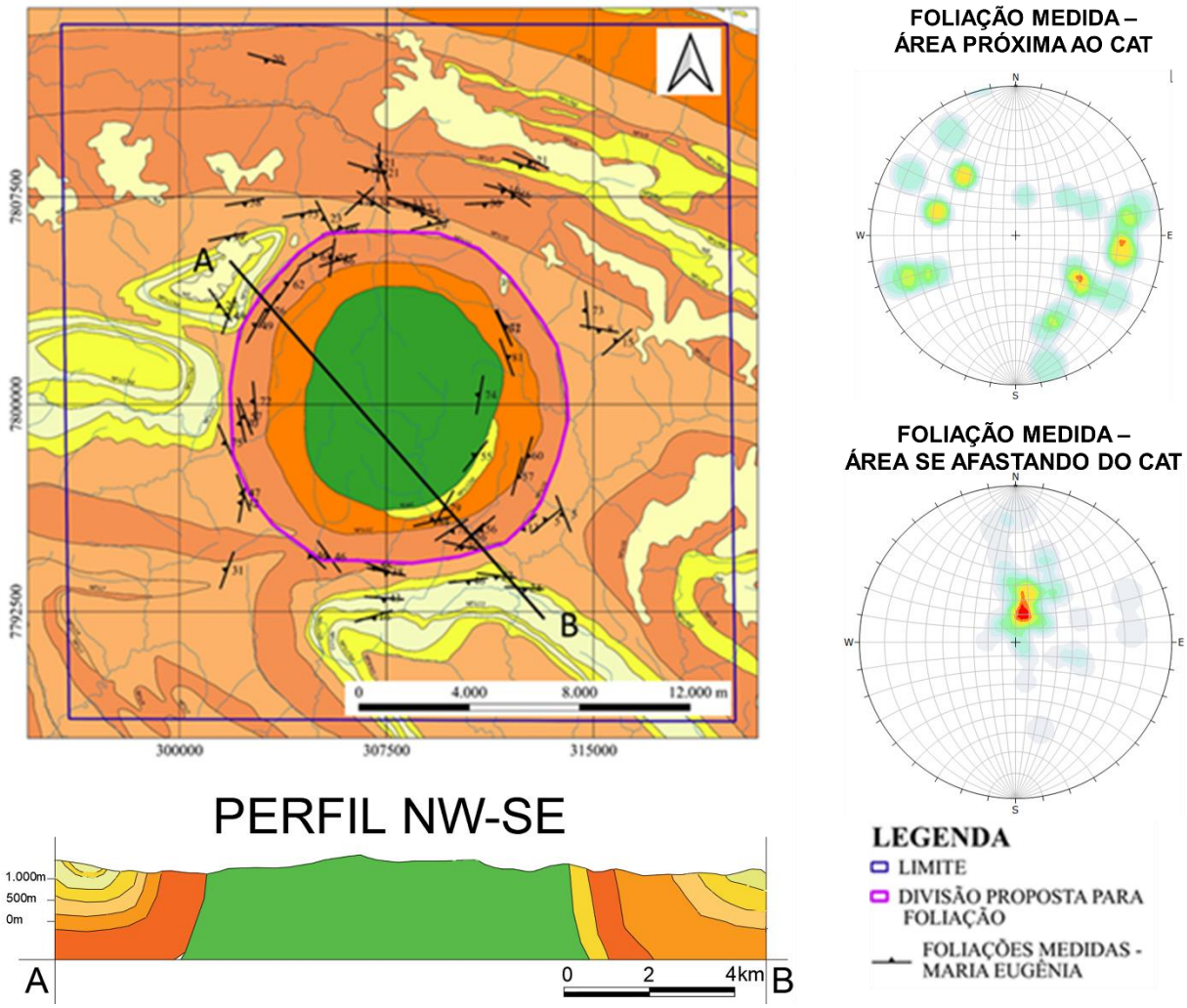
Figura 23 - Estereograma das foliações medidas em campo.



Fonte: Próprio autor

A variação de Sn em todas as direções é justificada pela forma anelar do domo, comprovando assim a influência da intrusão nas rochas encaixantes. Esse padrão anelar é visível no mapa das foliações medidas durante o estudo, conforme fig.24.

Figura 24 - Mapa resultado das foliações medidas em campo sobre o mapa geológico (Seer *et. al*, 2015)



Fonte: Próprio autor

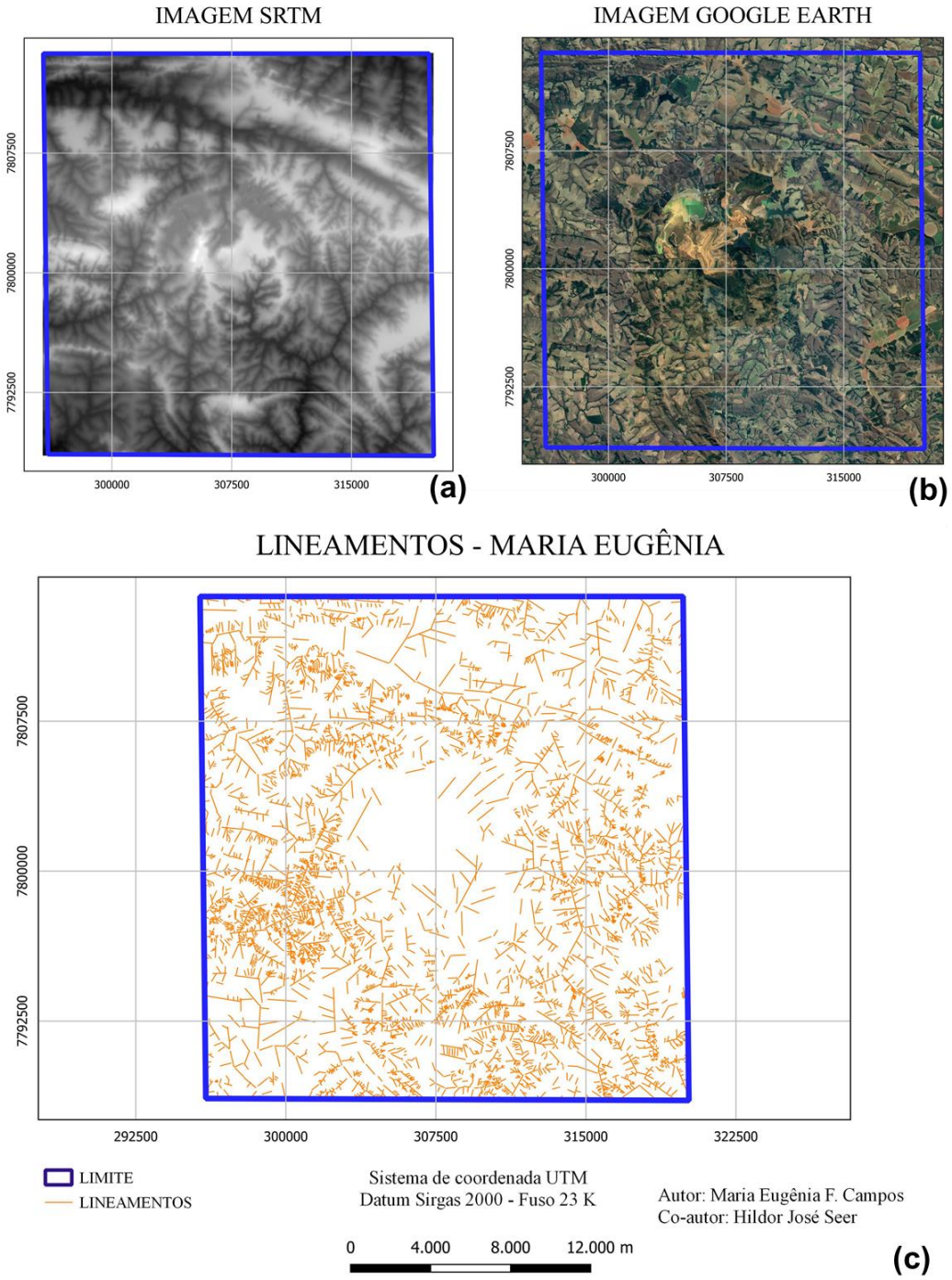
4.2 Deformação Rúptil

Para conhecer a história da deformação rúptil decorrente da intrusão do CAT foram estudadas as estruturas rúpteis através de extração e interpretação de fotolineamentos e a partir de levantamento estrutural de afloramentos.

4.2.1 Lineamentos estruturais

Com o auxílio do programa QGIS e imagens do SRTM e *Google Earth*, foram identificados 3.654 fotolineamentos (Fig. 25).

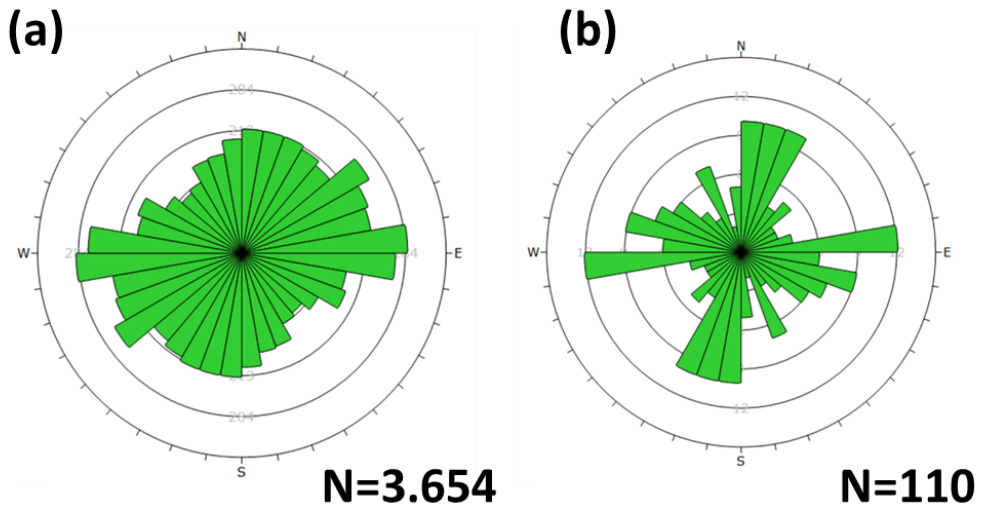
Figura 25: Fotolineamentos (c) identificados a partir de dados SRTM (a) e de Imagem de satélite Landsat 8 (Google Earth) (b).



Fonte: Próprio autor

A partir dos lineamentos obtidos gerou-se o diagrama de roseta dos lineamentos traçados manualmente, que traz como resultado que as principais direções de fotolineamentos regionais têm direção NNE-SSW e W-E. Esse padrão é melhor visualizado no diagrama obtido apenas com as fraturas de maior persistência (acima de 1km).

Figura 26: (a) Diagrama de roseta de todos os lineamentos identificados. (b) diagrama de roseta dos lineamentos com persistência maior que 1km.



Fonte: Próprio autor

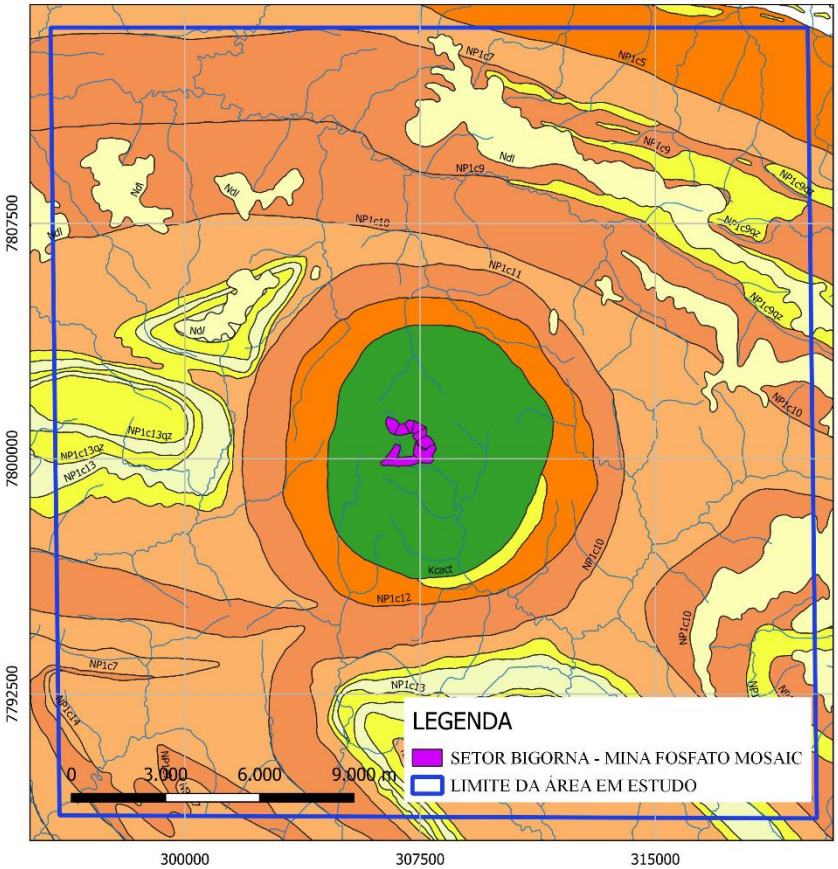
4.2.2 Fraturamento

Durante o mapeamento em campo foram medidas as fraturas observadas em afloramentos, sendo em sua maioria juntas, e mais raramente, falhas normais e de empurrão. Também foram observadas fraturas de origem hidráulica associadas à fenitização e fraturas que permitiram o alojamento de diques.

4.2.3 Fraturamento no interior do CAT

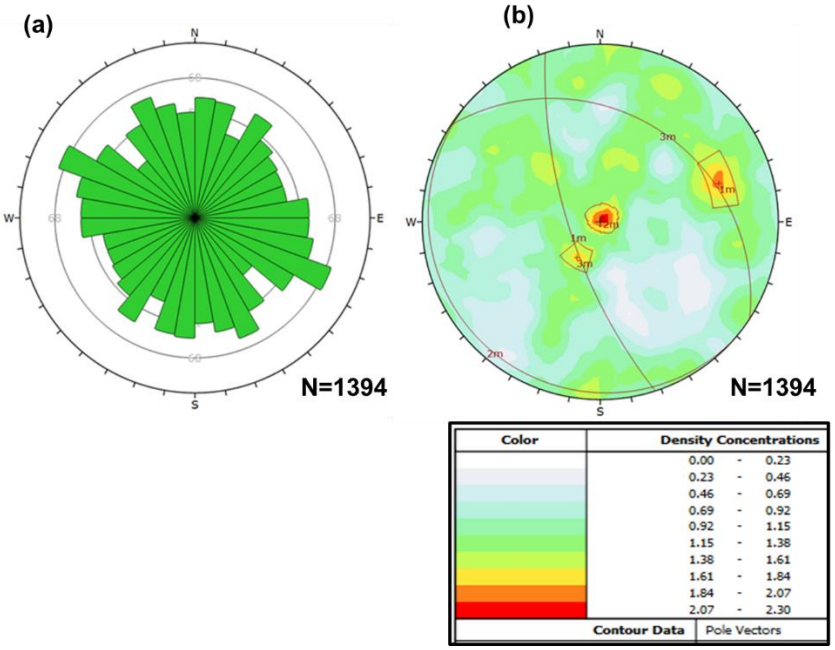
No mapeamento estrutural realizado por Oliveira *et al.* (2019) no interior da mina de fosfato no CAT, mais especificamente no setor conhecido como Bigorna, foram destacados dois padrões de fraturamento. O primeiro apresenta uma direção N-S com ângulo de mergulho de 70º para W e o segundo padrão apresenta direção E-W, com mergulho subhorizontalizado. Esse padrão de fraturas é semelhante ao padrão obtido por Silva (2003) no mapeamento regional de Tapira.

Figura 27: Localização do setor bigorna da mina de fosfato da empresa Mosaic em Tapira.



Fonte: Próprio autor

Figura 28 - (a) Diagrama de rosetas geral e (b) estereograma destacando as principais famílias de fraturamento da área mapeada na Bigorna, no CAT.



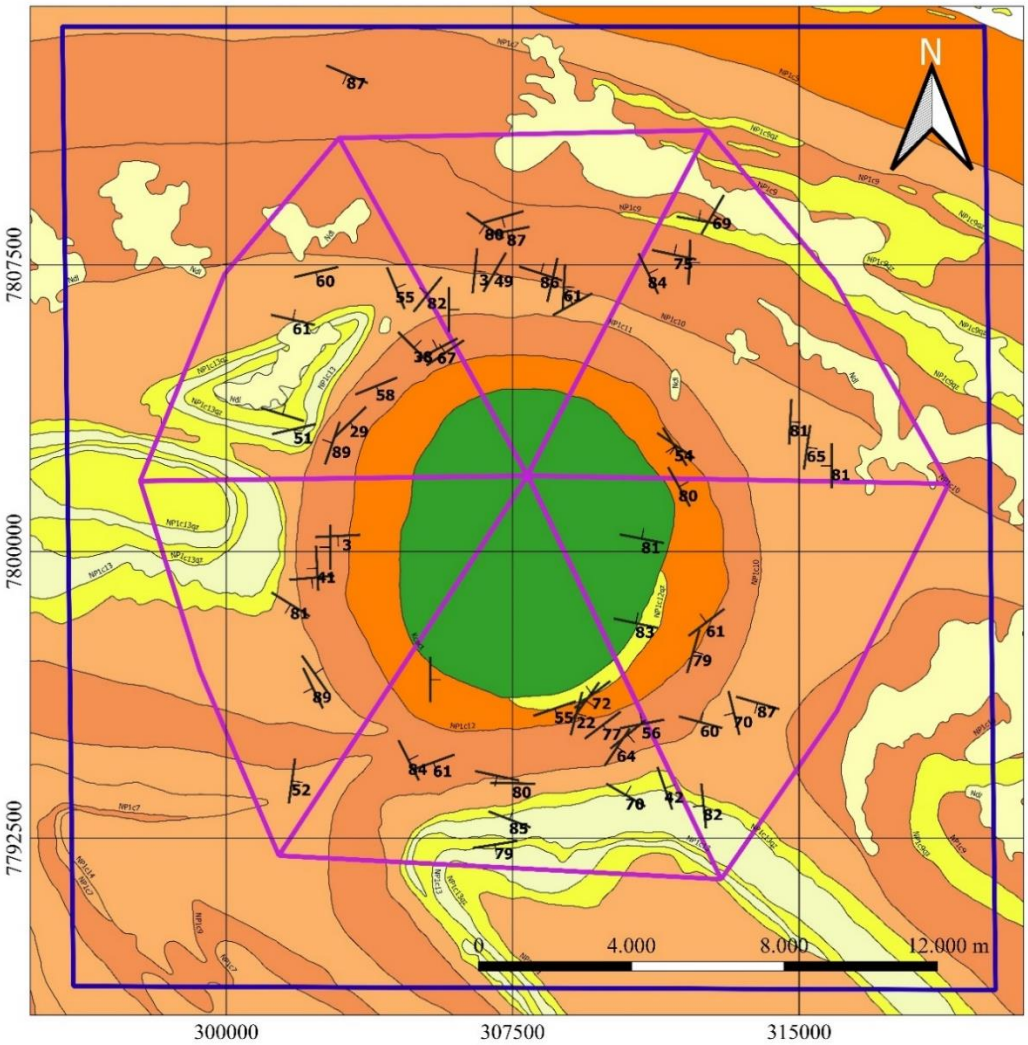
Fonte: Oliveira *et al.* (2019)

4.2.4 Fraturamento no entorno do CAT

Ao longo dos 60 pontos de afloramentos mapeados foram coletados um total de 1.347 medidas de fraturas no entorno do CAT. Como resultado inicial, foi gerado um mapa estrutural dos principais fraturamentos, destacando a direção e o mergulho da estrutura coletada (Fig. 29).

Durante o mapeamento foram observadas predominantemente fraturas do tipo juntas, não havendo ocorrências de falhas e de indicadores de cinemática, que pode ser justificado pelas características reológicas das rochas, e do alto grau de intemperismo a qual as rochas se encontram. A área mapeada foi arbitrariamente dividida em 6 regiões (N/NE/SE/S/SW/NW) e com a utilização do *software Dips* foi possível gerar as rosetas e diagramas de cada região e confeccionar os mapas ilustrando a geometria e estatísticas de cada região.

Figura 29 - Mapa com as fraturas medidas.



Fonte: Próprio autor

Na região N observa-se como principais famílias de fraturas as de direções N-S, NNE-SSW e NNW-SSE. Na porção NE, se destacam as famílias NW-SE e W-E, padrão este que se repete na porção SE.

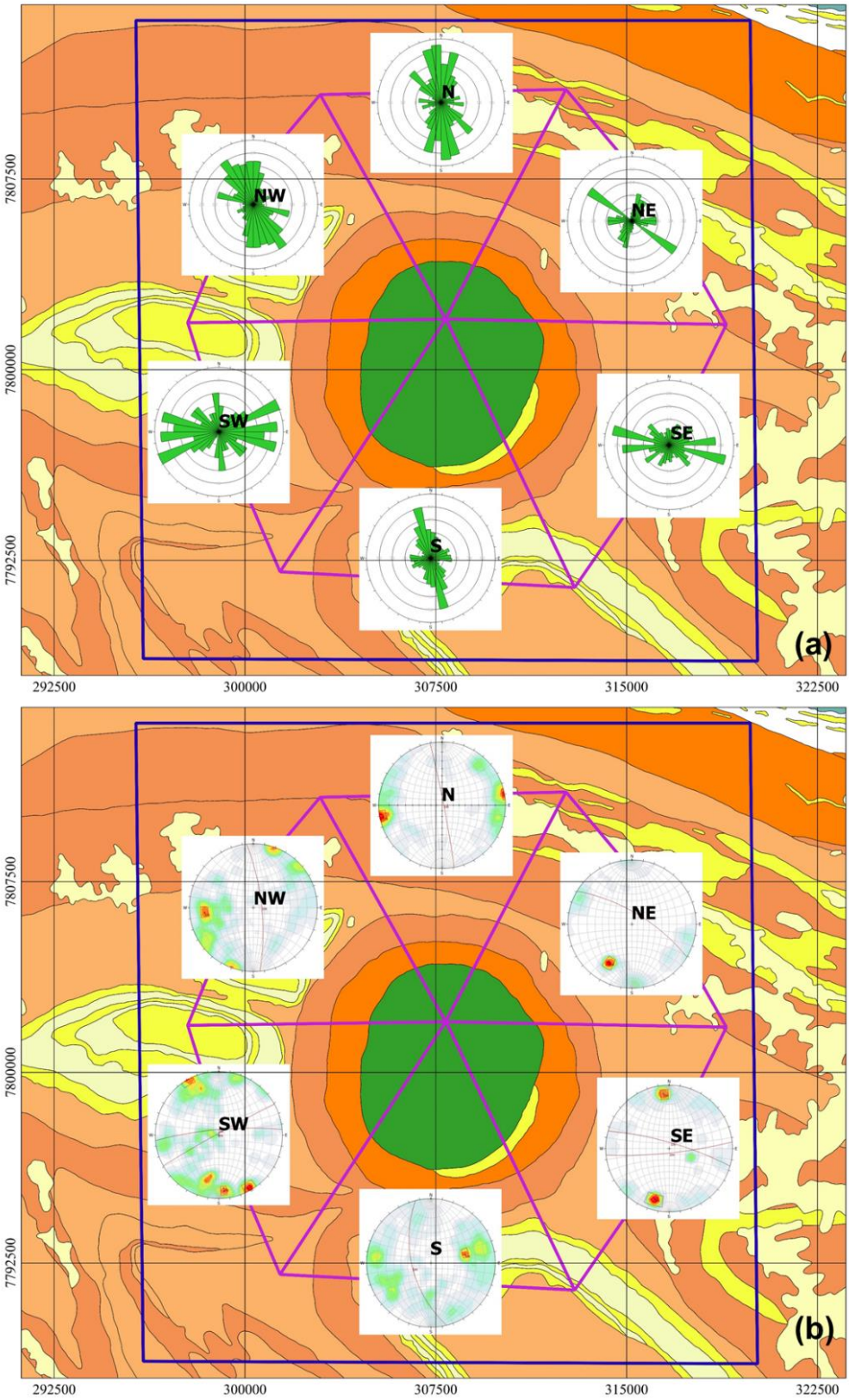
Na região S, as principais famílias são NW-SE, se destacando também um conjunto de famílias na direção W-E. Na porção SW, temos NE-SW, W-E E N-S como direções mais marcantes das famílias de fraturas. Na região NW predominam as famílias de fraturas NW-SE e os diques observados nesse setor tem orientação NE-SW e NW-SE. O mapa com os diagramas de roseta destaca as direções principais das famílias de fraturas nos afloramentos, onde observa-se a predominância de NNE e WNW (Fig. 30).

Pelo mapa de fraturas com diagramas de rosetas é perceptível que uma das principais famílias de fratura tem o comportamento de padrão radial (perpendicular à intrusão) e outra família com padrão anelar aproximadamente paralelo à intrusão. A geração destas famílias pode ser creditada ao processo de intrusão.

Os padrões NNE e WNW são semelhantes aos padrões dos lineamentos regionais obtidos através do sensoriamento remoto indicando se tratar de padrões regionais anteriores ao CAT. A intrusão possivelmente reativou estes lineamentos.

Os dados obtidos sugerem que o corpo intrusivo se aproveitou das zonas de fraqueza dos lineamentos pré-existentes exercendo um grande esforço ascendente, basculando as rochas encaixantes. Trata-se de um processo que ocorreu de forma dúctil e rúptil, onde os fraturamentos já existentes se reativaram para aliviar a tensão do magma em ascensão.

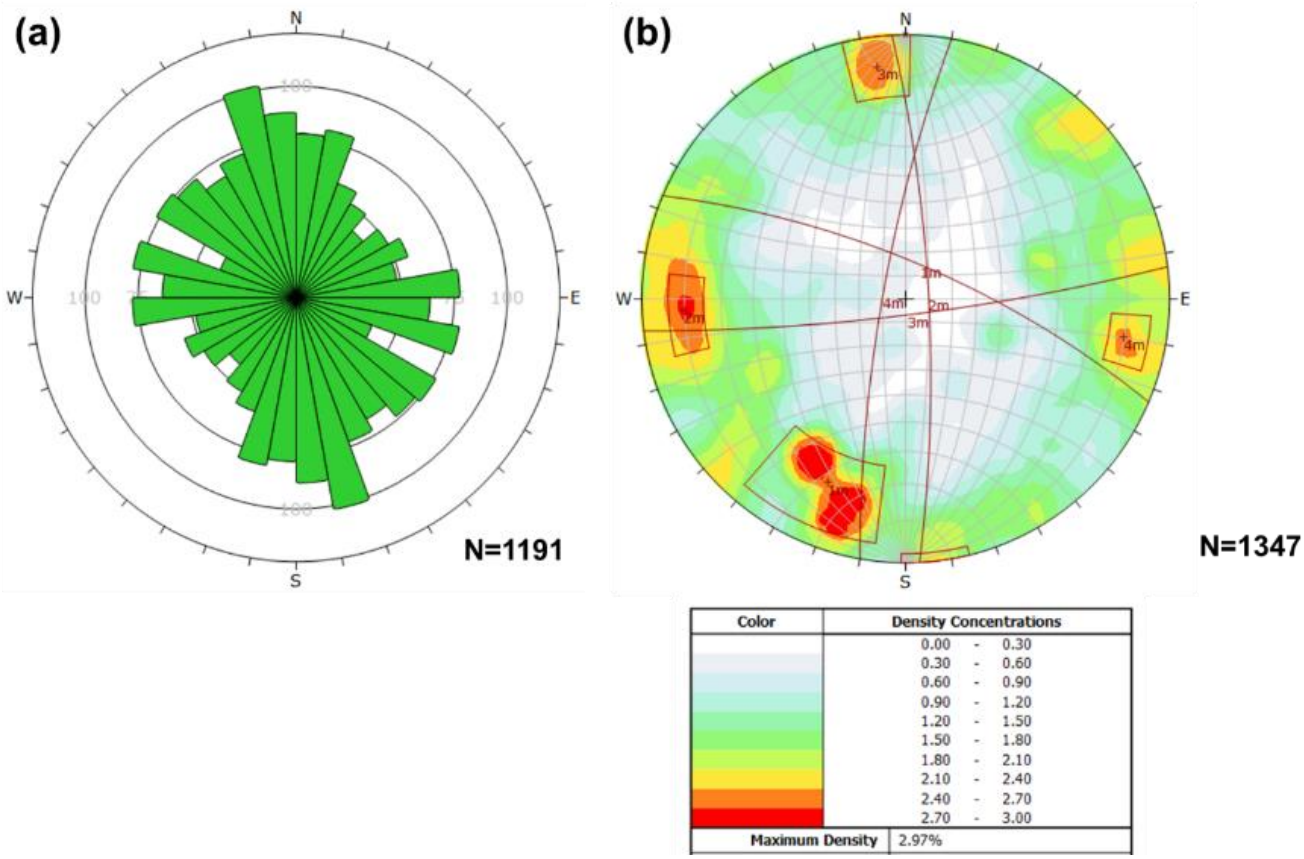
Figura 30 - (a) Diagramas de rosetas e (b)estereogramas das fraturas divididos em setores.



Fonte: Próprio autor

Todos os dados de fraturamento coletados em campo foram também analisados de forma conjunta, permitindo-se ter uma noção regional do fraturamento, e comparar com os dados obtidos no sensoriamento remoto. O diagrama de rosetas indica que as principais famílias de fraturas têm direção NW-SE e W-E e mergulhos bastante verticalizados para todos os quadrantes (Fig. 31).

Figura 31 - (a) Estereograma e (b) diagrama de roseta das fraturas totais.



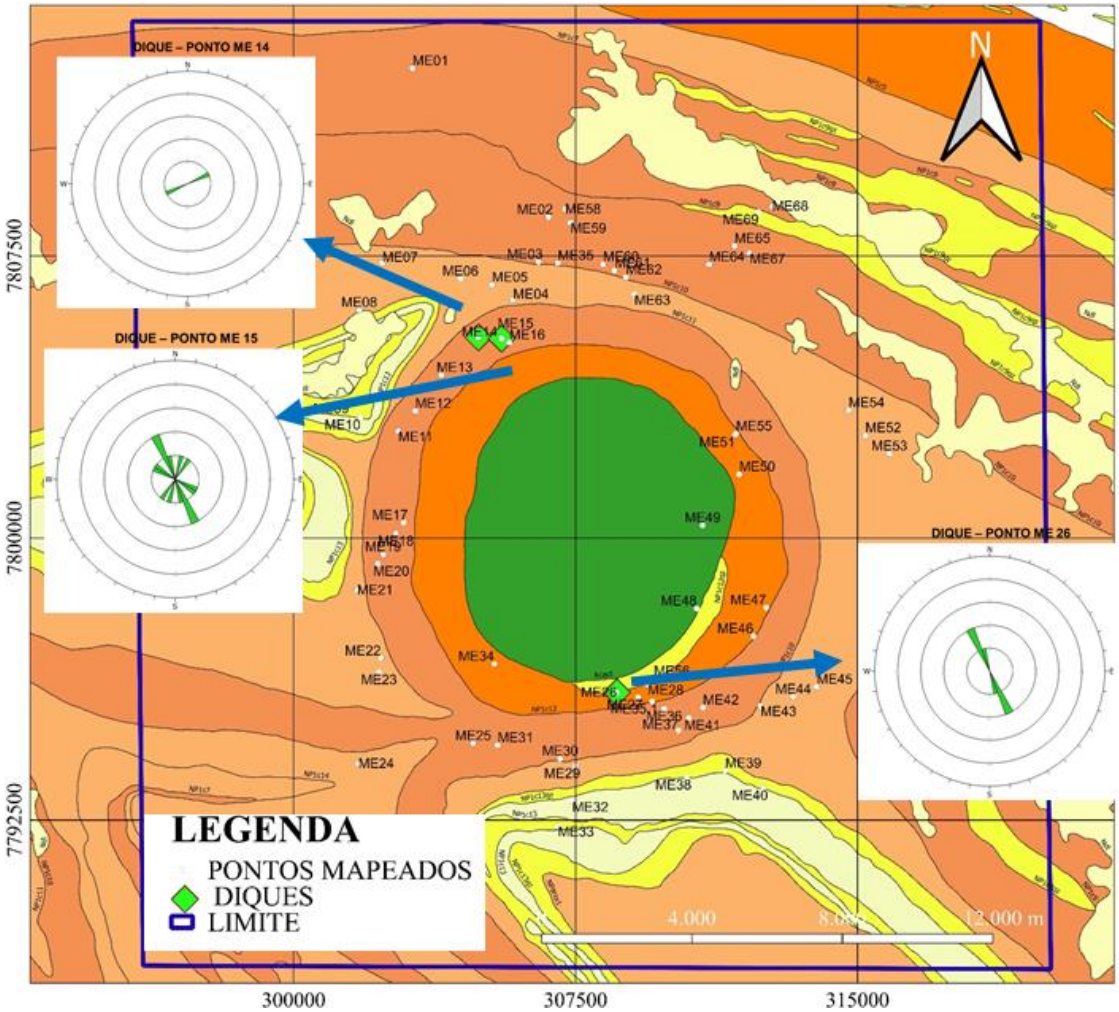
Fonte: Próprio autor

4.2.5 Alojamento de diques e fenitização

Dentre os pontos mapeados, merecem destaque o ME14 e ME15 localizados na borda NW do CAT e ME26 na porção sul da borda onde, além das fraturas, foram observadas ocorrências de diques. São pontos de afloramento de granada-grafita xisto com intercalações de quartzito observado nos taludes da BR-146 próximo à entrada para a portaria principal da

empresa Mosaic Fertilizantes S.A. Trata-se de pontos muito importantes do mapeamento devido às estruturas mapeadas.

Figura 32 - Mapa destacando os locais de ocorrência de diques no entorno do CAT.



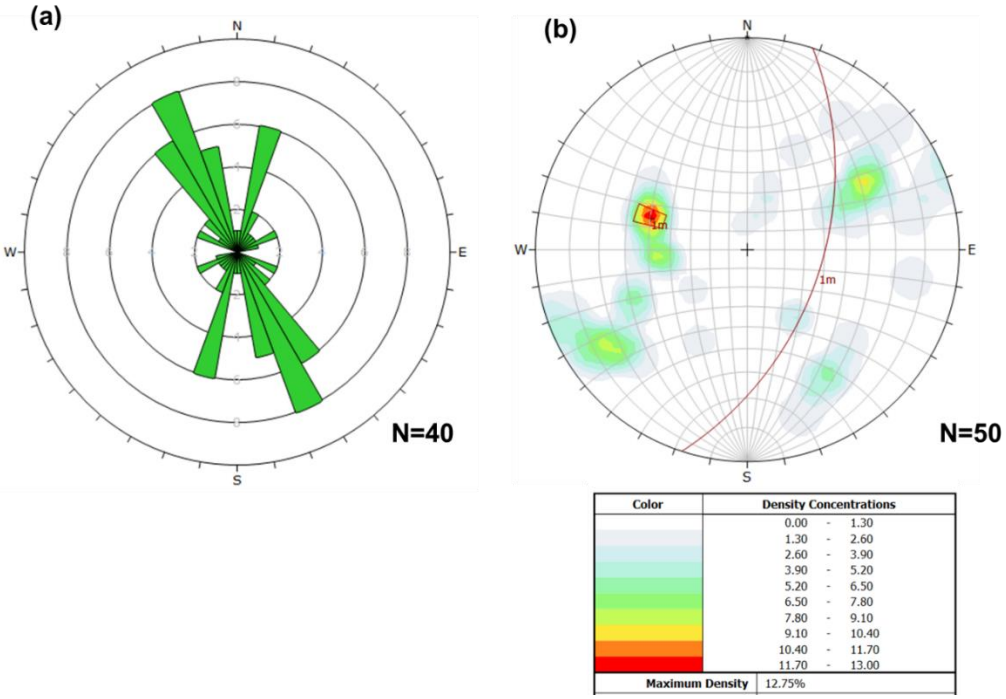
Fonte: Próprio autor

No ponto ME14 foi identificado um *sill* de kamafugito com atitude 336/72 de 40cm de espessura e persistência maior que 10m, ocorrendo paralelo à foliação e discordante das fraturas.

No ponto ME15 foram observadas ocorrências de diques com espessuras decimétricas de kamafugito (atitudes 215/73, 064/62, 125/57), *sill* de sienito (206/55) e fraturas preenchidas por feldspato no processo de fenitização. As bordas do *sill* apresentam reação com a rocha encaixante.

As fraturas da rocha encaixante têm direção preferencial NW-SE e mergulho para SW. Já as fraturas internas do dique têm atitudes NNW-SSE e mergulhos para NE.

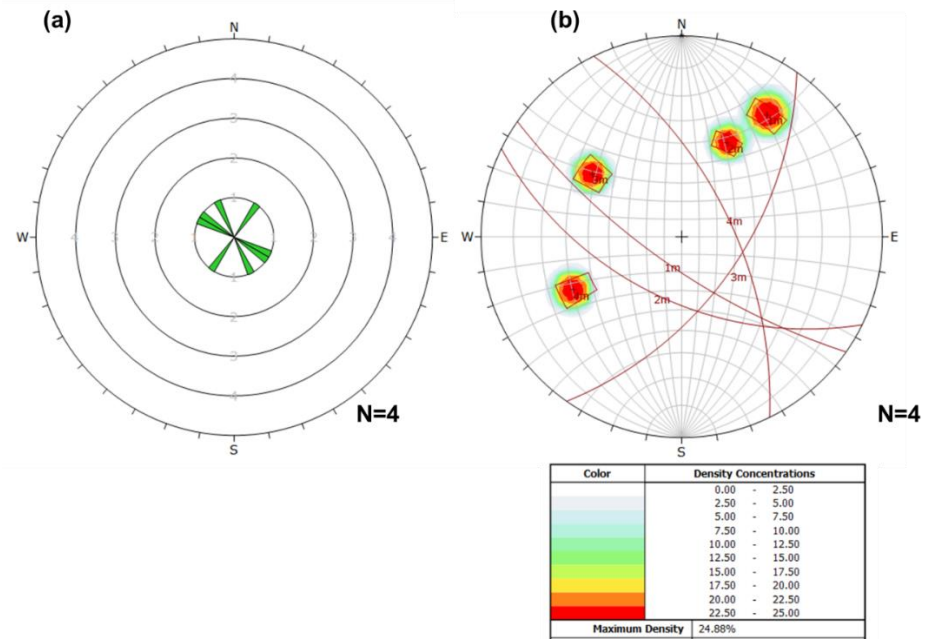
Figura 33 - Estereograma e diagrama de roseta de fraturas da encaixante no ponto ME15.



Fonte: Próprio autor

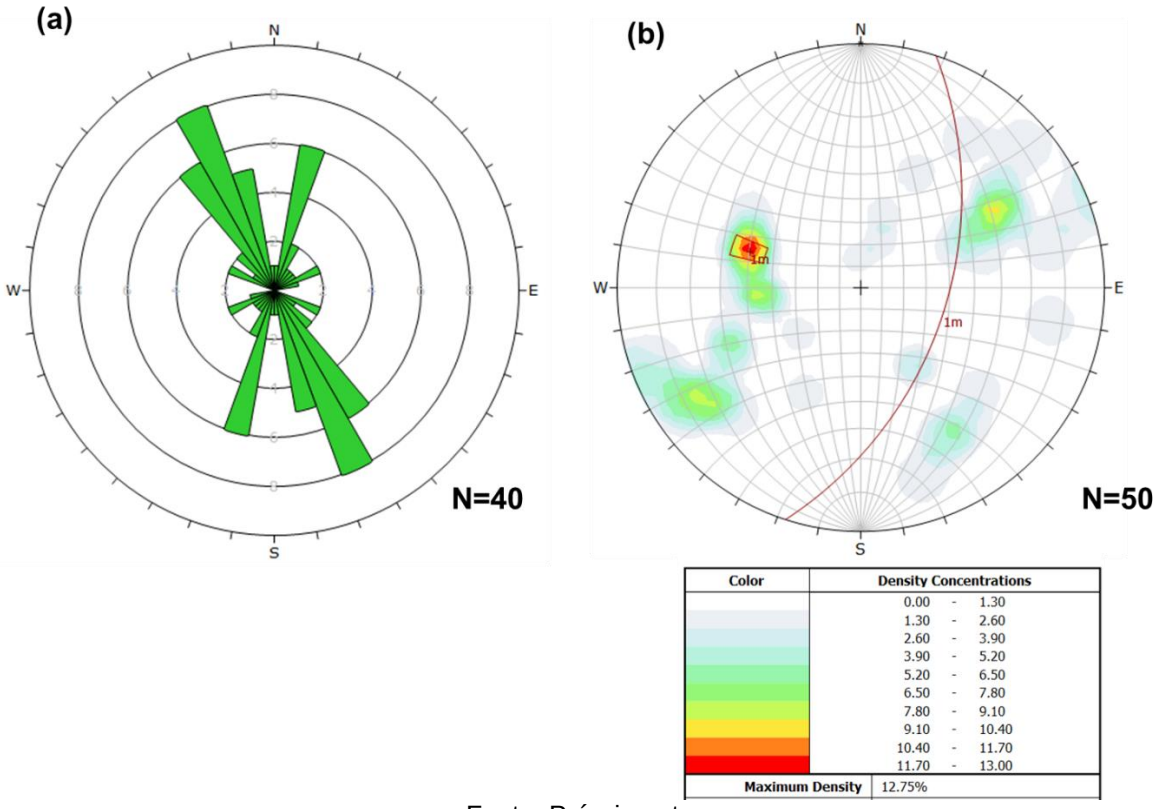
Dos 4 diques mapeados no ponto ME15, 3 tem direção NW, e um tem direção NE, sendo paralelos às principais famílias de fraturas observadas na rocha encaixante no local. Observa-se que a intrusão de sienito (*sill*) é paralela à foliação da encaixante (278/71).

Figura 34 - Estereograma e diagrama de roseta dos diques mapeados no ponto ME15.



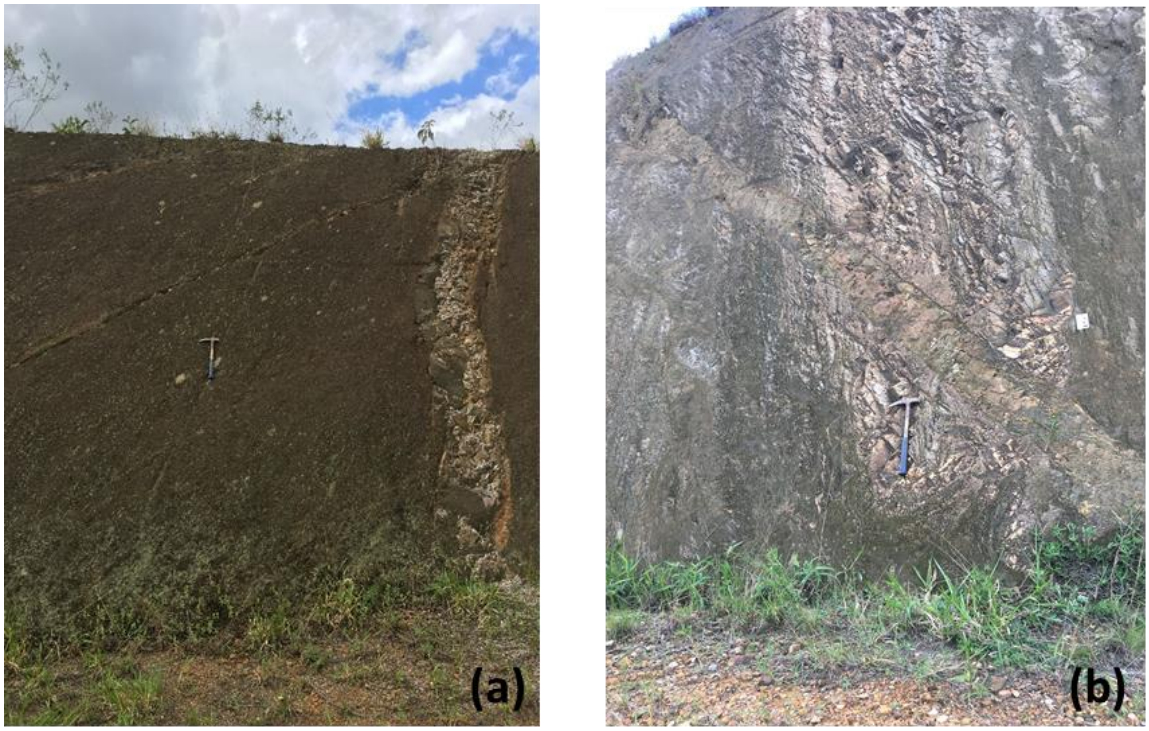
Fonte: Próprio autor

Figura 35 - Estereograma e diagrama de roseta das fraturas internas do dique de sienito.



Fonte: Próprio autor

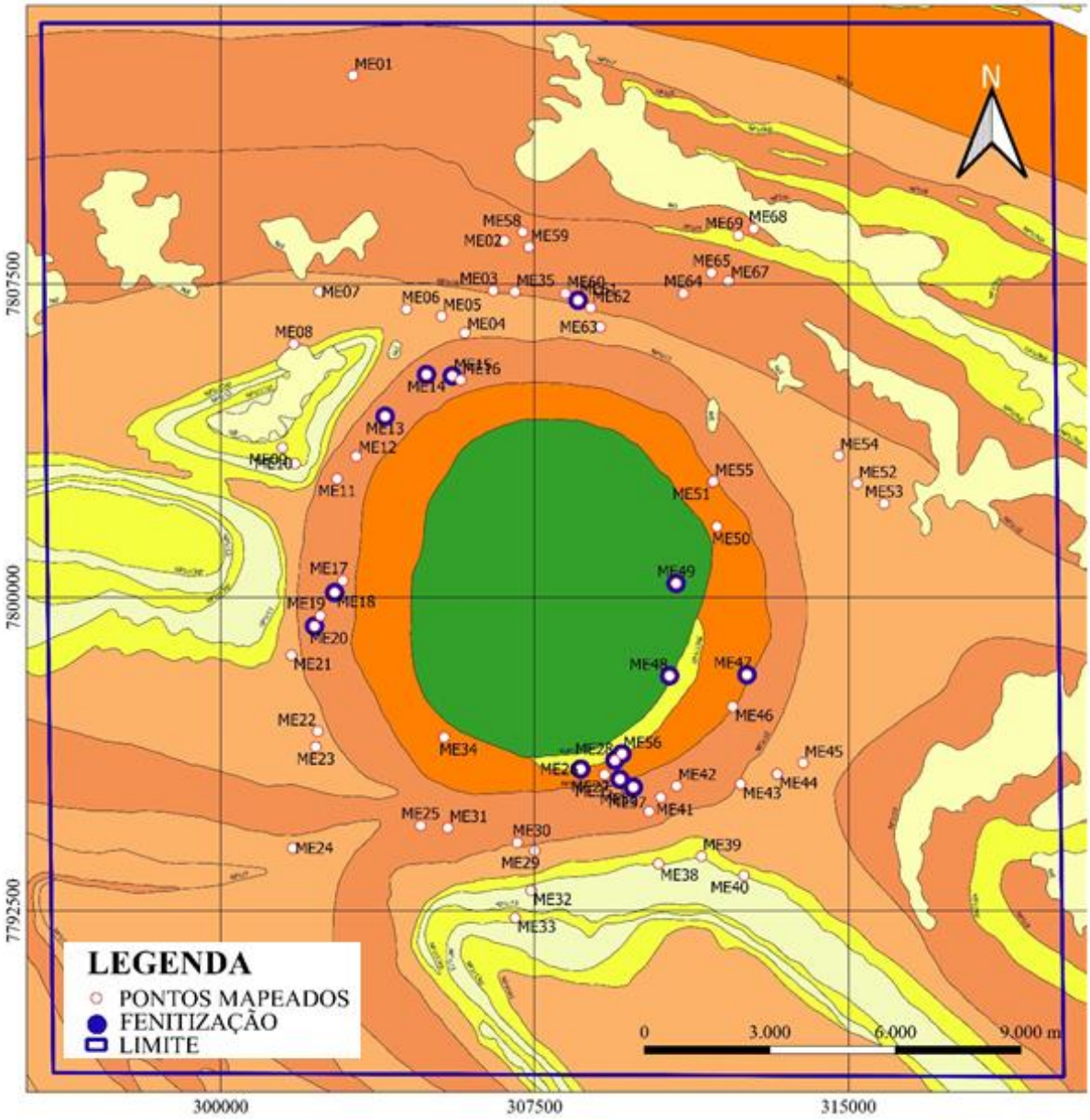
Figura 36 - (a) Dique de kamafugito e à esquerda fratura mais recente com persistência maior que 10m. (b) dique de sienito observado no ponto ME15.



Fonte: Próprio autor

Aproximando-se do contato com a intrusão, especialmente nos setores WNE e SE, há ocorrências de fraturas preenchidas por feldspato. São evidências de processo metassomático de fenitização na rocha encaixante da borda do CAT (fig. 37 e 38).

Figura 37 - Locais onde ocorre fenitização das rochas encaixantes



Fonte: Próprio autor

Figura 38 - (a) Detalhe da ocorrência de feldspato formado por fenitização no ponto ME13 e (b) Muscovita xisto com vênulas de feldspato da fenitização no ponto ME18.

Fonte: Próprio autor

Próximo dos pontos de ocorrência de fenitização a rocha encaixante encontra-se extremamente fraturada, indicando que a intrusão do fluído provocou um fraturamento hidráulico na rocha encaixante (Fig. 39). O ponto ME47 é um exemplo de locais onde a rocha encaixante (quartzito) encontra-se muito fraturada, indicando uma possível ocorrência de fraturamento hidráulico.

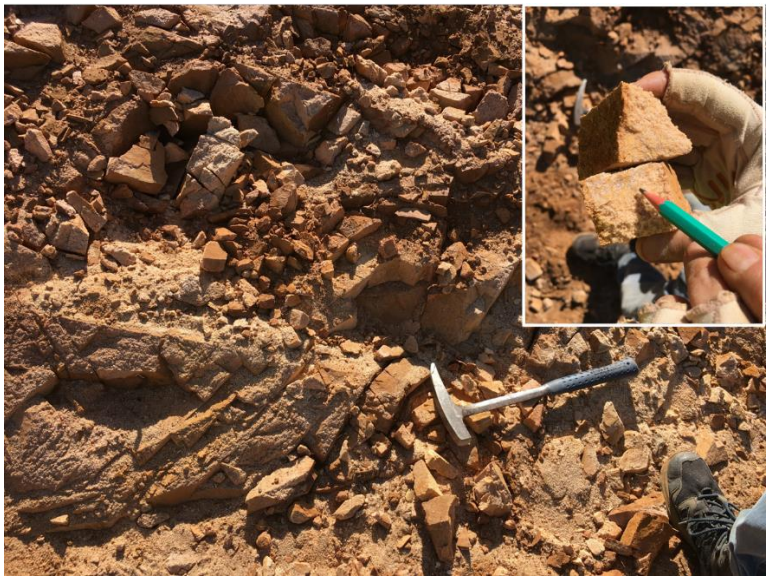
Figura 39 - Afloramento do ponto ME47 com ocorrência de quartzito muito fraturado.

Fonte: Próprio autor

O ponto ME49 foi mapeado como piroxenito (Mapa Geológico da Folha Araxá, CODEMIG, 2015). No entanto, nos trabalhos de campo foi observada a ocorrência de quartzito

grosso bastante fraturado no local, possivelmente decorrente do fraturamento hidráulico, com sinais de recristalização entre os grãos (Fig. 40).

Figura 40 - Quartzito bastante fraturado com sinais de fenitização observado no ponto ME49.



Fonte: Próprio autor

4.2.6 Análise da deformação e correlações de dados

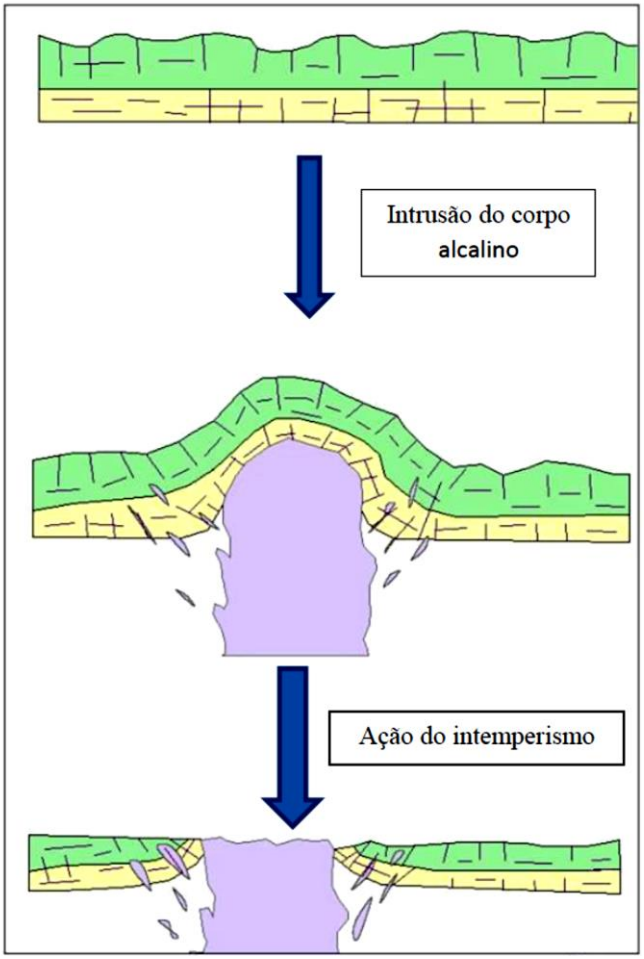
A Intrusão do CAT iniciou-se exercendo uma grande força ascendente que dobrou forçadamente (*forced folding*, por exemplo Magee *et al.*, 2017) as camadas de xisto e quartzitos do Grupo Canastra, criando uma elevação com forma de domo (Fig. 41).

Esse processo iniciou-se de forma dúctil, através do soerguimento da rocha encaixante, onde a foliação regional (Sn 227/30) foi fortemente arqueada nas proximidades do CAT, chegando a posições íngremes e distribuição espacial que configura uma estrutura dômica.

Ao mesmo tempo e sequencialmente houve deformação rúptil, que reativou os fraturamentos pré-existentes das rochas encaixantes e provocou novas fraturas, em especial anelares e radiais, de forma a aliviar a pressão da crosta, e permitiu a intrusão de diques e o fraturamento hidráulico.

Posteriormente, a estrutura dômica foi afetada pela ação do intemperismo e erosão, destruindo a elevação criada pela intrusão.

Figura 41 - Modelo simplificado da evolução de um domo.



Fonte: Borges, 2018

4.2.7 Análise dos lineamentos estruturais

Até o alojamento dos complexos alcalinos se imagina que houve uma longa história deformacional expressa pelo lineamento Az 125°, que se acredita ser sido transcorrente sinistral nos seus estágios iniciais e até o Cretáceo Inferior. A partir do Cretáceo Superior os lineamentos estruturais regionais refletem uma deformação por cisalhamento destral (Hasui *et al.* 2019) e decorre da movimentação para oeste da Placa Sul-Americana.

O diagrama de rosetas das fraturas medidas na área em estudo (Fig. 31) indica que as principais famílias de fraturas têm direção NW-SE e W-E refletindo o padrão das estruturas de deformação por cisalhamento destral regional, com $\sigma 1$ posicionado em SE-NW. Os diques mapeados no ponto ME 26 se alojam nesse sistema de fraturas, já o dique mapeado no ponto ME14 tem padrão NE-SW (fraturas Ridel tipo X). Os diques mapeados no ponto ME 15 apresentam preferencialmente o padrão NW-SE, mas também se observa diques no padrão NE-SW. Além disto, o CAT tem forma elíptica com eixo NNE o que sugere que a intrusão

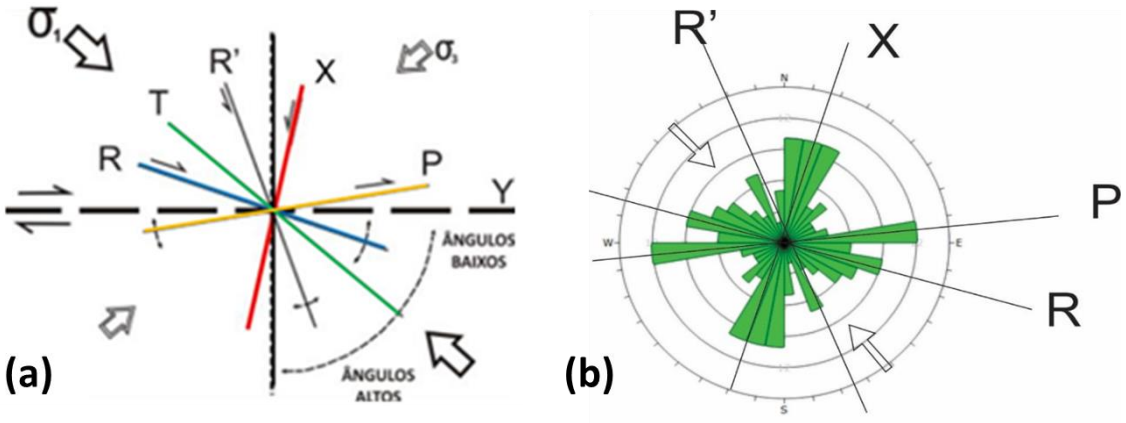
tenha se aproveitado de fraturas nesta posição do binário E-W destral regional, que correspondem ao tipo X de Riedel.

4.2.8 Estruturas rúpteis e seu contexto geodinâmico

Na área estudada são conhecidos três eventos geológicos que descrevem a história deformacional rúptil da área, um local e dois regionais. O primeiro é o Lineamento Azimute 125° (Az 125°) formado durante o Evento Orogênico Brasiliano (iniciado há cerca de 670 Ma) expresso por um conjunto de falhas regionais na direção NW-SE com cinemática sinistral até o Cretáceo Inferior. O segundo evento, ocorrido já no Cretáceo Superior, tem caráter local e é representado pela intrusão do CAT, que gerou o dobramento forçado e o fraturamento das rochas encaixantes em um padrão radial/anelar. Embora tenha expressão local, este evento se deu num contexto regional de deformação por cisalhamento destral decorrente da movimentação da placa Sul-Americana que atuou durante todo o Cretáceo Superior e ainda está ativo.

O caráter cinemático das estruturas rúpteis mapeadas e sua relação geométrica em alto ângulo permitem relacioná-las a fraturas sintéticas e antitéticas em um modelo compatível ao de desenvolvimento de fraturas de Riedel (Fig.41), com as falhas WNW-ESE atuando como estruturas R, as falhas NW-SE como estruturas R', as falhas NNE-SSW atuando como estruturas X, e as falhas ENE-WSW como estruturas P. Neste modelo o tensor principal σ1 se posiciona em SE-NW.

Figura 42 - (a) Interpretação das estruturas de deformação conforme o modelo de desenvolvimento de fraturas de Riedel (Petit, 1987), com o posicionamento dos tensores de tensão principais (σ1 e σ3). (b)Sistemas de fratura a partir do estereograma dos lineamentos identificados na região do CAT.



Fonte: Autor próprio

Localmente existem conjuntos de fraturas que apresentam um padrão geométrico caótico, em especial se aproximando do CAT, sendo possivelmente resultado de intenso fraturamento hidráulico.

A ocorrência de diques concordantes ao sistema de estruturas R' indica que se aproveitaram, localmente, de estruturas mais antigas de direção NW para a sua colocação.

Além de terem usado a direção NW, os magmas alcalinos também se alojaram em direções NNE (estrutura tipo X).

CONCLUSÕES

- A foliação metamórfica das rochas encaixantes apresenta mergulhos de baixo ângulo regionalmente, tornando-se mais íngreme, e mesmo subvertical, nas proximidades do CAT, configurando uma estrutura dômica alongada segundo NNE.

- O aporte do magma a partir do manto superior pode ter sido facilitado por reativação de alinhamentos regionais NW ativos desde o Pré-Cambriano. Mas o alojamento final do magma deu-se por dobramento forçado (*forced folding*), possivelmente ao longo de fraturas do tipo X de Riedel na direção NNE, num contexto de deformação regional por cisalhamento simples destral, induzido pela movimentação da Placa Sul-americana atuante desde o Cretáceo Superior.

- Os lineamentos regionais, extraídos de sensores remotos, apresentam padrão compatível com um binário cisalhante destral E-W, já descrito por diversos autores para o sul de Minas Gerais e São Paulo, e interpretado como resultante da movimentação para W da Placa Sul-americana.

- No entorno do CAT foram observadas fraturas radiais e anelares cuja origem pode estar ligada ao processo intrusivo. De qualquer modo, é muito difícil separar estas fraturas daquelas geradas num contexto mais regional.

- Em alguns afloramentos, especialmente quartzitos fenitizados nas proximidades do CAT observa-se padrões geométricos de fraturas bastante caótico, com famílias de

fraturas para todas as direções, sendo geradas possivelmente a partir de um intenso fraturamento hidráulico. O fraturamento hidráulico na rocha encaixante é confirmado pela presença de fenitização oriunda de ascensão de fluidos hidrotermais em especial na borda do CAT.

- As principais famílias de fraturas têm padrão NNW e W-E, sendo o padrão W-E semelhante ao padrão regional obtido através dos lineamentos, podendo corresponder a reativações de fraturas mais antigas.

- As fraturas presentes no interior do CAT formaram-se após a intrusão ígnea e refletem as condições gerais do binário E-W cisalhante destral que tem atuado na região desde o Cretáceo Superior.

- Os diques alojaram-se preferencialmente ao longo de fraturas tipo R’ e X também conformando-se ao modelo regional de deformação cisalhante destral.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.M. **Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-americana**. Revista Brasileira de Geociências, v. 13, n. 3, p. 139-158, 1983.

ARAÚJO, H. M; ANDRADE, A. C. S. **Geomorfologia Estrutural**. Centro de Educação Superior a Distância – UFS – São Cristóvão/ SE, 2011.

BARBOSA, E. S. R. **Mineralogia e petrologia do Complexo carbonatítico-foscorítico de Salitre, MG.** 2009. 258 f., Tese (Doutorado em Geologia), Universidade de Brasília. Brasília, 2009.

BORGES, M. E. **Estudo da deformação rúptil no Complexo Alcalino-carbonatítico de Salitre I.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, Araxá-MG, 2018.

BROD, J. A. **Petrology and geochemistry of the Tapira Alkaline Complex, Minas Gerais state, Brazil.** PhD Thesis. University of Durhan, UK, 1999.

BROD J.A., RIBEIRO C.C., GASPAR J.C., JUNQUEIRA-BROD T.C., BARBOSA E.S.R., RIFFEL B.F., SILVA J.F. DA, CHABAN N., FERRARI A.J.D. **Excursão 1 - Geologia e mineralizações dos complexos alcalino-carbonatíticos da Província Ígnea do Alto Paranaíba***. In:* 42º Congresso Brasileiro de Geologia. Araxá, *Guia das Excursões*, p. 1-29, 2004.

BROD, J.A.; JUNQUEIRA-BROD, T.C.; GASPAR, J.C.; PETRONOVIC, I.A.; VALENTE, S.C.; CORVAL, A. **Decoupling of paired elements crossover REE patterns and mirrored spider diagrams: Fringerpriting liquid immiscibility in the Tapira alcaline-carbonatite complex, SE Brazil.** Journal of South America Earth Science, v. 41, p. 41-56, 2013.

CAMPOS J.E.G. & DARDENNE M.A. **Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana.** Revista Brasileira de Geociências, 27: 283-294, 1997.

COMIN-CHIARAMONTI, P.; DE BARROS GOMES, C.; CUNDARI, A.; CASTORINA, F.; CENSI, P. **A review of carbonatitic magmatism in the Paraná–Angola–Etendeka system.** Geophysical Research Abstracts, v. 9, p. 11507, 2007.

CONCEIÇÃO, F. T., VASCONCELOS, P. M., CARRA, T. A., NAVARRO, G. R. B**. Avaliação da taxa de intemperismo na Bacia do Córrego da Mata, Minas Gerais, Brasil.** VI Seminário Latino Americano de Geografia Física, II Seminário Ibero Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2010.

DURLO, D. T. **Investigação de estruturas rúpteis em uma porção do Complexo granítico Caçapava do Sul e áreas adjacentes.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pampa. Caçapava do Sul-RS, 2016.

EBERHARDT, D. B. **Elementos-traços em minerais do Complexo Alcalino-carbonatítico de Tapira – MG.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasil, 2014.

FOSSEN, H. **Geologia Estrutural**. Tradução Fábio R. D. de Andrade. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2012.

GODOY L. H. **Geocronologia 40ar/39ar das rochas e evolução mineralógica e geoquímica do manto de intemperismo do Complexo Alcalino-carbonatítico de Tapira (MG).** Tese de Doutorado, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Câmpus de Rio Claro, 129p, 2015.

GONÇALVES, P; CARNEIRO, C. D.R. **Magmas e rochas ígneas: o estudo do calor interno da Terra.** Revista USP, São Paulo – SP, p 62-73, 2007.

GOOGLE EARTH PRO. Imagens de satélite. Acesso em: 15 de outubro de 2022.

GRASSO, C. A. **Petrologia do Complexo Alcalino-carbonatítico de Serra Negra, MG.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasil, 2010.

HANSEN D. M. & CARTWRIGHT J. 2006. **The three-dimensional geometry and growth of forced folds above saucer-shaped igneous sills**. Journal of Structural Geology 28: 1520-1535.

HASUI, y., SALAMUNI E., MOLARES, N. **Geologia estrutural aplicada**. ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2ª edição, 2019.

HERNANDEZ, E. A. **Espectroscopia de refletância e emissividade de rochas fosfáticas ígneas e sedimentares do centro-oeste do Brasil: estudos de caso nos depósitos de Catalão I (GO), Tapira (MG), Rocinha e Lagamar (MG)** – Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, SP,2013.

INPE. **Variáveis geomorfométricas locais**. Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil. São José dos Campos, 2008. Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> Acesso em: 07/01/2022.

LE BAS, M.J. **Carbonatite-nephelinite volcanism**. Bristol: Wiley, 1977, 347 p.

LITHOLDO, T. **Fluxo anual de cátions e ânions no Complexo Alcalino-carbonatítico de Tapira, Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP, 2013.

LUCIANO, R. L., GODOY, A. M. **Petrografia e geoquímica das rochas metacarbonatíticas do Complexo Angico dos Dias, divisa Bahia/Piauí, Brasil.** 2017. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 36, n. 4, p. 655 – 671, 2017.

MAGEE C., JACKSON C.A.L., HARDMAN J.P., REEVE, M.T. 2017. **Decoding sill emplacement and forced fold growth in the Exmouth Sub-basin, offshore northwest Australia: Implications for hydrocarbon exploration**. Interpretation, Vol. 5 (3): SK11– SK22. http://dx.doi.org/10.1190/INT-2016-0133.1.

MARTINS, J. A.; CASTRO, N. A.; CASTELO BRANCO, R. M. G. **A morfologia superficial da estrutura circular de São Miguel do Tapuio (Piauí-BR) e casos similares no território brasileiro.** São Paulo, UNESP, Geociências, v. 35, n. 2, p.183-202, 2016

MIRANDA, E. E. DE; (COORD.). **Brasil em Relevo.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em:11/01/2022.

MORAES, L.C. & SEER, H.J. **Pillow lavas and fluvio-lacustrine deposits in the northeast of Paraná Continental Magmatic Province, Brazil.** Journal of Volcanology and Geothermal Research, 355 78–86, 2018.

MORAES, L.C. & SEER, H.J. **Terras Raras**. *In:* Pedrosa Soares et al. (2018) Recursos Minerais de Minas Gerais, UFMG-CODEMIG, 2018. Disponível em http://recursomineralmg.codemge.com.br/wpcontent/uploads/2018/10/TerrasRaras.pdf. Acesso em:13/01/2022.

NOVAES, L. C. **Processos metalogenéticos associados a complexos alcalino-carbonatíticos da Província Ígnea Alto Parnaíba, sudeste brasileiro.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2018.

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. **Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms.** Geological Society American Bulletin, New York, v. 87, p.1463-1469, 1976.

OLIVEIRA, A. C. C., SIQUEIRA, L. M., DINIZ, L., BORGES, M. E. **Mapeamento estrutural e estudo geotécnico e hidrogeológico CMT.** Mosaic Fertilizantes e Fundação CEFET-Minas, 2019.

PINHEIRO, R. V. L. **Elementos de geologia estrutural**. MÓDULO I: Geologia Aplicada a Mineração. Universidade Federal do Pará. Belém-PA, 2015.

PIRES, C.H.B. **Levantamento litoestrutural das rochas encaixantes do Complexo Alcalino Tapira (MG)**. Trabalho de Formatura. Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2005.

REIS R. C. **Estudo da Estabilidade de Taludes da Mina de Tapira/MG.** Dissertação de Mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto-MG, 2010.

RIBEIRO C.C., BROD J.A., JUNQUEIRA-BROD T.C., GASPAR J.C., PALMIERI M., CORDEIRO P.F.O., TORRES M.G., C.B. GRASSO, BARBOSA E.S.R., BARBOSA P.A.R., FERRARI A.J.D., GOMIDE C.S. **Potencial e Controles Metalogenéticos de ETR, Ti e Nb em Províncias Alcalino-carbonatíticas brasileiras.** In: SILVA M.G., ROCHA NETO M.B., JOST H., KUYUMJAN R.M. (orgs.), Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras, Belo Horizonte, CPRM, p. 559-589, 2014.

RICCOMINI, C. **Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondvânicos da porção centro-oriental do estado de São Paulo e áreas vizinhas**. Tese de Livre-docência, Universidade de São Paulo, 1995, 98p.

ROCHA, L. G. M., PIRES, A. C. B., CARMELO, A. C., ARAÚJO, ARAÚJO FILHO, J. O. **Geophysical characterization of the Azimuth 125◦lineament withaeromagnetic data: Contributions to the geology of central Brazil.** Precambrian Research.Volume 249, August 2014, Pages 273-287.

ROLDAN, L. F. **Tectônica rúptil meso-cenozóica na região do domo de Lages, SC.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2007.

SANTOS, A.R. dos. **O sensoriamento remoto e a estrutura rúptil: exemplos de aplicações em estudos tectônicos**. In: Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto. Gramado, 10-15 ago. 1986b. Anais, São José dos Campos, INPE, 1986, v.1, p. 429-434.

SANTOS, R.L.C. SOBRAL, L.G.S., ARAÚJO R.V.V. E EQUIPE TÉCNICA FOSFERTIL/CMT. **Produção de fosfato no brasil: Complexo de Mineração de Tapira / Fosfertil.** XIX ENTMME – Recife, Pernambuco, 2002.

SANTOS, R.V.; CLAYTON, R.N. **Variations of oxygen and carbon isotopes in carbonatite – a study of Brazilian alkaline complexes.** Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 59, n. 7, p. 1339-1352, 1995.

SEER, H.J., MORAES, L.C., CARNEIRO, M.A. **Geologia e litogeoquímica dos diques toleiticos ATI vinculados aos linemantos magnéticos de direção NW do Arco do Alto Pananaíba em Abadia dos Dourados, MG**. In: Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados, V, Cidade de Goiás, Anais.2011.

SEER, H. J. & MORAES, L.C. **Nióbio**. *In:* Pedrosa Soares et al. (2018) Recursos Minerais de Minas Gerais, UFMG-CODEMIG, 2018. Disponível em http://recursomineralmg.codemge.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Niobio.pdf. Acesso em: 11/01/2022.

SEER, H. J., MORAES, L.C, SILVA, C. H. **Folha Araxá SE.23-Y-C-CV- Escala 1:100.000**. Projeto Fronteiras de Minas Gerais, 2015. Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Contrato CODEMIG 3473, FUNDEP19967, 2015.

SILVA, C.H. **Evolução geológica da Faixa Brasília na região de Tapira, sudoeste do Estado de Minas Gerais.** Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP, 2003.

SOARES, C. J.; GUEDES, S.; JONCKHEERE, R.; HADLER, J. C.; PASSARELLA, S. M.; DIAS, A. N. C. **Apatite fission-track analysis of Cretaceous alkaline rocks of Ponta Grossa and Alto Paranaíba Arches, Brazil.** Geological Journal, doi: 10.1002/gj.2694, 2015.

STEARNS, D. W. **Faulting and forced folding in the Rocky Mountains foreland: Geological Society of America Memoirs**, 151, 1–38, doi: 10.1130/MEM151, 1978.

TOKASHIKI, C. C. **Mineralizações Low-e intermediate sulfidation de ouro e de metais de base em domos de riolito Paleoproterozóicos na porção da Província mineral do Tapajós.** Tese de doutorado. Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

VIEIRA, M. A. de M. **Complexo alcalino de Tapira, Minas Gerais: mineralogia e geoquímica da distribuição de terras raras no perfil de intemperismo.** Belo Horizonte: Dissertação, Mestrado em Geodinâmica e Evolução Crustal, Instituto de Geociências da UFMG, 1997. 95 p.

WICANDER R. & MONROE, J.S. **Fundamentos de Geologia**. São Paulo, Cengage Learning, 508p, 2009.

WINGE, M. *et al.* **Glossário geológico ilustrado.** CPRM, 2001. Disponível em <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>. Acesso em: 11/01/2022.

ZERFASS, H. & CHEMALE JR., F. **Geologia estrutural em ambiente rúptil: fundamentos físicos, mecânica de fraturas e sistemas de falhas naturais.** Terra Didática, 7(1):75-85, 2011.

APÊNDICE A - MAPEAMENTO DE CAMPO 01

MAPEAMENTO DE CAMPO 01

Levantamento litoestutural das rochas encaixantes do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Tapira

Ponto Nº	Data	Coordenadas			Litologia	Foliação	Fraturas	Descrição do Afloramento
		X	Y	ALTITUDE	Rocha	Sn (DD/D)	Dip Direction/Dip	
ME1	27/10/2021	303.163	7.812.493	1193	GRANADA-MUSCOVITA XISTO COM SEGREGAÇÕES DE QUARTZO (VEIOS)	196/20 ; 344/08 ; 220/31	297/85;	Espaçamento decimétrico entre fraturas; As fraturas formam 2 famílias principais em relação a direção; A foliação está dobrada em dobras suaves
							312/71;	
							233/84;	
							053/88;	
							283/75;	
							295/84;	
							280/83;	
							110/74;	
							125/80;	
							154/87;	
							249/73;	
							126/83;	
							259/86;	
							094/86;	
							323/89;	
							120/89;	
							137/84;	
							255/89;	
							257/86;	
							292/75;	
ME2	27/10/2021	306.778	7.808.536	1112	GRANADA-GRAFIXA XISTO	197/37; 215/33	297/85;	Granadas com 0,5cm de diametro; Ponto localizado na rodovia asfaltada próximo à bica d'água; Observou-se oxidação amarela e branca (sulfatos) na superfície, devido a presença de pirita.
							312/71;	
							233/84;	
							053/88;	
							283/75;	
							295/84;	
							280/83;	
							110/74;	
							125/80;	
							154/87;	
							249/73;	
							126/83;	
							259/86;	
							094/86;	
							323/89;	
							120/89;	
							137/84;	
							255/89;	
							257/86;	
							292/75;	

ME3	44496	306.510	7.807.347	1151	GRANADA-GRAFITA XISTO	126/21	005/73; 260/84; 280/81; 006/03; 101/89; 099/78; 121/86; 047/62;	LOCALIZADO NA RODOVIA ASFALTADA PERTO DA BARRAGEM ÁGUA LIMPA E A 2KM DA ENTRADA PARA MOSAIC
ME04	27/10/2021	305.835	7.806.334	1222	GRANADA-MUSCOVITA XISTO	344/60	-	LOCALIZADO DA ESTRADA SECUNDÁRIA PRÓXIMO À ENTRADA DA MOSAIC; PRESENÇA DE VEIOS DE QUARTZO PARALELO À FOLIAÇÃO E GRANADAS DE 3mm.
ME05	27/10/2021	305.275	7.806.735	1216	MUSCOVITA XISTO	242/23; 261/24	022/74; 355/51; 060/73; 041/89; 248/88; 226/80; 229/82; 331/38; **219/82;** 056/66; 284/48; 054/62; 226/82; 059/65;	LOCALIZADO NA CONTINUAÇÃO DA ESTRADA SECUNDÁRIA; PRESENÇA DE VEIO DE QUARTZO PARALELO À FOLIAÇÃO.
ME06	27/10/2021	304.440	7.806.897	1133	GRAFITA-GRANADA-MUSCOVITA XISTO	170/73	222/78; 217/82; 352/47; 030/85; 066/76; 337/55; 206/78;	LOCALIZADO NA CONTINUAÇÃO DA ESTRADA SECUNDÁRIA JÁ PRÓXIMO AO CÓRREGO
ME07	27/10/2021	302.355	7.807.317	1223	MUSCOVITA	178/56;	088/78; 082/75; 077/60; 084/74; 091/72; 080/72; 084/72; 078/72; 096/75; 088/76; 091/69; 090/77;	CONTINUAÇÃO DA ESTRADA APÓS O CURSO D'ÁGUA

ME07	27/10/2021	302.333	7.807.317	1223	XISTO	170/58	263/82;	CONTINUAÇÃO DA ESTRADA APÓS O CURSO D'AGUA
							259/83;	
							079/78;	
							071/88;	
							075/77;	
							094/79;	
							095/71;	
							085/62;	
							080/63;	
							264/86;	
							076/63;	
							031/19;	
ME08	27/10/2021	301.745	7.806.066	1249	GRANADA-MUSCOVITA XISTO	168/39	093/77;	LOCALIZADO NA CONTINUAÇÃO DA ESTRADA SECUNDÁRIA NA PARTE ALTA APÓS O CURRAL; OCORRÊNCIAS DE GRANADA DE ATÉ 1mm
							296/72;	
							077/73;	
							243/70;	
							277/76;	
							283/61 PREENCHIDA COM QUARTZO;	
							229/67 ESPESSURA DE 7CM PREENCHIDA COM QUARTZO;	
							053/86;	
							065/89;	
							222/64;	
							198/68;	
							230/73;	
							297/71;	
							267/68;	
							071/77;	
							030/70;	
							050/83;	
							160/61;	
							088/82;	
							059/72;	
							291/79;	
							079/75;	
ME09	27/10/2021	301.473	7.803.592	1293	QUARTZITO E MUSCOVITA-	235/27	019/66;	LOCALIZADO NO FIM DA ESTRA DE TERRA ALCANÇANDO A RODOVIA PARA
							093/60;	
							124/66;	
							287/57 PREENCHIDA POR QUARTZO;	
							245/79;	
							128/75;	
							041/58;	
							124/66;	
							065/79;	
							093/71;	
							338/70;	
							023/78;	

ME09	27/10/2021	301.473	7.803.392	1253	MUSCOVITA-QUARTZO XISTO	235/27	083/74;	TAPIRA
							351/39;	
							023/62;	
							130/67;	
							033/69;	
							049/78;	
							095/68;	
							125/75;	
							044/88;	
							170/79;	
							078/72;	
							131/77;	
ME10	27/10/2021	301.778	7.803.209	1243	QUARTZITO INTERCALADO COM MUSCOVITA XISTO	289/49; 277/51	094/40;	CONTINUAÇÃO DA ESTRADA APÓS PLANTAÇÃO DE ABACATE; OBSERVA-SE INFLUÊNCIA DO COMPLETO NAS FRATURAS
							028/79;	
							011/70;	
							088/60;	
							077/51;	
							006/83;	
							009/77;	
							015/89;	
							088/58;	
							007/69;	
							216/87;	
							086/49;	
							092/59;	
							046/88;	
							034/76;	
							028/89;	
							133/23;	
							144/68;	
							155/64;	
							205/89;	
							128/66;	
ME11	27/10/2021	302.781	7.802.842	1251	GRANADA-GRAFITA XISTO INTERCALADO COM QUARTZITO GROSSO	299/49	047/49;	O AFLORAMENTO ESTÁ MAIS FRATURADO QUE OS DEMAIS E A LARGURA ENTRE AS FRATURAS É CENTIMÉTRICA
							034/41;	
							053/86;	
							050/89;	
							193/82;	
							195/75;	
							199/89 (10X);	
							048/89;	
							051/89;	
							097/84;	
							225/82;	
							013/89;	
							182/88;	
							118/79;	

ME12	27/10/2021	303.235	7.803.378	1254	GRANADA-MUSCOVITA XISTO	301/76	280/68; 049/72; 046/29; 054/39; 058/84; 274/73; 051/51; 055/59; 005/24; 249/46; 227/87; 226/81; 215/78; 221/84;	LOCALIZADO NO FIM DA ESTRA DE TERRA ALCANÇANDO A RODOVIA PARA TAPIRA
ME13	27/10/2021	303.928	7.804.335	1216	GRANADA-GRAFITA XISTO	305/62	100/45; 110/42; 089/42; 096/55; 098/38; 086/21; 110/37; 087/38; 072/64; 055/57; 065/87; 166/44; 068/58 PREENCHIDA COM FELDSPATO (FENITIZAÇÃO); 065/61 PREENCHIDA COM FELDSPATO (FENITIZAÇÃO); 077/41 PREENCHIDA COM VEIO DE QUARTZO	RODOVIA DE ASFALTO-PÉ DA BARRAGEM
							326/86 FENITIZAÇÃO COM FELDSPATO; 210/29; 200/37; 058/78; 272/83; 010/32; 225/45; 231/44; 204/50; 256/17; 065/85; 026/78; 033/71;	

ME14	27/10/2021	304.915	7.805.336	1173	GRANADA-GRAFITA XISTO COM INTERCALAÇÕES cm E dm DE QUARTZITO	330/63	168/89; 162/82; 157/77; 064/39; 287/23; 321/62; 228/80; 231/86; 238/85; 319/68 FRATURA MAIS RECENTE; 173/57 PREENCHIMENTO POR SOLO; 074/23; 128/08; 153/11; 176/18; 185/10; 289/20; 336/72 DIQUE DE KAMAFUGITO ESPESSURA 40cm; 315/38 PERSISTÊNCIA MAIOR QUE 10m;	TALUDE DA RODOVIA AO LADO DA BARRAGEM; FRATURAS SUBHORIZONTAIS; A FOLIAÇÃO É DISCORDANTE.
							215/73 DIQUE DECIMÉTRICO DE KAMAFUGITO 206/55 DIQUE DECIMÉTRICO DE SIENITOCOM FRATURAS INTERNAS E BORDAS COM REAÇÃO COM A ENCAIXANTE 184/62 FRATURAS INTERNAS DO DIQUE DE SIENITO 059/60 FRATURAS INTERNAS DO DIQUE DE SIENITO 091/83 FRATURAS INTERNAS DO DIQUE DE SIENITO 051/43 FRATURAS INTERNAS DO DIQUE DE SIENITO 069/61 FRATURAS INTERNAS DO DIQUE DE SIENITO 059/74 FRATURAS INTERNAS DO DIQUE DE SIENITO 264/57 FRATURAS INTERNAS DO DIQUE DE SIENITO 261/70 FRATURAS INTERNAS DO DIQUE DE SIENITO 347/80 FRATURAS INTERNAS DO DIQUE DE SIENITO 324/56 FRATURAS INTERNAS DO DIQUE DE SIENITO	

ME15	27/10/2021	305.533	7.805.303	1224	GRANADA-GRAFITA XISTO COM INTERCALAÇÕES DE QUARTZITO	278/71; 330/62	323/43 PREENCHIMENTO COM FELDSPATO (FENITIZAÇÃO) 241/50 DESLOCADA PELA FENITIZAÇÃO 064/62 DIQUE DECIMÉTRICO DE KAMAFUGITO 125/57 DIQUE COM 1m DE ESPESSURA E TEM XENÓLITOS (PEDAÇO) DE XISTO 085/44; 053/75; 089/53; 105/51; 113/52; 258/76; 250/87; 062/84; 057/80; 070/84; 105/53; 091/47; 109/56; 311/65; 109/49; 108/46; 173/14; 248/44; 322/70; 330/71; 197/35 FRATURA FENITIZADA 053/35; 083/43; 083/40; 342/78; 331/69; 236/68; 235/68; 243/67; 246/67; 242/57; 241/60; 256/55; 327/42; 280/76; 117/52; 229/82; 028/52;	PONTO PRÓXIMO À PORTARIA DA MOSAIC; VEIOS DE FENITIZAÇÃO NAS CAMADAS DE XISTO E QUARTZITO

							205/23;	
							045/71;	
							054/72;	
							064/60;	
							071/59;	
							055/80;	
ME16	27/10/2021	305.736	7.805.203	1221	GRAFITA-MUSCIVOTA XISTO INTERCALADO COM QUARTZITO	342/66	276/69;	LOCALIZADO NO TREVO DE ENTRADA MOSAIC
							265/85;	
							300/46;	
							353/65;	
							239/49;	
							102/87;	
							289/35;	
							269/08;	
							134/70;	
							064/64;	
							115/81;	
							288/64;	
							107/67;	
							104/80;	
							097/58;	
							105/89;	
							304/67;	
							248/35;	
							297/64;	
							336/65;	
							076/74;	
							236/75;	
							326/60;	
ME17	28/10/2021	302.921	7.800.412	1273	LATERITA			OCORRÊNCIA DE LATERIA COM ARGILAS AMARELADAS E CAULIM (DECORRENTE DA ALTERAÇÃO DAS ROCHAS DO COMPLEXO)
ME18	28/10/2021	302.723	7.800.118	1263	MUSCOVITA XISTO	265/72	104/10	AFLORAMENTO INTEMPERIZADO DE MUSCOVITA-XISTO, PRÓXIMO AO CONTATO COM O COMPLEXO E RICO EM VÊNULAS DE FELDISPATO DA FENITIZAÇÃO
							082/35;	
							138/18;	
							106/33;	
							094/35;	
							032/86;	
							057/31;	
							017/69;	
							267/64;	
							038/85;	
							010/67;	
							087/03;	
							072/12;	
							026/16;	
							093/10;	
							096/19;	

							102/23;	
							115/20;	
							008/82;	
ME19	28/10/2021	302.381	7.799.568	1240	GRANADA-MUSCOVITA XISTO	249/57	060/52;	LOCALIZADO NA CONTINUAÇÃO DA ESTRADA SECUNDÁRIA, SE AFASTANDO DO COMPLEXO
							032/66;	
							017/67;	
							164/72;	
							147/78;	
							153/77;	
							038/48;	
							197/87;	
							035/31;	
							057/31;	
							180/46;	
							176/66;	
							042/52;	
							351/86;	
							006/64;	
							081/82;	
							072/80 QUARTZO	
							036/82;	
							026/41;	
ME20	28/10/2021	302.240	7.799.317	1246	GRAFITA-GRANADA-MUSCOVITA XISTO	258/80	166/74;	PONTO NA ESTRADA SECUNDÁRIA SE AFASTANDO DO COMPLEXO OCORRÊNCIA DE VEIOS DE QUARTZO PARALELO À FOLIAÇÃO
							003/85;	
							262/75;	
							341/11;	
							177/41;	
							199/82;	
							134/60;	
							352/79;	
							165/79;	
							025/80;	
							295/32;	
							138/69;	
							079/38;	
							154/34 COM FENITIZAÇÃO DE FELDSPATO	
							075/42 COM FENITIZAÇÃO DE FELDSPATO	
							271/62 COM FENITIZAÇÃO DE FELDSPATO	
							148/67;	
							274/78;	
							154/49;	
							020/78;	
							172/55;	
							158/68;	

							005/62;	
							358/78;	
ME21	28/10/2021	301.688	7.798.621	1153	LITOSSOLO GRAFITA-GRANADA-MUSCOVITA XISTO	247/75	085/75	
ME22	28/10/2021	302.319	7.796.803	1220	GRANADA-MUSCOVITA XISTO	250/47	137/79;	CONTINUAÇÃO NA ESTRADA SECUNDÁRIA COM RAVINA AO LADO DA ESTRADA
							011/70;	
							120/70;	
							133/81;	
							122/78;	
							176/63;	
							063/56;	
							059/62;	
							298/84;	
ME23	28/10/2021	302.272	7.796.430	1232	GRANADA-MUSCOVITA XISTO	280/42	081/55;	PONTO SEGUINDO PELA ESTRADA SECUNDÁRIA PERTO DOS EUCALIPTOS
							188/83;	
							155/81;	
							159/61;	
							333/85;	
							331/82;	
							079/83;	
							061/52;	
							013/80;	
							079/65;	
							332/87;	
							164/87;	
							081/89;	
							098/80;	
							182/71;	
							045/71;	
							041/66;	
							325/88;	
							352/89;	
							321/88;	
							356/82;	
							110/34;	
							016/76;	
							333/87;	
							141/78;	
							092/74;	
							357/19;	
							347/27;	
							196/85;	
							043/88;	

ME24	28/10/2021	301.720	77.794	1264	GRANADA-MUSCOVITA XISTO	290/31	153/80;	PONTO SEGUINDO PELA ESTRADA SECUNDÁRIA SENTIDO TAPIRA
							228/86;	
							154/89;	
							303/67;	
							350/81;	
							050/86;	
							022/89;	
ME25	28/10/2021	304.776	7.794.544	1119	GRANADA-GRAFUTA-XISTO INTERCALADO COM QUARTZITO	223/46	024/50;	
							009/64;	
							115/67;	
							020/56;	
							115/70;	
							008/52;	
							071/63;	
							009/56;	
							320/81;	
							355/48;	
							009/54;	
							105/81;	
							104/65;	
							088/81;	
							019/64;	
							004/55;	
							293/82;	
							278/32;	
							005/73;	
							110/21;	
							359/80;	
							143/63;	
							171/68;	
							161/71;	
							144/37;	
							356/79;	
							333/84;	
							169/17;	
							096/18;	
							173/70;	
							122/53;	
							170/38;	
							168/44;	
							153/75;	
							250/56;	
							249/59;	
							254/78;	
							252/77;	
							355/70;	
							358/65;	

ME26	28/10/2021	308.600	7.795.896	1124	QUARTZITO FENITIZADO COM ANFIBÓLIO E FELDSPATO		356/64;	
							002/70;	
							336/77;	
							252/68;	
							263/75;	
							247/77;	
							256/70;	
							340/73;	
							141/45;	
							149/50;	
							268/63;	
							214/15;	
							334/82;	
							276/70;	
							101/70;	
							120/72;	
							263/54;	
							163/52;	
							343/80;	
							268/63;	
							116/75;	
							276/65;	
							301/63;	
							174/19;	
							182/28;	
							269/46;	
							357/52;	
							092/78;	
							079/79;	
							096/73;	
							268/47;	
							006/69;	
							071/78;	
							060/67 DIQUE 8cm	
							064/74 FRATURA COM INTENSA FENITIZAÇÃO	
							074/81 DIQUE DE KAMAFUGITO COM 40CM	
							067/82 DIQUE DE KAMAFUGITO	
							071/55;	
							058/50;	
							071/83;	
							239/78;	
							259/87;	
							092/23;	
							137/76;	
							074/79;	

ME27	28/10/2021	309.170	7.795.766	1093	GRANADA-MUSCOVITA XISTO	346/84 - 160/89	165/21;	PONTO DENTRO DE TAPIRA PRÓXIMO AO POSTO
							087/19;	
							312/83;	
							247/85;	
							262/65;	
							097/89;	
							098/74;	
							073/85;	
							253/88;	
							173/85;	
							229/61;	
							242/76;	
ME28	28/10/2021	309.420	7.796.107	1094	QUARTZITO FENITIZADO		248/60;	PONTO NO ALTO DE TAPIRA APÓS A PRACINHA PADRÃO DE FRATURAS EM ESPAÇO cm A dm, PORTANTO, MUITO PRÓXIMOS 73 FRATURAS EM ESPAÇO DE 1 METRO.
							242/74;	
							232/83;	
							253/70;	
							255/65;	
							250/50;	
							249/58;	
							251/69;	
							246/82;	
							020/35;	
							131/42;	
							004/15;	
							022/24;	
							015/22;	
							023/19;	
							015/23;	
							022/32;	
							039/25;	
							340/78;	
							003/51;	
							022/36;	
							001/51;	
							164/89;	
							147/89;	
							068/51;	
							588/65;	
							339/73;	
							299/47;	
							003/60;	
							219/73- 43 FRATURAS	
							289/89;	
							048/83;	
							036/65;	
							291/47;	
							061/58;	

ME29	28/10/2021	307.501	7.793.942	1209	GRAFITA-GRANADA-MUSCOVITA XISTO	191/38	302/87; 329/32; 107/88; 196/35; 142/48; 271/78; 067/71; 264/87; 080/78; 058/69; 332/44; 057/39; 350/51;	LOCALIZADO DA ESTRADA DA SAÍDA SUDESTE DE TAPIRA.
ME30	28/10/2021	307.091	7.794.138	1221	GRANADA-MUSCOVITA-XISTO INTERCALADO COM QUARTZITO	202/55	088/86; 083/83; 094/80; 091/80; 076/48; 084/61; 106/65; 083/70; 094/82; 107/37; 332/41; 285/82; 317/63; 335/45; 092/76; 101/78; 098/32; 112/30; 192/72; 357/48; 276/73; 323/46; 310/45; 287/64; 330/34;	ESTRADA SECUNDÁRIA SUDESTE DE TAPIRA
							188/64 FRATURA PREENCHIDA COM MANGANÊS 052/71; 053/62; 067/54; 068/53; 026/14; 286/68; 049/44;	

ME31	28/10/2021	305.425	7.794.491	1203	GRANADA-GRAFITA-XISTO)	234/46	090/77; 073/62; 085/51; 026/18; 317/68; 093/89; 102/81; 078/48; 103/82; 102/85; 125/76; 107/36; 064/64; 065/59; 100/85;	DESCIDA SAINDO DA ESTRADA SECUNDÁRIA
ME32	28/10/2021	307.418	7.792.995	1187	GRAFITA-GRANADA-MUSCOVITA XISTO INTERCALADO COM QUARTZITO	184/43	050/74; 256/69; 063/64; 245/64; 085/63; 358/50; 081/67; 070/61; 073/69; 053/61; 051/63; 087/66; 041/50;	ESTRADA PARA SUL DE TAPIRA EM DIREÇÃO À SERRA DO CAMPO ALEGRE
ME33	28/10/2021	307.035	7.792.338	1243	GRANADA-MUSCOVITA XISTO SOTOPOSTO PELO QUARTZITO	163/16	118/82 P 301/65; 284/75; 311/78; 281/74; 046/80; 339/80; 324/80; 040/73; 048/87; 045/89; 291/85P 099/60; 281/84; 086/70; 133/86; 018/71; 274/85; 133/85;	

							052/76;	
							128/80;	
							089/88;	
							294/81;	
							103/83;	
							250/58;	
							276/77;	
							329/78;	
							024/79;	
							347/84;	
							113/85;	
ME34	28/10/2021	305.340	7.796.655	1194				PONTO DE CONTROLE SEM AFLORAMENTOS, POSSIVELMENTE DENTRO DO COMPLEXO
ME35	28/10/2021	307.028	7.807.313	1119	QUARTZITO E XISTO GRAFITOSO	213/38 - 191/32	209/55;	PONTO DENTRO DA BARRAGEM DA MOSAIC BD5 - DION NOS ACOMPANHOU
							101/67;	
							024/59;	
							103/75;	
							030/49;	
							083/46;	
							029/39;	
							099/60;	
							042/33;	
							266/86;	
							267/85;	
							261/84;	
							081/75;	
							084/79;	
							085/83;	
							043/76;	
							266/71;	
							261/85;	

APÊNDICE B - MAPEAMENTO DE CAMPO 02

MAPEAMENTO DE CAMPO 02

Levantamento litoestutural das rochas encaixantes do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Tapira

Ponto Nº	Data	Coordenadas			Litologia	Foliação	Fraturas	Descrição do Afloramento
		X	Y	ALTITUDE	Rocha	Sn (DD/D)	Dip Direction/Dip	
ME35.1	25/06/2022	309.539	7.795.655		GRANADA-GRAFITA-MUSCOVITA XISTO	182/79	152/81;	XISTO FENITIZADO COM VÊNULAS BEM PEQUENAS;
							339/86;	
							144/89;	
							260/77;	
							179/53;	
							194/52;	
							325/84;	
							010/68;	
							026/70;	
							327/77;	
							310/83;	
							069/32;	
							215/73;	
							215/70;	
							262/76;	
							253/80;	
							255/80;	
							222/69;	
							167/68;	
							058/42;	
							078/15;	
							250/75;	
							279/45;	
							256/57;	
							247/66;	
							242/56;	
							223/87;	
							087/55;	

							240/87;	
							062/79;	
							242/55;	
							258/85;	
ME36	25/06/2022	309.858	7.795.463	1083	MUSCOVITA-QUARTZO-XISTO INTRECALADO COM CAMADAS DE QUARTZITO FINO BRANCO	147/78	053/77;	ALGUMAS VÊNULAS DE FENITIZAÇÃO
							033/58;	
							034/54;	
							225/51;	
							030/53;	
							223/53;	
							089/34;	
							073/27;	
							066/73;	
							090/46;	
							100/41;	
							188/83;	
							107/22;	
							160/63;	
							156/55;	
							075/52;	
							235/86;	
							337/74;	
							166/75;	
							157/56;	
							225/82;	
							251/46;	
							232/50;	
							235/49;	
							228/54;	
							062/58;	
							035/54;	
ME37	25/06/2022	310.236	7.794.884		GRANADA-GRAFITA XISTO	193/30	030/84;	ROCHA BEM INTEMPERIZADA
							034/64;	
							029/61;	
							335/45;	

ME38	25/06/2022	310.461	7.793.634		GRAFITA-MUSCOVITA-XISTO INTERCALADO COM QUARTZITO	173/46	254/82; 048/77; 065/78; 276/85; 295/77; 071/59; 188/83; 336/61; 064/65; 330/62; 056/70; 302/72; 238/82; 288/62; 303/70; 301/67; 223/78; 320/78; 328/68; 269/73;	AFASTADO DO COMPLEXO, SEM EFEITOS DE FENITIZAÇÃO
ME39	25/06/2022	311.484	7.793.812		GRANADA-MUSCOVITA-QUARTZO-XISTO INTERCALADO COM QUARTZITO DECIMÉTRICO	187/22	265/73; 275/62; 335/40; 292/76; 070/75; 000/47; 341/42; 344/55; 041/76; 063/71; 266/82; 285/77;	
							174/82 -20 x; 329/86; 156/77;	

ME40	25/06/2022	312.500	7.793.355		QUARTZITO MICÁCEO	183/24	132/59; 113/80; 051/64; 342/82; 342/82; 310/86; 310/84;	ROCHA BEM FOLIADA E COM PADRÕES DE FRATURAS
ME41	25/06/2022	310.516	7.795.218		GRANADA-GRAFITA-MUSCOVITA XISTO	137/56	011/57; 143/63; 019/83; 150/59; 266/84; 151/61; 182/68; 263/83; 178/76; 093/82; 096/83; 319/43; 051/75 -5x	PONTO NO CÓRREGO DAS ANTAS
							004/64; 183/53; 246/56; 020/74; 324/33; 234/67; 024/78; 259/56; 259/56; 259/56; 259/56; 259/56;	

ME42	25/06/2022	310.891	7.795.493		GRANADA-GRAFITA XISTO INTERCALADO COM QUARTZITO MICÁCEO	139/56 - 149/44	259/56;	
							259/56;	
							259/56;	
							259/56;	
							259/56;	
							259/56;	
							196/64;	
							338/27;	
							183/52;	
							002/64;	
							232/60;	
							194/50;	
							310/49;	
							272/59;	
							272/65;	
							275/61;	
							355/48;	
ME43	25/06/2022	312.421	7.795.538		MUSCOVITA-QUARTZO XISTO	137/13	054/89;	
							298/66;	
							285/60;	
							261/66;	
							218/79;	
							237/82;	
							290/82;	
							061/79 PREENCHIDA COM QUARTZO	
							281/78;	
							250/70;	
							321/88;	
							025/89;	
							326/89;	
							336/88;	
							117/80;	
							212/81;	

ME44	25/06/2022	313.294	7.795.780		GRANADA-MUSCOVITA-XISTO INTERCALADO COM QUARTZITO	321/05	188/76; 156/79; 112/72; 203/75; 166/70; 117/69; 150/83; 228/69; 095/82; 119/75; 328/88; 099/65; 219/88; 228/80;	
ME45	25/06/2022	313.915	7.796.044		GRANADA-MUSCOVITA XISTO	248/005	045/84 afloramento pouco fraturado 040/84; 273/62; 224/79; 045/86; 223/89; 227/88; 092/87; 089/77; 106/87; 110/84; 202/81; 369/88; 159/89; 278/76; 230/89; 268/85; 027/79; 146/87;	

							017/79;	
							347/81;	
							022/88;	
ME46	25/06/2022	312.230	7.797.393		QUARTZITO MICÁCEO	105/57	016/79 - 20x	POSSÍVEL INFLUÊNCIA DO COMPLEXO
							292/45;	
							324/62;	
							305/56;	
							257/52;	
							037/50;	
							143/52;	
							294/40;	
							244/58;	
							307/58;	
							307/58;	
							254/56;	
							254/56;	
							254/56;	
ME47	25/06/2022	312.573	7.798.151		QUARTZITO	107/60	016/79 - 20x	PRESENÇA DE FENITIZAÇÃO AFLORAMENTO MUITO FRATURADO BOLINHAS INDICANDO RECRISTALIZAÇÃO
							253/29;	
							001/70;	
							020/76;	
							013/82;	
							205/68;	
							190/75;	
							347/66;	
							347/80;	
							030/85;	
							046/85;	
							126/67;	
							030/63;	
							221/66;	
							214/86;	
							096/60;	
							051/86;	
							116/67;	

							204/69;	
							213/76;	
							044/80;	
							193/61;	
							233/61;	
							303/25;	
							009/73;	
							212/81;	
							218/59;	
							222/67;	
ME48	25/06/2022	310.724	7.798.129		QUARTZITO	308/55	194/79;	AFLORAMENTO BASTANTE FRATURADO INFLUÊNCIA DO COMPLEXO
							106/35;	
							211/80;	
							207/70;	
							107/89;	
							042/82;	
							041/73;	
							282/83;	
							285/46;	
							086/25;	
							269/44 FENITIZADA	
							232/61 FENITIZADA	
							236/81;	
							244/41;	
							084/64;	
							069/74;	
							241/82;	
							047/82;	
							134/89;	
							072/89;	
							093/84;	
							351/76;	
							268/70;	

							075/72;	
							089/83;	
							010/70;	
							124/70;	
							084/54;	
ME49	25/06/2022	310.881	7.800.340		QUARTZITO GROSSO	280/74	160/33;	OCORRÊNCIA DE FENITIZAÇÃO; QUARTZITO QUASE UMA AREIA
							329/74;	
							277/74;	
							195/70;	
							017/18;	
							192/83;	
							147/87;	
							010/81;	
							015/84;	
							085/86;	
							291/88;	
							182/80;	
							248/76;	
							343/85;	
							143/86;	
							291/76;	
							217/83;	
							144/81;	
							267/80;	
							358/39;	
							150/18;	
							281/81;	
							185/77;	
							286/78;	
							182/79;	
							162/62;	
							141/15;	
							000/45;	
							002/20;	
							172/40;	

							285/65;	
ME50	25/06/2022	311.856	7.801.698		GRANADA-MUSCOVITA-QUARTZO XISTO	070/81	278/37;	
							170/78;	
							153/71;	
							288/43;	
							316/77;	
							195/47;	
							281/49;	
							312/64;	
							144/73;	
							340/74;	
							275/32;	
							325/77;	
							157/81;	
							318/23;	
							331/80;	
							143/72;	
							326/79;	
							171/70;	
							163/61;	
							178/68;	
							166/83;	
							201/32;	
							287/44;	
ME51	25/06/2022	311.745	7.802.748		GRANADA-MUSCOVITA XISTO	065/61	153/72;	
							118/86;	
							142/67;	
							126/56;	
							148/54;	
							123/88;	
							144/86;	
							160/31;	
							341/84;	
							153/71;	
							212/65;	

							170/63;	
							299/67;	
							170/59;	
ME52	25/06/2022	315.208	7.802.731		QUARTZITO INTERCALADO COM MUSCOVITA XISTO	190/08	277/64;	
							203/86;	
							279/76;	
							263/88;	
							213/84;	
							170/88;	
							155/82;	
							346/85;	
							354/88;	
							008/65;	
							000/63;	
							173/86;	
							003/79;	
							353/82;	
							011/83;	
							353/82;	
							281/83;	
							036/74;	
							004/86;	
							005/80;	
							038/74;	
							033/77;	
					GRANADA-		185/84;	
							180/81;	
							200/82;	
							000/85;	
							014/89;	
							349/86;	
							354/83;	
							165/60;	
							021/84;	
							001/87;	

ME53	25/06/2022	315.852	7.802.248		MUSCOVITA-QUARTZO XISTO	319/15	174/53;	
							355/86;	
							280/86;	
							175/87;	
							179/88;	
							085/87;	
							350/86;	
							193/77;	
							187/75;	
							106/82;	
							003/81;	
ME54	25/06/2022	314.766	7.803.400		GRANADA-QUARTZO-MUSCOVITA XISTO	265/73		
ME55	25/06/2022	311.772	7.802.777		GRANADA-QUARTZO-MUSCOVITA XISTO	068/72	034/87;	INFLUÊNCIA DO COMPLEXO
							131/86;	
							194/74;	
							124/68;	
							149/62;	
							301/85;	
							167/77;	
							129/87;	
							149/81;	
							141/87;	
							226/59;	
							155/62;	
							205/18;	
							196/48;	
							107/80;	
							112/78;	
							105/76;	
							072/48;	
							170/76;	
							254/77;	

ME56	25/06/2022	309.586	7.796.262		XISTO ALTERADO	119/79	250/79; 233/72; 243/68; 260/74; 241/79; 336/89; 072/74; 070/78; 354/83; 358/84; 104/72; 106/76; 160/68; 163/67; 220/72; 221/73; 047/71; 298/78; 009/80; 356/86; 240/81; 253/88; 128/72; 168/79; 348/88; 161/83; 133/71; 128/80; 121/69; 157/71; 154/72; 165/82;	OCORRÊNCIA DE FENITIZAÇÃO
					QUARTZITO INTERCALADO COM		074/82; 076/80; 348/86;	

ME58	26/06/2022	307.218	7.808.747		INTERCALADO COM QUARTZO-MUSCOVITA XISTO	92/21	177/87;	
							188/86;	
							104/83;	
							090/84;	
ME59	26/06/2022	307.363	7.808.387		GRANADA-GRAFITA-MUSCOVITA XISTO	230/21	289/85;	
							076/84;	
							080/83;	
							084/84;	
							081/85;	
							336/71;	
							089/84;	
							248/82;	
							245/87;	
							069/86;	
							038/65;	
							256/89;	
							074/89;	
							079/87;	
							079/87;	
							104/89;	
							108/80;	
ME60	26/06/2022	308.232	7.807.280		GRANADA-MUSCOVITA XISTO	196/33	078/74;	
							085/76;	
							348/60;	
							040/57;	
							042/59;	
							288/86;	
							282/81;	
							080/58;	
							275/62;	
							290/57;	
							077/82;	
							070/67;	
							003/63;	
							103/78;	

ME61	26/06/2022	308.539	7.807.111		GRANADA-GRAFITA XISTO COM INTERCALAÇÕES DE QUARTZITO	195/37	111/77; 095/71; 096/82; 340/89; 144/88; 282/79; 273/55; 179/61; 304/88; 333/83; 279/77; 259/74; 270/78; 177/71; 265/87; 291/89; 276/88; 196/46; 193/51; 139/83; 315/83; 126/71; 189/57; 030/67;	VEIOS MM DE CARBONATO (FENITIZAÇÃO)
ME62	26/06/2022	308.840	7.806.933		GRANADA-GRAFITA XISTO	205/25	285/81; 235/80; 232/76; 307/71; 317/72; 277/44; 255/83; 253/51; 003/61; 049/80; 276/85;	

ME63	26/06/2022	309.068	7.806.474		GRANADA-GRAFITA-MUSCOVITA-QUARTZO XISTO	346/29	296/75;	
							241/83;	
							187/72;	
							259/73;	
							269/81;	
							216/77;	
							169/74;	
							220/82;	
							225/70;	
							166/68;	
							188/67;	
							218/73;	
							166/70;	
							220/81;	
							038/89;	
							216/78;	
							221/85;	
							127/80;	
							245/85;	
							118/88;	
ME64	26/06/2022	311.052	7.807.276		GRANADA-GRAFITA-MUSCOVITA-QUARTZO XISTO	177/30	255/80;	
							350/72;	
							298/75;	
							278/87;	
							334/84;	
							319/78;	
ME65	26/06/2022	311.728	7.807.769		MUSCOVITA-QUARTZO XISTO	195/16	283/89;	
							030/75;	
							119/84;	
							120/82;	
							280/84;	
							266/61;	
							280/56;	
							282/75;	
							103/76;	

ME67	26/06/2022	312.128	7.807.571		GRAFITA-MUSCOVITA XISTO	215/46	074/87;	
							295/88;	
							122/86;	
							116/82;	
							007/76;	
							002/88;	
ME68	26/06/2022	312.738	7.808.825		QUARTZITO INTERCALADO COMM MUSCOVITA XISTO CENTIMÉTRICOS	204/21	115/85;	
							118/89;	
							086/84;	
							311/89;	
							313/56;	
							308/72;	
							019/65;	
							017/64;	
							017/67;	
							033/81;	
							180/60;	
							032/58;	
							057/68;	
							033/66;	
							056/60;	
							095/55;	
							091/70;	
							125/79;	
							314/63;	
							106/69;	
							018/67;	
							027/69;	
							317/75;	
							025/61;	
							064/64;	
							317/74;	
							333/83;	
							114/79;	
							062/54;	

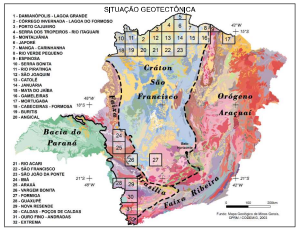
							123/69;	
							322/79;	
							308/74;	
							308/78;	
							287/78;	
							319/79;	
							304/76;	
							297/79;	
							013/68;	
							008/67;	
							032/69;	
							359/79;	
							036/74;	
							028/77;	
							314/68;	
							030/69- 21x	
							200/44;	
ME69	26/06/2022	312.370	7.808.667		GRANADA-MUSCOVITA XISTO	198/61	279/77 fratura destral de cisalhamento	
							310/76;	
							99/89;	
							226/77;	
							119/78;	
							123/87;	
							110/89;	
							109/86;	
							284/72;	
							287/74;	
							289/83;	
							280/85;	
							290/88;	
							266/83;	

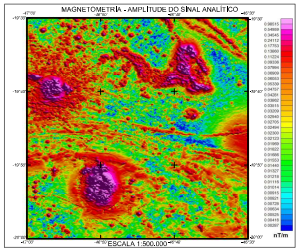
APÊNDICE C - MAPA GEOLÓGICO FOLHA ARAXÁ – SE.23-Y-C-VI (CODEMIG-2015)

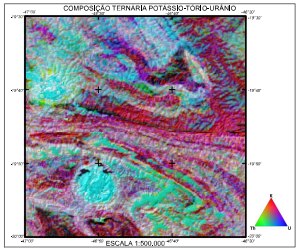
GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS
SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
CODEMIG-COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS

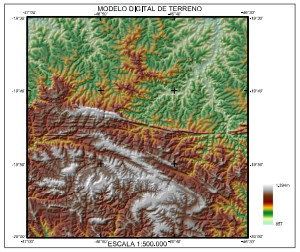
Mapa Geológico
Folha Araxá - SE.23-Y-C-VI
Escala 1:100.000, CODEMIG - 2015

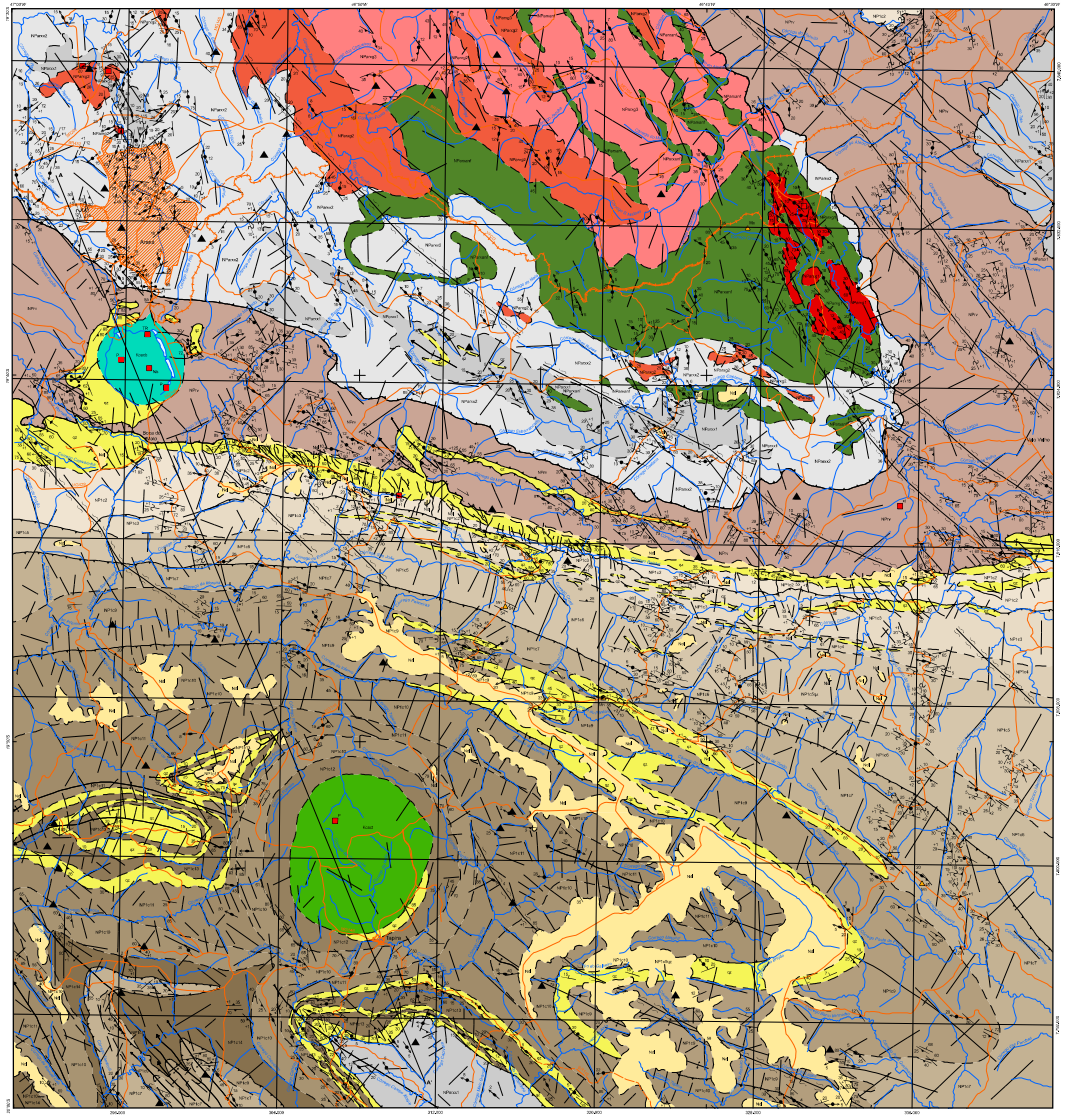
FOLHA ARAXÁ - SE.23-Y-C-VI











LEGENDA

FANEROZOICO

CENOZOICO

NEOGENO

N1 Cobertura detrítico-laterítica indiferenciada constituída por cascalho formado por diversos angulosos, sem orientação, mal desenfiados, unidos por concreção ferrosa (laterita); areias quartzosas, rosa e brancas, além de cascalheiras formadas por quartzo leitoso de veio.

MESOZOICO

CRETÁCEO

K2sp Clima tropical a tabuleiro de pavimentos sobre carbonatos, maciços, duros, angulosos, fragmentos, fragmentos, siltito, arenito e fragmentos gravo. Os carbonatos formam o seu duplo dificílico não são tão fácil de se encontrar, os carbonatos compostos e o quanto calcário sendo sendo uma média a fina e presença de fragmento. O espesso manto de intemperismo e enriquecido, de base para o topo, em minério bauxítico, horizonte rico em Ti (anatásio) e manto caído.

K2ma Carbonato demasiadamente diferentes em diversos dique arenítico por fragmentos metassedimentos que, subordinadamente, são seus significativos. Nos fragmentos são associados objetos de proveniência e alguns de sedimentos original. Blocos estão inclusos e pegação feito do Complexo e fenômeno ocorre no dique carbonatítico principal. Recoberto por espesso manto de intemperismo enriquecido em bário produtos, lentes raras, apatita e feldspato secundários.

PROTEROZOICO

NEOPROTEROZOICO

GRUPO BIA

FORMAÇÃO RIO VERDE

NPrv1 Muscovita-quartzo xisto intercalado a muscovita-clorita-quartzo xisto e quartzito, todos finos, formando ritmito com lâminas intermináticas bem bióticas. Ao seu quartzo mesoclásticos, com ou sem clorita associados a carbonato e clorita, de cor verde claro e avermelhado, quando intemperizados. Apresenta bem bióticas, representada por meta-sedimentos em feldspato e anfibólio sódico, desde as proximidades do Complexo Alcalino Carbonatítico do Barreiro até uma distância de 3 km do mesmo.

GRUPO CANASTRA

NPrc1 Quartzito e quartzito micáceos, decrescentes a métricos, intercalados com quartzo xisto e muscovita-quartzo xisto, escrita filito, sericita-quartzo filito e filito carbonoso, qz: Camadas do quartzito e quartzito micáceo, localmente intequartzo e quartzo hematítico e manganesífero, Vomero de mero filito e micáceo, barroso e claro. Apresenta fenitização, representada por enriquecimento em feldspato e anfibólio sódico, desde as proximidades do Complexo Alcalino Carbonatítico do Barreiro até uma distância de 3 km do mesmo.

NPrc2 Quartzo-muscovita xisto e muscovita-quartzo xisto com ou sem granada e intercalações métricas e decrescentes de quartzito e quartzito micáceo, Clorita barroso presente são granada-anfibólio-muscovita-quartzo xisto e anfibólio-anfibólio-muscovita-quartzo xisto, Localmente ocorre xisto verde (Bacharia, qz: Camadas de quartzito e quartzito micáceo.

NPrc3 Muscovita-quartzo xisto, raramente grafitoso, granada-clorita-muscovita-quartzo xisto, quartzito e quartzito micáceo com perfoliatoos de linear, qz: Camadas de quartzito e quartzito micáceo.

NPrc4 Muscovita-cianita xisto e quartzito rellito em camadas decrescentes são de termos decimetros, Unidade bastante diversificada com termos ricos em grafita, dolomito, granada, turmalina, apatita e rutilo, qz: Camadas de quartzito e quartzito micáceo.

NPrc5 Granada-muscovita-quartzo xisto, Localmente com hematita.

NPrc6 Granada-muscovita-quartzo xisto com frequentes intercalações de termos ricos em grafita e quartzitos micáceos, Termos ricos em cianita estão presentes, lentes de metacarga e mármore ocorrem raramente, assim como intercalações de Fe.

NPrc7 Predomínio de quartzo-muscovita xisto e quartzito, Ocorrem também termos grafitosos e lentes de metacarga, Localmente ocorre hematita, qz: Camadas de quartzito e quartzito micáceo.

NPrc8 Granada-grafita xisto com intercalações decrescentes e métricas de quartzito, Cristais de rutilo são métricos e centimétricos estão presentes na superfície do terreno e/ou em veios de quartzo.

NPrc9 Granada-mica xisto com intercalações centimétricas e métricas de granada-grafita xisto, granada-quartzo xisto, granada quartzito e anfibólio-granada-mica xisto.

NPrc10 Intercalações de quartzito e xisto com feldspato sódico, representado pela presença de feldspato e anfibólio sódico, qz: Camadas de quartzito bem desenvolvido.

NPrc11 Camadas de quartzito com intercalações de muscovita-quartzo xisto com ou sem granada, qz: Camadas de quartzito e quartzito micáceo.

NPrc12 Granada-quartzo-muscovita xisto com frequentes intercalações decrescentes e métricas de quartzito micáceo e camadas e lentes ricas em grafita.

GRUPO ARAXÁ

NPrax1 Granada-muscovita-biotita-quartzo xisto, nebulo, com níveis de quartzo e xisto em veios de quartzo geralmente paralelos à foliação principal. Variações dessa facies são granada-biotita-muscovita-quartzo xisto e granada-quartzo-muscovita-biotita xisto, qualitativamente ocorre granada quartzito, quartzito micáceo, quartzito, anfibólio, anfibólio xisto, granada-clorita-muscovita-quartzo xisto e estaurolita-granada-muscovita-quartzo xisto, além de veios de anfibólio e veios de Talco. Mais raramente ocorre mica-qz: Camadas de quartzito e quartzito micáceo.

NPrax2 Predomínio de muscovita-biotita-quartzo xisto, ocorrem também termos ricos em cianita, estaurolita e granada, quartzito, quartzito micáceo, cianita xisto, clorita-muscovita-quartzo xisto, granada-muscovita-biotite quartzo xisto, filito, anfibólio, anfibólio xisto, granada-anfibólio-muscovita-quartzo xisto, qz: Camadas de quartzito e quartzito micáceo.

NPrax3 Predomínio de anfibólio-mica xisto, raramente gnaisse, Subordinadamente clorita-anfibólio xisto, anfibólio xisto, anfibólio-granada-mica xisto e granada-anfibólio-quartzo xisto, Granada e magnetita ocorrem como veios e veios.

NPrax4 Granodiorito, monzogranito e álcali-granito, eu gneissicos a porfiríticos, de cor clara cinza e clara rosada com demonstrar de amadeado em marco de amadeado, quartzo, feldspato, plagioclásio e biotita, Hornblenda, diopsio, Granita e opaque ocorrem como acessórios, Apatita, zeólita, Biotita, clorita, sulfeto, carbonato, turmalina e alguns minerais são de origem secundária(metamorfismo), Granada ocorre como acessórios, Rocha ígnea monzogranítica e álcali-granítica são bastante presentes. Possuem textura porfiroclástica e milonítica e apresentam idades de 631 a 633 Ma.

NPrag1 Granito e álcali-granito monzogranítico a porfiríticos, médios, cinza claros, deformados, com quartzo, orto-feldspato, microclínio, plagioclásio, muscovita e biotita, Granada, zeólita, turmalina, monazita e apatita ocorrem como acessórios, Possuem abundantes bolsões pegmatíticos e cerrilhos de zeólita e anfibólio. Rio Coqueiro são similares. Suas idades de intrusão estão entre 630 e 637 Ma.

NPrag2 Muscovita-biotita-quartzo xisto, biotita-muscovita-quartzo xisto, quartzo-biotita xisto, biotita-quartzo xisto, granada-muscovita-biotita-quartzo xisto, com termos leucocráticos e granada grossa, anfibólio, granada anfibólio e anfibólio xisto, todos intrudidos por abundantes corpos de pegmatito e granitos a duas micas.

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- Contato aproximado
- Falha transpressional dextral
- Falha contracional (inversa ou empurrão)
- Zona de cisalhamento indiscriminada
- Lineamentos estruturais: traços de superfícies S
- Dobras simétricas transversais
- Dobras simétricas transversais
- Sinclinal normal
- Sinclinal ou anticlinal normal com caimento indicado
- Anticlinal normal
- Anticlinal ou sinclinal normal com caimento indicado
- Dique
- Dique Kimberlítico
- Acamadamento
- Foliação
- Foliação (S>1)
- Foliação vertical
- Foliação vertical (S>1)
- Xistosidade
- Lineação mineral
- Lineação de estiramento
- Dobra assimétrica
- Dobra assimétrica (f<1)
- Dobra assimétrica (f>1)
- Eixo de dobra fechada
- Dobra isoclinal
- Depósito
- Ocorrências
- Indício

cr: cromo; gr: granito; B: bauxita; Mn: manganês; Mt: mármore; P: fosfato; Ti: titânio; TR: terras raras; zc: zeólito

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Curso d'água perene
- Corpo d'água perene
- Mancha urbana
- Distrito
- Localidade
- Rodovia
- Estrada não pavimentada de tráfego permanente
- Estrada não pavimentada de tráfego periódico
- Ferrovia

MAPA GEOLÓGICO

ESCALA 1:100.000

2 1 0 2 4 6 km

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

Origem da quilometragem UTM, equador e Meridiano Central 45°W.Gr. acrescidas as constantes: 10.000km e 500km, respectivamente.

Datum horizontal: WGS84

Declinação magnética do centro da folha: 21°32' W, com variação anual de 8' W.

2015

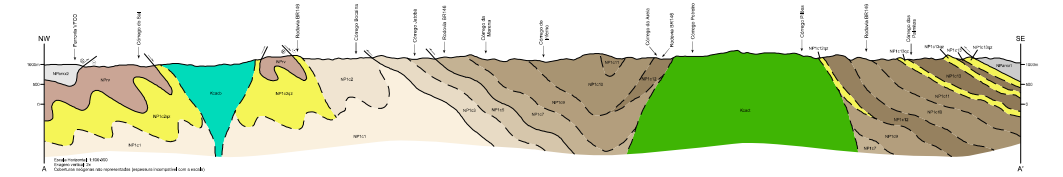
AUTORIA
Hilson José Sear
Lucia Cassiano de Moraes
Carlos Humberto Silva

COORDENAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO
Eliane Vall
André Luiz Profeta

EDIÇÃO DA BASE GEOLÓGICA DIGITAL
Pedro Gumaro Barroso
Raisa Brito Melo
Silas Penna Mak

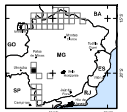
COORDENADOR GERAL: Antônio Carlos Pedrosa Soares (CPMTC/IGC/UFMG)

SUPERVISÃO PELA CODEMIG: Andréa Vaz de Melo França
Filipe Lopes Chaves



ARTICULAÇÃO DA FOLHA

LOCALIZAÇÃO DA FOLHA



BASE CARTOGRÁFICA
Base planimétrica digital obtida a partir de edição dos arquivos vetoriais, produzidos a partir do carta impressa publicada em primeira edição pelo IBGE em 1970 (Araxá).

PROJETO FRONTEIRAS DE MINAS

CODEMIG — GOVERNO DE MINAS — UFMG — CPMTC