



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
FACULDADE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
CURSO DE GEOLOGIA

**FCT**  
FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

**ANÁLISE ESTRUTURAL POR SENSORIAMENTO REMOTO E  
CARACTERIZAÇÃO DA DEFORMAÇÃO RÚPTIL NA REGIÃO DAS  
SERRAS DO QUEBRA-RABICHO E TAQUARI, PIRENÓPOLIS - GO**

VINICIUS RODRIGUES DE OLIVEIRA

APARECIDA DE GOIÂNIA  
2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

### 1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome(s) completo(s) do(a)(s) autor(a)(es)(as): Vinicius Rodrigues de Oliveira

Título do trabalho: ANÁLISE ESTRUTURAL POR SENSORIAMENTO REMOTO E CARACTERIZAÇÃO DA DEFORMAÇÃO RÚPTIL NA REGIÃO DAS SERRAS DO QUEBRA-RABICHO E TAQUARI, PIRENÓPOLIS-GO

### 2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [ X ] SIM [ ] NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

#### Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

**Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Sergio Wilians De Oliveira Rodrigues, Professor do Magistério Superior**, em 28/11/2025, às 17:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vinicius Rodrigues De Oliveira, Discente**, em 28/11/2025, às 18:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5794229** e o código CRC **9B22B38D**.

VINICIUS RODRIGUES DE OLIVEIRA

**ANÁLISE ESTRUTURAL POR SENSORIAMENTO REMOTO E  
CARACTERIZAÇÃO DA DEFORMAÇÃO RÚPTIL NA REGIÃO DAS  
SERRAS DO QUEBRA-RABICHO E TAQUARI, PIRENÓPOLIS - GO**

Monografia apresentada ao Curso de Geologia da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Dr. Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues

APARECIDA DE GOIÂNIA  
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Oliveira, Vínicius Rodrigues de Oliveira

Análise estrutural por sensoriamento remoto e caracterização da deformação rúptil na região das serras do Quebra-Rabicho e Taquari, Pirenópolis - GO [manuscrito] / Vínicius Rodrigues de Oliveira Oliveira. 2025.

XLV, 45 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues .  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Geologia, Aparecida de Goiânia, 2025.

Bibliografia.

Inclui siglas, abreviaturas.

1. Sensoriamento remoto. 2. Análise estrutural. 3. Sintaxe dos Pirineus. I. , Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues, orient. II. Título.

CDU 55



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos vinte e oito dias do mês de novembro do ano de 2025 iniciou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “ANÁLISE ESTRUTURAL POR SENSORIAMENTO REMOTO E CARACTERIZAÇÃO DA DEFORMAÇÃO RÚPTIL NA REGIÃO DAS SERRAS DO QUEBRA-RABICHO E TAQUARI, PIRENÓPOLIS-GO”, de autoria de Vinicius Rodrigues de Oliveira, do curso de Geologia, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UFG. Os trabalhos foram instalados pelo Prof. Dr. Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues – orientador (FCT/UFG) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto (FCT/UFG) e Prof. Dr. Daniel Bezerra das Chagas (FCT/UFG). Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição do estudante. Posteriormente, de forma reservada, a Banca Examinadora atribuiu a nota final de 9,0 , tendo sido o TCC considerado (aprovado).

Proclamados os resultados, os trabalhos foram encerrados e, para constar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos Membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Sergio Wilians De Oliveira Rodrigues, Professor do Magistério Superior**, em 28/11/2025, às 17:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose De Araujo Nogueira Neto, Professor do Magistério Superior**, em 28/11/2025, às 17:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Bezerra Das Chagas, Professor do Magistério Superior**, em 29/11/2025, às 18:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5794227** e o código CRC **5512B955**.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família, meu verdadeiro alicerce, por estarem ao meu lado em todos os momentos durante a realização deste trabalho. Nos momentos de ansiedade e de alegria a cada etapa concluída, sempre pude contar com o apoio, incentivo e carinho de cada um. Um agradecimento especial ao meu pai, José Antônio, pois sem ele nada disso teria sido possível.

Aos meus amigos de curso, especialmente das turmas de 2016, 2017 e 2018, deixo minha gratidão por todos os momentos compartilhados dentro e fora da Universidade. Guardarei com muito carinho as lembranças dos trabalhos de campo, que certamente foram alguns dos melhores momentos vividos na graduação.

Ao corpo docente do curso de Geologia da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Federal de Goiás (FCT/UFG), agradeço pelo ensino da Geologia com dedicação e paixão, pela paciência, pelo companheirismo e pelas valiosas orientações, tanto acadêmicas quanto profissionais, que contribuíram significativamente para minha formação e evolução como profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e UFG pela bolsa concedida associada ao projeto de iniciação científica PI02478-2018/8 - Análise estrutural por sensoriamento remoto e caracterização da deformação dútil na Região de Pirenópolis, GO.

Aos motoristas Rogério e Sr. Celso, meu sincero agradecimento não apenas pela condução segura e pontual em praticamente todos os trabalhos de campo, mas também por sempre encontrarem os melhores afloramentos, tornando nossa experiência mais rica e produtiva.

Vinicius R. de Oliveira.

## RESUMO

Este trabalho apresenta a análise estrutural a partir de lineamentos obtidos por técnicas de sensoriamento remoto, realizado na região de Pirenópolis, estado de Goiás. A área de estudo insere-se geologicamente no contexto da Sintaxe dos Pireneus, pertencente à Faixa Brasília, formada durante a amalgamação do Gondwana Ocidental. As litologias presentes na área correspondem às unidades da Sequencia Metavulcano-sedimentar Rio do Peixe, Grupo Araxá e Granitos relacionados à Suíte Itapuranga.

Foram utilizadas imagens de relevo sombreado, com quatro direções azimutais, sendo elas 00°, 45°, 90°, 315° com iluminante a 45° produzidas a partir do modelo de elevação ALOS PALSAR, aplicadas técnicas de processamento e interpretação de imagens de relevo sombreado, com o objetivo de realçar lineamentos estruturais e caracterizar os padrões de deformação. Posteriormente, os resultados obtidos foram comparados com dados estruturais obtidos por mapeamento realizados pela Universidade Federal de Goiás (UFG).

A análise das imagens de relevo sombreado, revelou predominância de lineamentos com direção E-W, N-S, e NE-SW. A direção E-W provavelmente representa o controle estrutural dado pela foliação principal e reflete nos lineamentos observados na imagem de alta resolução espacial. Essa direção também reflete as orientações das cristas observadas nas serras do Quebra Rabicho e Taquari. As duas outras direções N-S e NE-SW apresentam-se bem delimitadas na análise de lineamentos estruturais. Estas direções refletem o conjunto de fraturas observados em campo. Elas podem ser interpretadas como pares conjugados de fraturas do tipo Riedel (R e R'), no qual o esforço principal ( $\sigma_1$ ) apresenta direção N35 (N35E).

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto; Análise estrutural; Lineamentos; Sintaxe dos Pireneus.

## ABSTRACT

This study presents a structural analysis based on lineaments obtained using remote sensing techniques, carried out in the region of Pirenópolis, in the state of Goiás. Geologically, the study area is part of the Pireneus Syntax, belonging to the Brasília Belt, formed during the amalgamation of Western Gondwana. The lithologies present in the area correspond to the units of the Rio do Peixe Metavolcanic-Sedimentary Sequence, Araxá Group, and Granites related to the Itapuranga Suite.

Shaded relief images were used, with four azimuth directions, namely 00°, 45°, 90°, and 315° with illumination at 45°, produced from the ALOS PALSAR elevation model. Techniques for processing and interpreting shaded relief images were applied with the aim of highlighting structural features and characterizing deformation patterns. Subsequently, the results obtained were compared with structural data obtained from mapping carried out by Universidade Federal de Goiás (UFG).

Analysis of the shaded relief images revealed a predominance of lineaments with E-W, N-S, and NE-SW directions. The E-W direction probably represents the structural control given by the main foliation and is reflected in the lineaments observed in the high spatial resolution image. This direction also reflects the orientations of the ridges observed in the Quebra Rabicho and Taquari mountain ranges. The other two directions, N-S and NE-SW, are well defined in the analysis of structural lineaments. These directions reflect the set of fractures observed in the field. They can be interpreted as conjugate pairs of Riedel-type fractures (R and R'), in which the principal stress ( $\sigma_1$ ) has a direction of N35 (N35E).

**Keywords:** Remote sensing; structural analysis, lineaments, Pireneus Syntax.

## LISTA DE SIGLAS ABREVIÇÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALOS	<i>Advanced Land Observing Satellite</i>
CSF	Cráton São Francisco
D1	Evento Deformacional 1
D2	Evento Deformacional 2
D3	Evento Deformacional 3
E–W	Leste–Oeste
ENE	Leste–Nordeste
FB	Faixa Brasília
FBN	Faixa Brasília Norte
FBS	Faixa Brasília Sul
Ga	Giga anos
GO	Goiás
JAXA	Agência Espacial Japonesa
km	Quilômetro
km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
Ma	Milhões de anos
MDT	Modelo Digital de Terreno
MHz	<i>Megahertz</i>
m	Metro
°	Graus
N–S	Norte–Sul
NE	Nordeste
NW–SE	Noroeste–Sudeste
PALSAR	<i>Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar</i>
R e R'	Pares de fraturas de Riedel
SE	Sudeste
Sm–Nd	Samário–Neodímio
SP	Sintaxe dos Pirineus
SRP	Sequência Rio do Peixe
TDM	Modelo de idade depletada
UFG	Universidade Federal de Goiás
U–Pb	Urânio–Chumbo

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Localização e acessos da área de estudo.....	18
Figura 02: Mapas geológicos regionais mostrando: A) A localização da Província Estrutural do Tocantins na América do Sul, no contexto dos crátons e bacias do Brasil; B) A localização da área na Sintaxe Pireneus, Cinturão Brasília central; e C) (modificado de Araújo Filho, 2000 <i>apud</i> Martins- Ferreira & Rodrigues, 2021).....	23
Figura 03: Sintaxe dos Pirineus. Modelo da formação da Faixa Brasília Norte e Faixa Brasília Sul. Regime tectônico invertido começa a formar o FBS como um resultado da convergência dos crátons do Rio da Prata e São Francisco (CSF). A formação da FBN se deu devido à colisão entre o Maciço de Goiás e o CSF, possivelmente começando ~ 600 Ma (deformação). Uma colisão fraca interpretada entre a ponta-NW do Maciço Central de Goiás com o Cráton Amazonas, gerou a deformação. Finalmente, a SP resultou na interação de três blocos cratônicos e uma microplaca. Fonte: (ARAÚJO FILHO <i>et al.</i> , 2000) .....	26
Figura 04: Mapa Geológico da área em estudo. Fonte: Adaptado de Araújo Filho (1999). .....	28
Figura 05: Quartzitos associados ao Grupo Araxá aflorantes na região das serras do Quebra Rabicho e do Taquari. Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues.....	30
Figura 06: Lajedo de quartzitos associados ao Grupo Araxá Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues .....	31
.....	31
Figura 07: Frente de lavra abandonada de muscovita quartzito associados ao Grupo Araxá. Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues .....	31
Figura 08: Granada-biotita-muscovita xisto associado a Unidade de Xisto do Grupo Araxá ....	32
Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues.....	32
Figura 09: Muscovita biotita gnaiss protomilonítico associados à Suíte Granítica Itapuranga. Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues.....	34
Figura 10: Relevos sombreados, produzidos a partir do modelo digital de terreno (MDT) ALOS PALSAR, de resolução espacial de 12,5 m, com iluminante nos azimute N, N45°E, E, N45°W 20	34
Figura 11: Mapas de relevo sombreado com iluminante posicionado nas direções N, N45°E, E, W e N45°W, todos com inclinação de 45°, obtidos a partir de dados do sensor PALSAR. São apresentados os lineamentos estruturais interpretados em cada imagem, acompanhados dos diagramas de rosáceas de frequência acumulada e de comprimento acumulado, agrupados em classes de intervalos de 10°. .....	35
Figura 12: Junção dos lineamentos estruturais extraídos das imagens de relevo sombreado, com eliminação dos lineamentos repetidos.....	36
Figura 13: Lineamentos estruturais interpretados na imagem de alta resolução espacial. ....	38
Figura 14: Aspecto da foliação principal em quartzitos observados na região de estudo. Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues. ....	39
Figura 15: Diagrama de roseta de frequência acumulada dos dados de foliação da região estudada.....	41
Figura 16: Estereograma com dados da foliação principal ( $S_n$ ) da área de estudo. A projeção dos dados é no hemisfério inferior em diagrama de igual-área (Rede de Schmidt). Também são representados as curvas de isofrequência de contagem de pólos e os parâmetros K (forma) e C (dispersão) de Woodcock (1977). .....	41
Figura 17: Estereograma com dados das clivagens de crenulação ( $S_{n+1}$ ) da área de estudo. A projeção dos dados é no hemisfério inferior em diagrama de igual-área (Rede de Schmidt). ....	42
Figura 18: Clivagem de crenulação observada em muscovita quartzito associados a Unidade de Quartzito do Grupo Araxá. Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues. ....	42
.....	42
Figura 19: Clivagem de crenulação observada em biotita muscovita xisto associados a Unidade de Xisto do Grupo Araxá. Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues.....	43
Figura 20: Padrão de fraturas observado na área de estudo. Na fotografia observam-se dois conjuntos claros de família de fraturas ( $F_1$ e $F_2$ ) formando um para conjugado de Riedel (R e	43

R'). O martelo está orientado na direção NE-SW que representa a direção de máximo esforço ( $\sigma_1$ ) interpretada no afloramento estudado. *Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues.* ..... 44

Figura 21: Diagrama de roseta de frequência acumulada dos dados de fraturas da região estudada. .... 45

Figura 22: Estereograma com dados de fraturas da área de estudo. As fraturas foram plotadas em projeção polar. A direção principal representativa das famílias  $F_1$  e  $F_2$  estão plotadas em projeção ciclográfica. Também são apresentadas as direções principais

de esforço máximo ( $\sigma_1$ = quadrado azul), intermediário ( $\sigma_2$  = quadrado vermelho) e mínimo ( $\sigma_3$  = quadrado rosa).

45

Figura 23: Interpretação dos esforços a partir dos dados de orientação obtidos pelos lineamentos estruturais e dados de fraturas obtidos em campo. .... 47

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	16
2. OBJETIVOS .....	17
3. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS .....	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	19
4.1. Imagens de Sensores Remotos.....	19
4.2. Análise de Lineamentos Estruturais.....	20
4.3. Dados de Campo .....	21
4.4. Inteligência Artificial.....	21
5. GEOLOGIA REGIONAL.....	22
5.1. Província Tocantins .....	22
5.1.1. Faixa Brasília.....	22
5.1.1.1. Sequência Rio do Peixe .....	24
5.1.1.2. Grupo Araxá .....	24
5.1.1.3. Sintaxe dos Pireneus.....	25
5.1.1.4. Magmatismo Associado à Sintaxe dos Pireneus.....	27
6. GEOLOGIA LOCAL/ÁREA DE ESTUDO.....	27
6.1. Sequência Metavulcano-Sedimentar do Rio do Peixe.....	29
6.2. Grupo Araxá .....	29
6.3. Granitos Intrusivos.....	33
7. RESULTADOS OBTIDOS.....	34
7.1. Análise de Lineamento Estruturais.....	34
7.2. Dados Estruturais .....	39
8. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES .....	46
REFERÊNCIAS bibliograficas .....	48

## 1. INTRODUÇÃO

As serras do Quebra-Rabicho e Taquari localizam-se no município de Pirenópolis - GO, com altitudes máxima de 1048 m, está inserida no contexto da Sintaxe dos Pirineus que estende-se por cerca de 200 km, de orientação leste - oeste, entre os municípios de Goianésia, Jaraguá, Corumbá de Goiás e Pirenópolis, que representa o limite entre as partes norte e sul da Faixa Brasília, formada na fase final da colagem Brasileira (ARAÚJO FILHO, 1999).

A ciência do Sensoriamento Remoto, consiste no conjunto de métodos e tecnologias voltados à obtenção de informações sobre objetos ou áreas sem a necessidade de contato físico direto. Essa metodologia permite medir e monitorar características biofísicas e atividades humanas, fornecendo uma visão ampla e detalhada, especialmente em regiões de difícil acesso (JENSEN, 2009).

No campo da Geologia, o uso do sensoriamento remoto na identificação e análise de lineamentos estruturais têm demonstrado resultados expressivos em estudos de mapeamento, podendo ser considerado uma etapa essencial tanto pré-campo quanto pós-campo, contribuindo significativamente para as interpretações geológicas (LOPES, 2017).

Lineamentos correspondem a estruturas lineares que interceptam a superfície terrestre, podendo ser identificados em diferentes escalas, como em mapas topográficos, imagens de satélite e fotografias aéreas (FOSSSEN, 2012). De acordo com Hobbs, (1904) *apud* Lopes, (2017), o termo *lineamento* foi introduzido para designar feições lineares expressivas da paisagem, associadas a descontinuidades geológicas. A definição proposta por O'Leary *et al.*, (1976), lineamentos são alinhamentos retilíneos ou curvilíneos observáveis remotamente, que refletem zonas de fraqueza estrutural da crosta, como falhas, fraturas, zonas de cisalhamento ou contatos litológicos.

Essas feições representam importantes indicadores de processos tectônicos e deformacionais, sendo amplamente utilizadas em mapeamentos geológicos, análises estruturais e prospecção mineral, uma vez que sua interpretação contribui para a compreensão da evolução tectônica regional e para a identificação de áreas estruturalmente complexas (LOPES, 2017).

O presente trabalho aborda a análise de lineamentos estruturais, na escala 1:10.000, em uma área de aproximadamente 140 km<sup>2</sup>, a partir de imagens obtidas por sensores remotos, empregando metodologia consolidada na literatura, como a proposta

por Goldstein e Marshak (1998). A utilização de sensores de radar e multiespectrais possibilita não apenas a identificação de padrões estruturais, mas também a inferência sobre a evolução tectônica da área de estudo, fornecendo subsídios relevantes para levantamentos geológicos futuros e para investigações de caráter ambiental (LOPES, 2017).

Após o levantamento dos lineamentos por sensoriamento remoto, os dados obtidos foram comparados às informações estruturais provenientes dos mapeamentos previamente realizados pela UFG. Essa integração permitiu validar a interpretação dos lineamentos, identificar possíveis correspondências entre as feições observadas nas imagens e as estruturas reconhecidas em afloramento, além de aprimorar a compreensão do arcabouço estrutural da área de estudo.

## **2. OBJETIVOS**

O presente estudo tem como objetivo aplicar uma metodologia de análise de lineamentos estruturais a partir de imagens de relevo sombreado, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, em uma área de aproximadamente 140 km<sup>2</sup> localizada a cerca de 6 km a noroeste da cidade de Pirenópolis (GO). A proposta visa identificar e interpretar feições estruturais associadas à deformação rúptil presente na região.

Posteriormente, busca-se comparar os lineamentos extraídos das imagens de sensoriamento remoto com dados de campo provenientes de estudos de mapeamento geológico realizados pela Universidade Federal de Goiás (UFG), a fim de avaliar a correspondência entre as feições estruturais reconhecidas remotamente e aquelas observadas na etapa de campo.

## **3. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS**

A área estudada localiza-se a aproximadamente 6 km a noroeste da cidade de Pirenópolis, na região central do estado de Goiás (Figura 01), distante cerca de 130 km de Goiânia, abrange uma área total de aproximadamente 140 km<sup>2</sup>. O território está compreendido nas folhas topográficas em escala 1:100.000: SD.22-Z-D-V (Pirenópolis) e SD.22-Z-D-IV (Jaraguá).

O acesso a partir de Goiânia é realizado pela rodovia federal BR-153 até a cidade de Anápolis. Em seguida, utiliza-se a rodovia estadual GO-414 até o distrito de

Planalmira e, posteriormente, a GO-338 até Pirenópolis. O percurso totaliza cerca de 130 km, sendo que todas as rodovias mencionadas apresentam pavimentação asfáltica em bom estado de conservação e adequada sinalização.

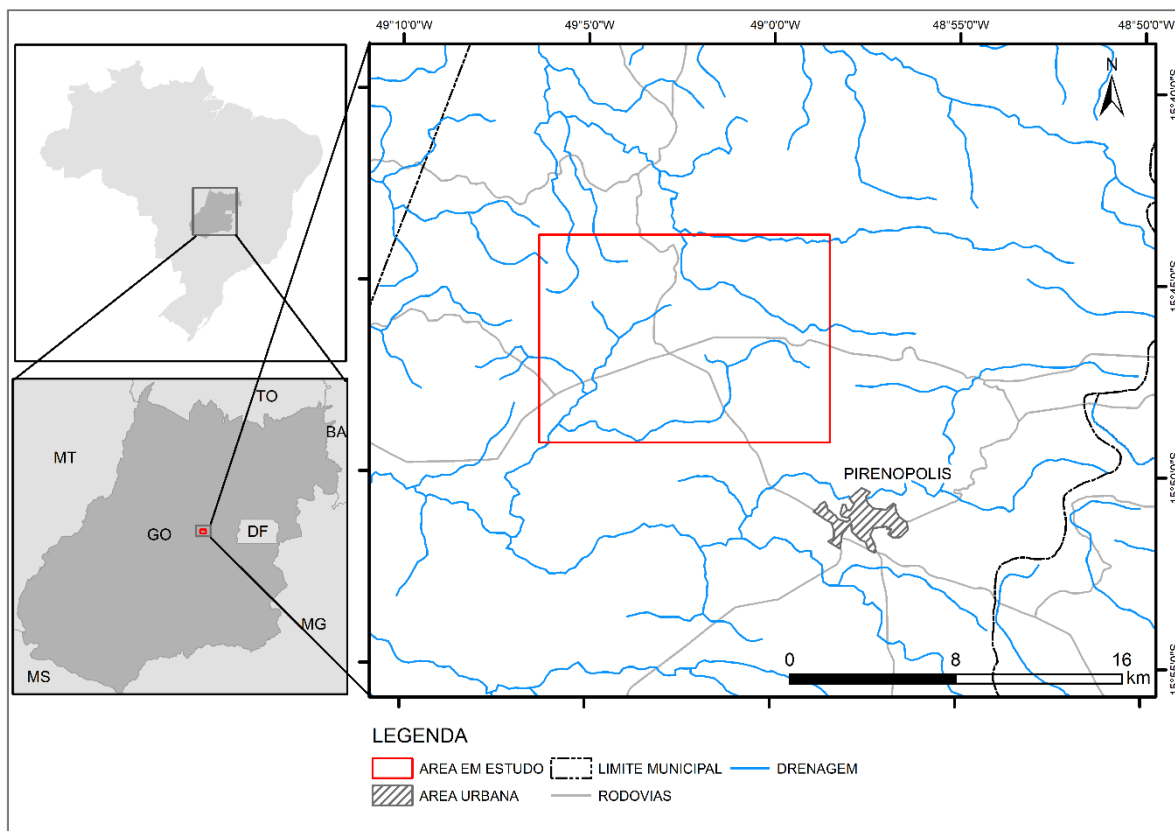


Figura 01: Localização e acessos da área de estudo.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Imagens de Sensores Remotos

No presente trabalho, foram utilizados dois tipos de imagens de sensoriamento remoto: imagens de relevo sombreado, obtidas a partir de dados de sensores de radar, e imagem óptica de sensor de alta resolução espacial.

As imagens de relevo sombreado foram geradas a partir de um modelo digital de terreno (MDT) confeccionado com dados do sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) (JAXA, 2006). O sensor PALSAR opera na frequência de 1270 MHz (Banda L) e possui resolução espacial de 10 metros no modo de varredura FINE. Para este estudo, foram utilizados dados com resolução espacial de 12,5 metros, obtidos gratuitamente por meio do portal *Alaska Facility* (2020).

A partir do modelo digital de terreno (MDT), foram confeccionadas quatro imagens de relevo sombreado, com iluminante posicionado nas direções N, N45E, E, e N45W, todas com inclinação de 45° (Figura 10). A geração dessas imagens foi realizada no *software* Global Mapper v.17 (Blue Marble Geographics, 2015).

As imagens ópticas de alta resolução espacial foram extraídas da base do Google Earth Pro (2020) por meio do *software* *TerraIncognita* v.2.41 (2023). De modo geral, essas imagens foram obtidas pelos sensores das constelações *WorldView* e *GeoEye* (MAXAR TECHNOLOGIES, 2025), que apresentam resolução espacial superior a 1 metro.

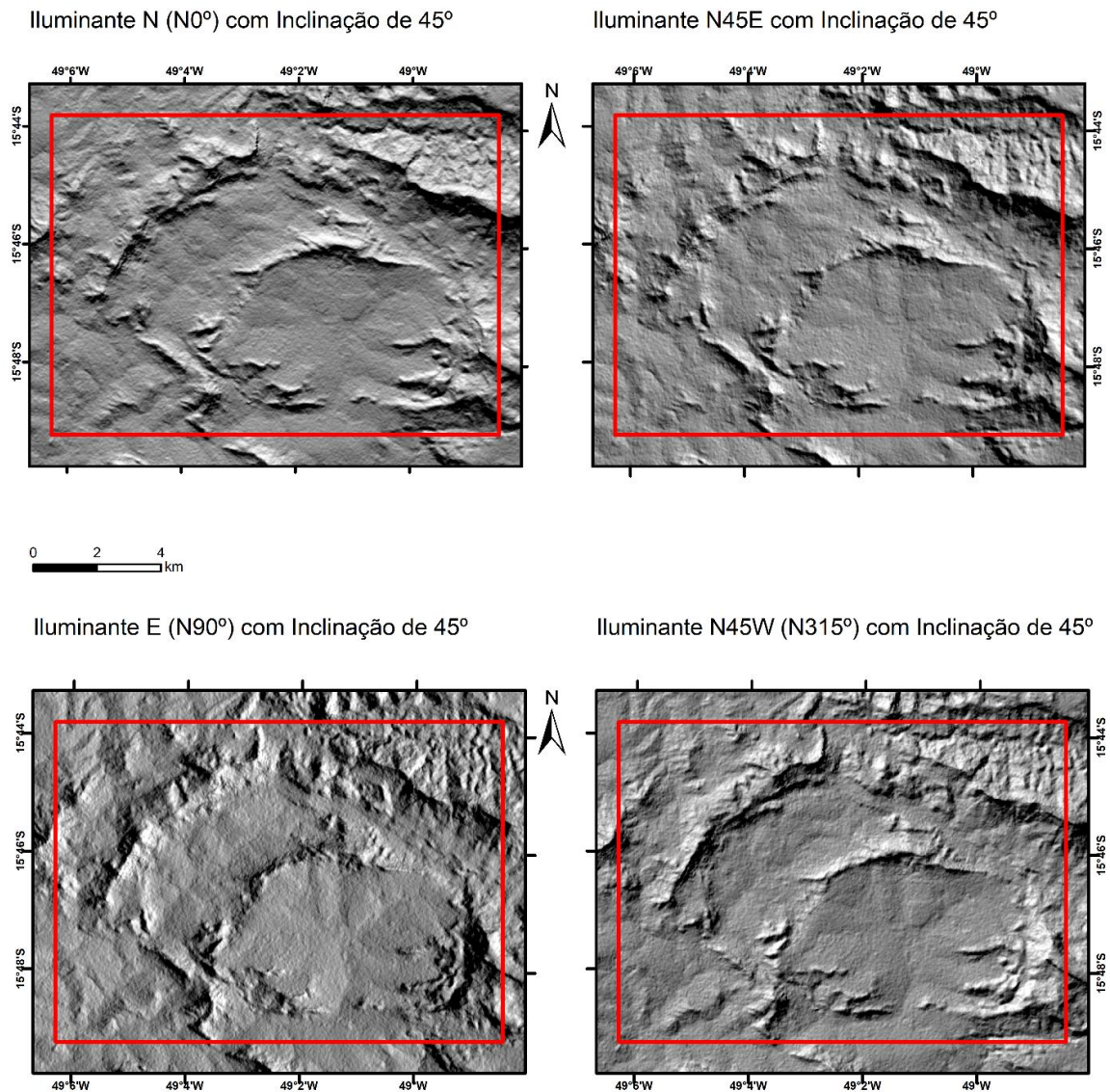


Figura 10: Relevos sombreados, produzidos a partir do modelo digital de terreno (MDT) ALOS PALSAR, de resolução espacial de 12,5 m, com iluminante nos azimute N, N45E, E, N45W.

## 4.2. Análise de Lineamentos Estruturais

A partir das imagens obtidas (relevo sombreado e óptica de alta resolução espacial) foi realizada a análise de lineamentos estruturais, conforme a metodologia descrita por Goldstein & Marshak (1998). A extração dos lineamentos a partir das imagens de relevo sombreado foi realizada na escala 1:10.000, enquanto que na imagem de alta resolução espacial utilizou-se a escala 1:2.500.

Os lineamentos foram extraídos individualmente em cada uma das imagens e, posteriormente, compilados, eliminando-se os lineamentos repetidos. As

propriedades de azimute e comprimento dos lineamentos foram obtidas automaticamente através do *software* ArcGIS (ESRI, 2023), utilizando a extensão *shape to segments*. Diagramas de rosáceas foram então gerados também com o auxílio do *software* ArcGIS (ESRI, 2023), por meio da extensão *PolarPlots*, utilizando a somatória dos comprimentos em intervalos azimutais de 10° e frequência de orientações dos lineamentos.

### 4.3. Dados de Campo

Foram compilados dados de mapeamento geológico, apresentados nos relatórios de Messias & Bezerra (2019), Ramos & Santos (2019), Guimarães & Gontijo (2019) e Silva & Aguiar (2019), contendo informações detalhadas de medições estruturais realizadas na área de estudo, como orientações de planos ( $S_n$ ) e fraturas. Esses dados foram organizados em tabelas no programa Excel (Microsoft, 2020), permitindo uma sistematização eficiente das informações coletadas em campo.

Os dados foram padronizados em notação do tipo claro, onde são representados como rumo do mergulho (*dip direction*) e mergulho (*dip*), conforme apresentado em Borradaile (2003). Posteriormente, os dados estruturais foram analisados e tratados em estereogramas utilizando o *software* Stereo 32 (ALLMENDINGER, 2002), o que possibilitou a visualização tridimensional das orientações e densidade dos planos estruturais.

Essa análise permitiu identificar padrões de orientação predominantes e a correlação entre diferentes tipos de estruturas na área estudada, fornecendo subsídios importantes para a interpretação estrutural da região. Também foram calculados parâmetros estatísticos como os parâmetros K (forma) e C (dispersão) de Woodcock (1977) e os autovetores 1 e 3 (BORRADAILE, 2003).

### 4.4. Inteligência Artificial

Durante a elaboração do presente trabalho, foi utilizada uma ferramenta gratuita de Inteligência Artificial Generativa (OPENIA, 2025), para a correção ortográfica e gramatical, padronização das normas Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e para melhorar a coesão do texto (refinamento escrita). O uso da ferramenta de Inteligência Artificial seguiu os parâmetros indicados pelo documento “Guia de Integridade Acadêmica” elaborado pelo Comitê de Integridade Acadêmica da

Universidade Federal de Goiás (REZENDE & OLIVEIRA, 2024).

## **5. GEOLOGIA REGIONAL**

### **5.1. Província Tocantins**

A Província Tocantins constitui uma unidade geotectônica formada durante o ciclo orogênico Brasileiro/Pan-Africano, no Neoproterozóico, resultante da colisão entre três grandes blocos sendo eles Amazonas, São Francisco/Congo e Paranapanema. Localiza-se na porção central da Plataforma Sul-Americana, inserida no contexto de amalgamação continental do Gondwana Ocidental (ALMEIDA, 1977).

A compartimentação da Província Tocantins foi proposta por Fuck *et al.* (1993) e Fuck (1994), que a subdividiram, de leste para oeste, nas seguintes unidades: a) Zona Cratônica (São Francisco); b) Faixa Brasília; c) Maciço de Goiás; d) Arco Magmático do Oeste de Goiás; e e) Faixas Paraguai e Araguaia. Essas subdivisões representam, respectivamente, a porção com envolvimento cratônico, os cinturões de dobramentos, o microcontinente envolvido na colisão e uma faixa de acreção crustal (PIMENTEL, 1991; FUCK, 1992).

#### **5.1.1. Faixa Brasília**

A área de estudo está inserida na porção central da Faixa Brasília (FB) (Figura 02), um cinturão móvel desenvolvido durante o Neoproterozoico, na margem oeste do Cráton São Francisco (ALMEIDA *et al.*, 1977). A faixa possui aproximadamente 1.200 km de extensão e direção predominante norte-sul e 300 km de largura (MOREIRA *et al.*, 2008), ocupa ampla área na região central do Brasil, abrangendo os estados de Goiás, Tocantins, Minas Gerais e o Distrito Federal.

A Faixa Brasília é caracterizada por terrenos alóctones, fragmentos crustais e sequências metassedimentares que se sobrepõem ao Cráton São Francisco por meio de sistemas de cavalgamento (DARDENNE, 2000). Estruturalmente, é definida como um conjunto de terrenos empurrados em direção ao leste, apresentando vergência nessa direção (FUCK, 1994; DARDENNE, 2000).

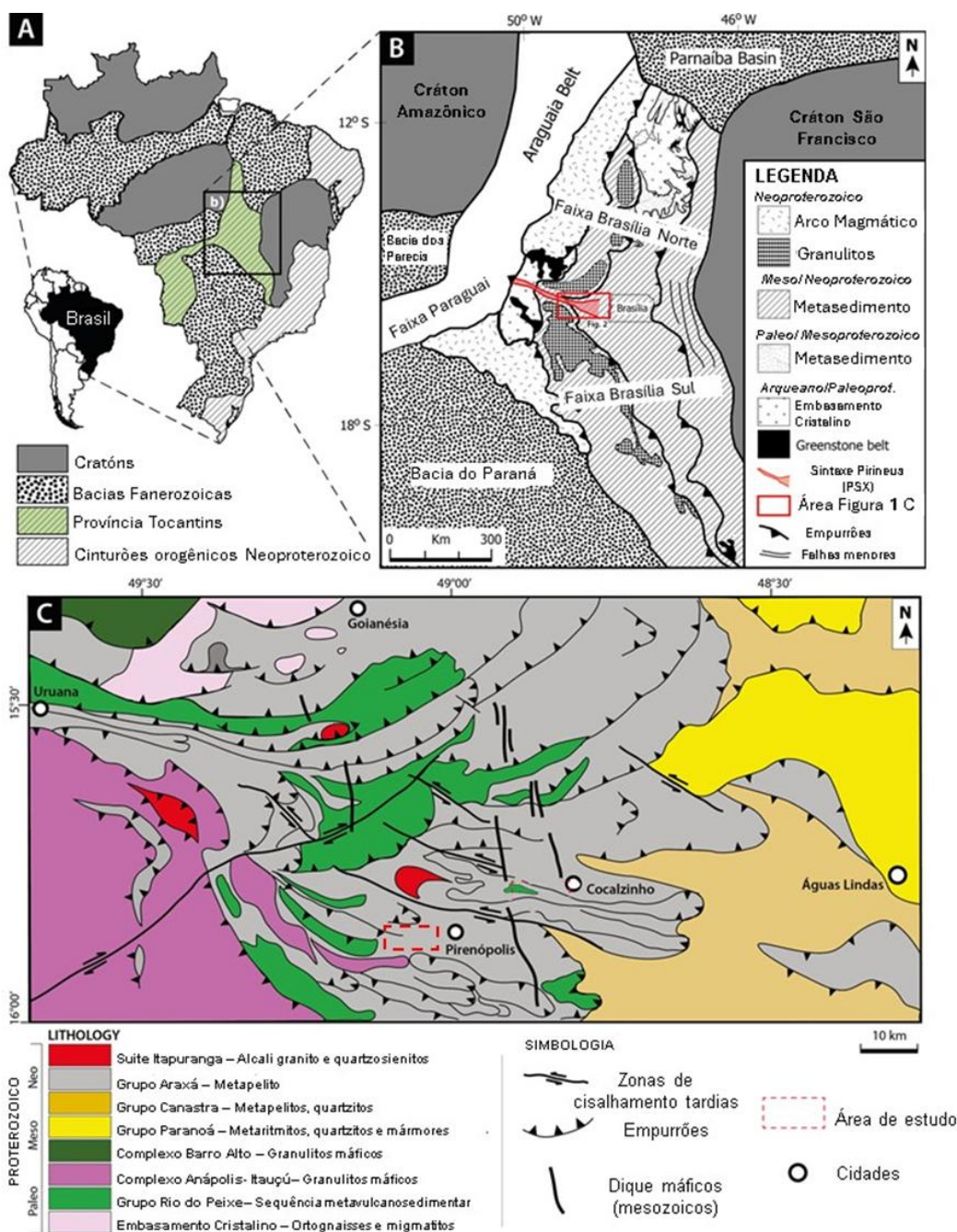


Figura 02: Mapas geológicos regionais mostrando: A) A localização da Província Estrutural do Tocantins na América do Sul, no contexto dos cratões e bacias do Brasil; B) A localização da área na Sintaxe Pirineus, Cinturão Brasília central; e C) (modificado de Araújo Filho, 2000 *apud* Martins- Ferreira & Rodrigues, 2021).

Araújo Filho *et al.*, 2000 apresentou uma divisão da Faixa Brasília, que pode ser compreendida a partir de dois ramos de orientações e regimes deformacionais distintos: a Faixa Brasília Setentrional (Faixa Brasília Norte – FBN), com direção NE, e a Faixa Brasília Meridional (Faixa Brasília Sul – FBS), com direção SE. A interseção desses dois ramos ocorre aproximadamente na latitude de Brasília, configurando a Sintaxe dos Pirineus (SP), caracterizada por lineamentos de orientação NE. Na zona da

sintaxe, as estruturas deformacionais da porção setentrional são mais jovens, sobrepondo-se às associadas ao cavalgamento das *nappes* meridionais (VALERIANO *et al.*, 2004).

Uma segunda proposta de se subdividir a Faixa Brasília é baseada no grau de metamorfismo, sendo este aumentando no sentido de leste para oeste onde é possível diferenciar duas zonas principais: Zona Externa, Zona Interna (COSTA & ANGEIRAS, 1971; DARDENNE, 1978; FUCK *et al.*, 1994; DARDENNE, 2000).

A Zona interna da Faixa Brasília abrange um ambiente de Bacia Marginal de Arco, e é composto pelas Sequências Metavulcanossedimentares Rio do Peixe, Rio Veríssimo, Maratá, Metassedimentares do Grupo Araxá e corpos Máficos Ultramáficos do Tipo Morro Feio. Estruturalmente é configurado por um sistema de *nappes* com vergência em direção ao Cráton São Francisco (MOREIRA *et al.*, 2008). A área de estudo está situada na Zona Interna, na região conhecida na literatura como Sintaxe dos Pirineus definida nos trabalhos de Araújo Filho (1999) e Araújo Filho *et al.* (2000).

#### 5.1.1.1. Sequência Rio do Peixe

A Sequência Rio do Peixe (SRP) é posicionada na base do Grupo Araxá (RIBEIRO FILHO & GONÇALVES, 1981) e caracteriza-se como sequência metavulcanossedimentar de idade possível Paleoproterozoica (ARAÚJO FILHO, 1999 *apud* RESS, 2019). De acordo com Thomé Filho (1994) e Cuadros Justo (1994), a SRP constitui uma unidade distinta dos metassedimentos do Grupo Araxá.

Nascimento, 1985 *apud* Moreira 2008, divide esta sequência em dois grupos, sendo um inferior vulcânico que compreende os litotipos anfíbolitos, rochas ultramáficas e intercalações de rochas calcissilicáticas e metacherts e um grupo superior sedimentar composto pelos litotipos quartzo xistos, quartzitos, xistos feldspáticos, micaxistos e anfíbolitos em menor expressão.

Esta unidade apresenta paragêneses minerais que a enquadra nas fácies xisto verde a anfíbolito baixo, com indícios de retrometamorfismo para a fácies xistos verdes baixa, zona da clorita (THOMÉ FILHO, 1994)

#### 5.1.1.2. Grupo Araxá

O Grupo Araxá foi definido inicialmente por Barbosa (1955) *apud* Moreira *et al.*, (2008), como xistos verdes, micaxistos e migmatitos, posteriormente subdividido

em unidades A e B (BARBOSA *et al.*, 1967, 1970a *apud* Moreira *et al.*, (2008). A unidade A inclui quartzitos e micaxistos com granada, turmalina ou cordierita e rochas feldspáticas; a unidade B apresenta lentes de calcários micáceos marmorizados com intercalações de quartzitos (MOREIRA *et al.*, 2008)

Metamáficas, incluindo anfibolitos de diferentes granulometrias e metaultramáficas como serpentinitos, foram registradas na região (SEER, 1999; SEER *et al.*, 2001). Corpos graníticos sin-colisionais têm idade U-Pb (zircão) de  $637 \pm 1$  Ma (VALERIANO *et al.*, 2004). Lentes ultramáficas serpentinizadas associadas a metapelitos e *metacherts* configuram melange ofiolítica (BROD *et al.*, 1991; STRIEDER & NILSON, 1992a).

O metamorfismo aumenta para oeste, atingindo a zona da biotita, com gnaisses na base e sequência *flyschoides* sobreposta, composta por muscovita-biotita-xistos granatíferos com cianita e estauroлита, além de mármore. Dois conjuntos tectono-estratigráficos podem ser identificados, refletindo ambientes tectônicos distintos (SABARAENSE, 2016).

### 5.1.1.3. Sintaxe dos Pireneus

A porção central da Faixa Brasília é caracterizada por uma mudança abrupta na orientação dos *trends* regionais, onde os lineamentos deixam de apresentar direção predominantemente N-S e passam a assumir direção E-W. Essa inflexão estrutural segmenta a faixa em dois domínios principais: Faixa Brasília Norte e Faixa Brasília Sul. A estrutura resultante, conhecida como Sintaxe dos Pirenéus, estende-se por mais de 200 km entre os municípios de Jaraguá, Goianésia, Corumbá de Goiás e Pirenópolis. Sua formação está associada às fases finais da colagem brasileira (ARAÚJO FILHO, 1999, 2000).

Do ponto de vista tectônico, dois modelos foram propostos para explicar a formação da sintaxe. No primeiro, interpreta-se que a estrutura surgiu a partir da colisão da faixa com uma protuberância rígida localizada na borda oeste do Cráton São Francisco, o que teria provocado o arqueamento da Faixa Brasília (FONSECA, 1996 *apud* RESS, 2019).

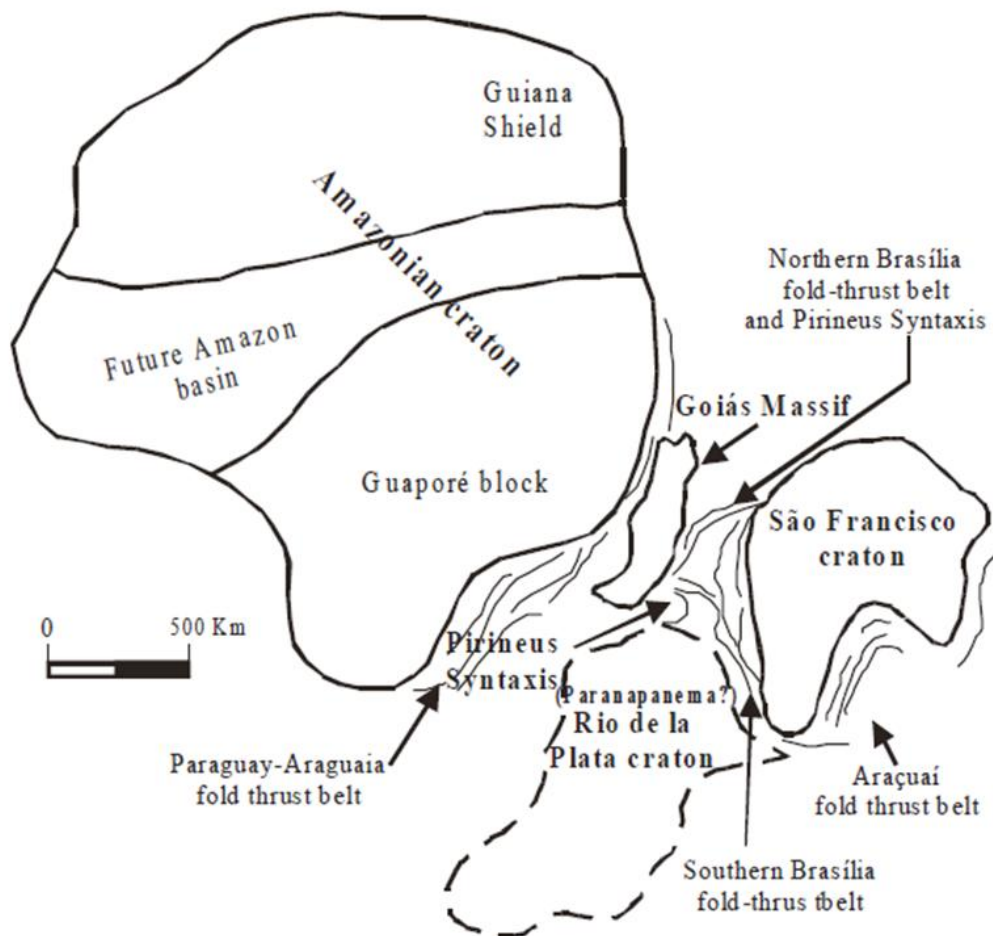


Figura 03: Sintaxe dos Pirineus. Modelo da formação da Faixa Brasília Norte e Faixa Brasília Sul. Regime tectônico invertido começa a formar o FBS como um resultado da convergência dos crátons do Rio da Prata e São Francisco (CSF). A formação da FBN se deu devido à colisão entre o Maciço de Goiás e o CSF, possivelmente começando ~ 600 Ma (deformação). Uma colisão fraca interpretada entre a ponta-NW do Maciço Central de Goiás com o Crátón Amazonas, gerou a deformação. Finalmente, a SP resultou na interação de três blocos cratônicos e uma microplaca. Fonte: (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2000)

Um segundo modelo tectônico foi proposto por Araújo Filho (2000), nele o autor coloca que ocorreram três fases de deformação em sentido oblíquo, a primeira teria inicialmente em regime colisional (D1) pela convergência dos crátons Paranapanema e São Francisco, ocorrido em função de um esforço WSW para ENE, o que gerou a exumação dos corpos do embasamento pertencentes ao grupo Rio do Peixe. Em seguida, desenvolveu (D2) pela colisão entre o Maciço de Goiás e o São Francisco (~600 Ma), geradas por esforço no sentido NNW para SSE. Os eventos deformacionais compressivos de direção WSW-ENE foram finalizados pela colisão (D3) do Maciço Central de Goiás com o Crátón Amazônico (ARAÚJO FILHO, 2000) (Figura 03).

#### 5.1.1.4. Magmatismo Associado à Sintaxe dos Pireneus

Na porção central da Faixa Brasília, associada à SP, ocorrem afloramentos de corpos graníticos, como a Suíte Granítica Itapuranga e o Sienito de Uruana. A Suíte Itapuranga é composta por granitos pós- a tardiorogênicos, derivados de fusão crustal durante o Neoproterozóico, nos estágios finais do ciclo Brasileiro (SILVA, 2018). As idades de cristalização são de  $624 \pm 10$  Ma, coincidindo com o pico metamórfico da orogênese Brasileira, entre 640 e 620 Ma, registrado no Complexo Anápolis-Itauçu (PIMENTEL *et al.*, 2003; SILVA, 2018).

Os litotipos do Granito Itapuranga incluem biotita granitos e biotita-hornblenda granitos, com gradações para gnaisses e migmatitos, limitados por extensas faixas miloníticas (SILVA, 2018). Os sienitos ocorrem como corpos alongados na direção NW-SE, geralmente com composição quartzo-sienítica a granodiorítica, relacionados a processos de fusão parcial e metassomatismo do manto litosférico, e em menor grau, do manto astenosférico (SANDOVAL, 2016).

## 6. GEOLOGIA LOCAL/ÁREA DE ESTUDO

Na área de estudo ocorrem unidades relacionadas à Faixa Brasília Sul. As unidades litoestratigráficas aflorantes são correlacionadas a duas sequências de rochas metassedimentares (Sequência Metavulcano-Sedimentar do Rio do Peixe e Grupo Araxá) e a uma série de granitos intrusivos deformados (Figura 04). A cartografia geológica utilizada foi compilada de Araújo Filho (1999), com atualizações na estratigrafia a partir dos dados geocronológicos Silva (2018).

Da base para o topo na sequência estratigráfica ocorrem a rochas associadas a Sequência Metavulcano-Sedimentar do Rio do Peixe, os metassedimentos do Grupo Araxá e uma série de corpos ígneos intrusivos associados a Suíte Itapuranga (SILVA, 2018).

### MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO

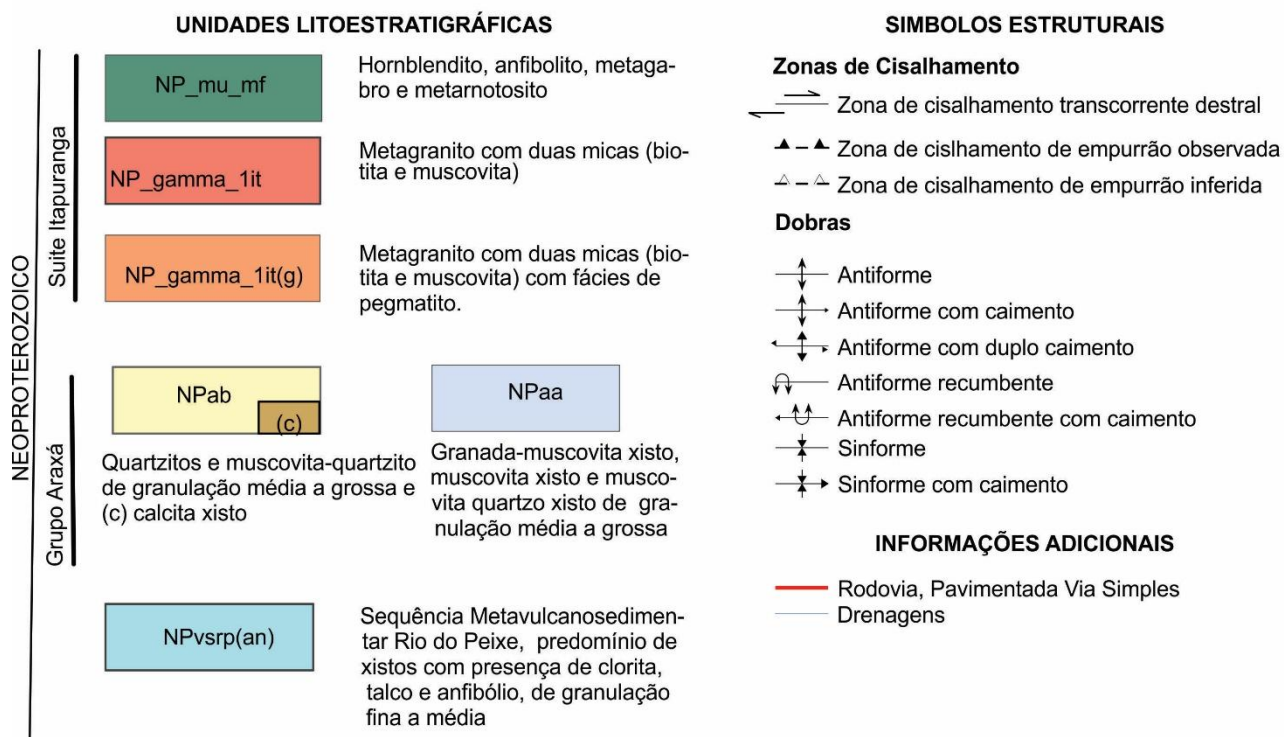
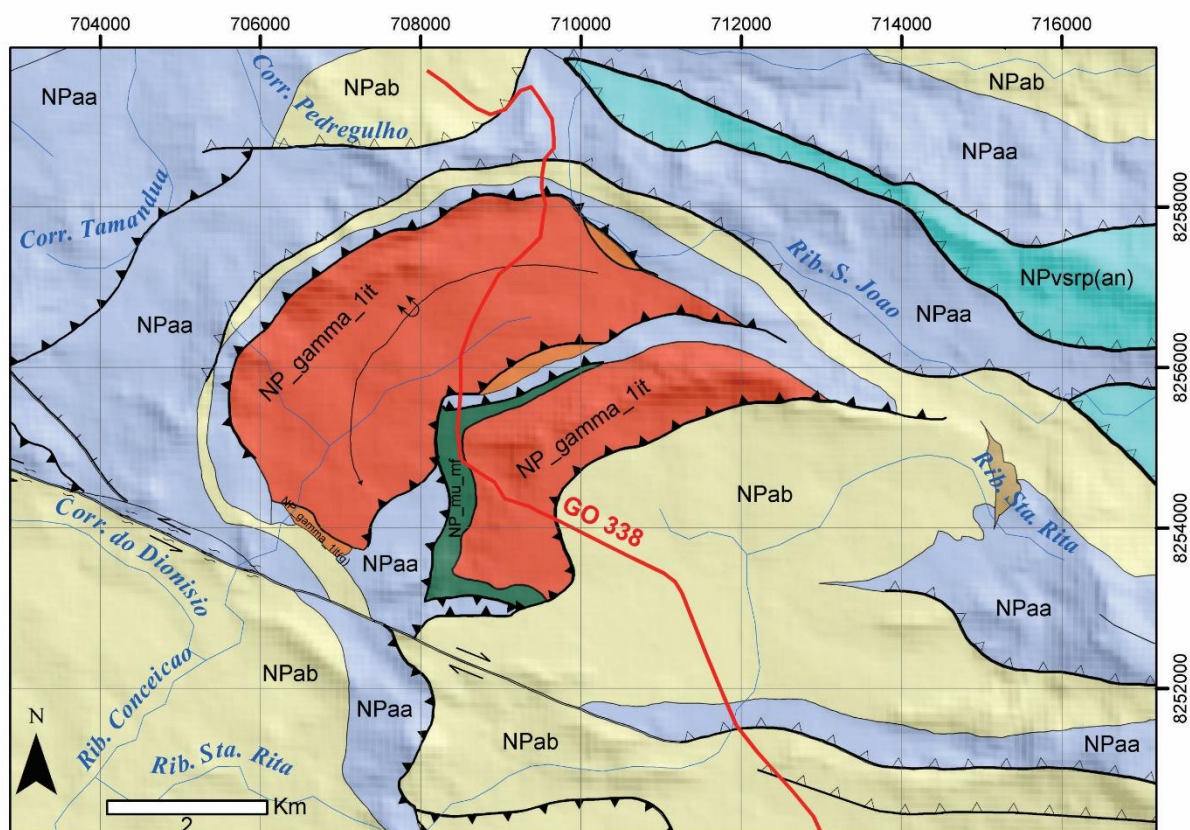


Figura 04: Mapa Geológico da área em estudo. Fonte: Adaptado de Araújo Filho (1999).

### 6.1. Sequência Metavulcano-Sedimentar do Rio do Peixe

Esta unidade geológica é caracterizada por uma sequência vulcânica-sedimentar de idade Paleo/Mesoproterozóica. As unidades inferiores da sequência consistem em rochas máficas vulcânicas e nas unidades superiores por rochas félsicas-vulcanoclásticas. Nas regiões metamorfizadas predominam rochas da fácies anfíbolito, retrógrados localmente para epidoto anfíbolito (ARAÚJO FILHO, 2000).

Esta sequência é caracterizada por Thomé Filho *et al.*, (1994), como rochas metassedimentares onde predominam cloritoide-muscovita-quartzo-xistos, clorita-xistos, muscovita-quartzitos, cloritoide-muscovita-quartzitos, granada-cloritoide-muscovita-xistos, cianita-clorita-muscovita-cloritoide-quartzo-xistos, clorita-muscovita-quartzo-xistos. Os xistos apresentam textura granular lepidoblástica fina ou porfiroblástica com matriz Granolepidoblástica, os quartzitos por sua vez são grano clásticos finos. Há presença de *ribbons* de quartzo, sigmóides do tipo mica *fish* e bandamento composicional indicando os eventos deformacionais (THOMÉ FILHO, 1994).

As rochas metabásicas são caracterizadas por anfíbolitos com textura nematoblástica a granonematoblástica, fina a muito fina, foliados, com assembleia mineralógica neoformada (THOMÉ FILHO, 1994).

As rochas da Sequência Metavulcano-Sedimentar do Rio do Peixe ocorrem na parte nordeste da área de estudo, com direção NW-SE. Ocorre com uma lente imbricada tectonicamente por zonas de cisalhamento de empurrão com as rochas do Grupo Araxá. Ramos & Santos (2019) indicam que na região de estudos predominam como litotipo principal nesta unidade um talco-xisto, de granulação fina, textura lepidoblástica e cor esverdeada. Os autores também descrevem que a mineralogia é composta por talco, clorita e biotita, sendo que subordinadamente ocorrem carbonatos associados.

### 6.2. Grupo Araxá

O Grupo Araxá foi interpretado por Pimentel, 2016 *apud* Ress, 2019, como sendo uma sequência de sedimentos sin-orogênicos, depositados em uma grande bacia do tipo *back-arc/fore-arc*, formado em ambiente de plataforma rasa e marinha.

Neste grupo predominam quartzitos micáceos, micaxistos, calcixistos, estaurolita-xistos, xistos feldspáticos, e intercalações de paragnaisses com mármore

(Dardenne *et al.*, 1991 *apud* Ress 2019). Na área de estudo, predominam quartzitos do Grupo Araxá que controlam estruturalmente as serras elevadas da região (Figura 05).



Figura 05: Quartzitos associados ao Grupo Araxá aflorantes na região das serras do Quebra Rabicho e do Taquari. Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues.

Na área de estudo ocorrem duas unidades litoestratigráficas associadas ao Grupo Araxá. Caracterizam-se como lascas imbricadas tectonicamente associadas a zonas de cisalhamento de empurrão de médio ângulo de mergulho. As unidades seriam uma com predomínio de quartzitos (NPab) e a outra de xistos (Npaa).

A Unidade de Quartzitos (NPab) do Grupo Araxá ocorre como corpos imbricados tectonicamente orientados NW-SE por toda a área de estudo. Ocorrem como extensas lajes ou paredões rochosos na paisagem (Figura 06). Predominam nesta unidade quartzitos e muscovita-quartzitos, a textura varia de granoblástica e lepidogranoblástica, a cor varia de branco a bege e a granulação varia de média a grossa.

Na área de estudo ocorrem pequenas frente de lavras, no geral abandonadas, onde provavelmente eram extraídas como pedras decorativas (pedra goiana ou mineira), conforme (Figura 07).



Figura 06: Lajedo de quartzitos associados ao Grupo Araxá Fonte:  
Fotografia cedida  
por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues



Figura 07: Frente de lavra abandonada de muscovita quartzito associados ao Grupo Araxá. Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues

A Unidade de Xisto (NPaa) do Grupo Araxá apresenta distribuído na área de estudo com comportamento parecido com a unidade de Quartzito (NPab). Ocorrem como extensas lajes ou paredões rochosos na paisagem. Predominam nesta unidade Granada-biotita- muscovita-xisto (Figura 08), ocorrendo variações de Biotita-muscovita-xisto e Biotita-muscovita-quartzo-xisto. A textura varia de porfirogranoleipoblástica a lepidogranoblástica, a cor varia de cinza clara a cinza escura e granulação varia de média a grossa.



Figura 08: Granada-biotita-muscovita xisto associado a Unidade de Xisto do Grupo Araxá .

*Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues*

### 6.3. Granitos Intrusivos

Na área de estudo ocorrem pequenos corpos de rochas graníticas na região de estudos, no geral apresentam granulação fina e desenvolvimento de texturas miloníticas e protomiloníticas (NP\_γ\_1it). No geral, apresentam intrusivos nas rochas do Grupo Araxá. Alguns destes corpos podem ser correlacionados com as Suítes graníticas Itapuranga (PIMENTEL *et al.*, 1999) ou Aragoiânia (TASSINARI *et al.*, 1988 *apud* MOREIRA *et al.* 2008).

A Suíte granítica Itapuranga está inserida no domínio das rochas do Complexo Núcleo Metamórfico de Alto Grau e ocorre intrudido nos metassedimentos do Grupo Araxá (PIMENTEL *et al.*, 1999), associados com cinturão de dobras e empurrões representando magmatismo de composição subalcalino potássico (shoshonítico). Petrograficamente apresenta-se caracterizado por sienogranitos, quartzo-sienitos e monzogranitos. Apresenta idade de cristalização neoproterozóica de  $624 \pm 10$  Ma (U-Pb em zircões), enquanto análises Sm-Nd apresentam idades TDM de 1,44 Ga e valores de  $\epsilon_{Nd}$  entre -5.1 e -5.7 (OLIVEIRA 1997, PIMENTEL *et al.*, 2003)

Na região de estudo ocorrem dois corpos possivelmente associados à Suíte Granítica Itapuranga caracterizado por Silva (2018) e cartografados por Araújo Filho (1999). Esses corpos ocorrem na parte central da área de estudo, e também apresentam forte controle estrutural associado às zonas de cisalhamento de empurrão. Ocorrem como pequenos lajedos ou como matacões e blocos.

O litotipo predominante é um muscovita biotita gnaiss (ou metagranito), aspecto foliado, de granulação média a grossa, com textura milonítica a protomilonítica (Figura 09), cor cinza a branca. Também ocorrem associados aos plútons da área de estudo fácies com pegmatito (NP\_γ\_1it(g)) e máficas (NP\_mu\_mf). Na fácies máfica predominam hornblenditos, de granulação média a grossa, textura granonematoblástica, cor preta e granulação média a grossa.



Figura 09: Muscovita biotita gnaíse protomilonítico associados à Suíte Granítica Itapuranga.

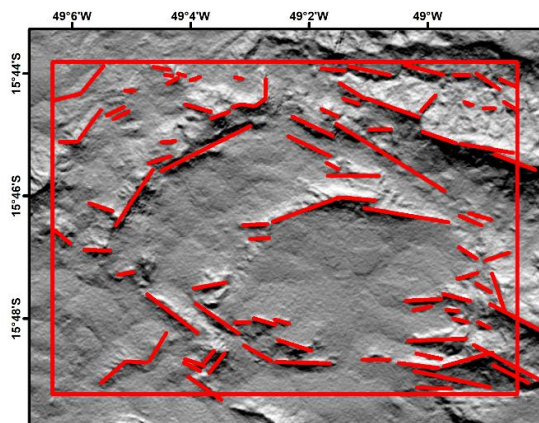
Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues.

## 7. RESULTADOS OBTIDOS

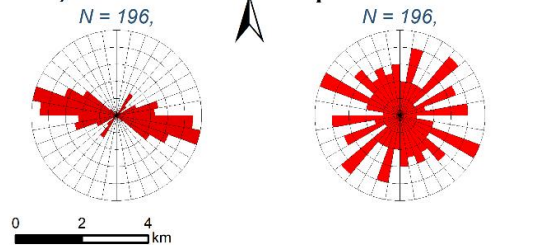
### 7.1. Análise de Lineamento Estruturais

A Figura 11 apresenta o conjunto de lineamentos estruturais interpretados a partir das quatro imagens de relevo sombreado geradas. Cada imagem foi elaborada com diferentes direções de iluminação artificial (iluminantes) posicionados a N, N45E, E, e N45W, todas com ângulo de incidência de 45°. A variação na orientação do iluminante teve como objetivo realçar feições lineares com diferentes direções preferenciais, permitindo uma melhor identificação e caracterização dos padrões estruturais presentes na área de estudo. Esse procedimento possibilitou a distinção de lineamentos que poderiam não ser evidenciados sob uma única condição de iluminação, contribuindo para uma interpretação mais completa e precisa da rede de fraturas e zonas de cisalhamento.

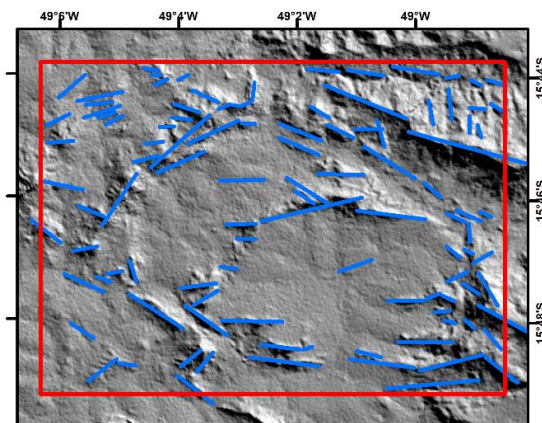
Iluminante N (N0°) com Inclinação de 45°



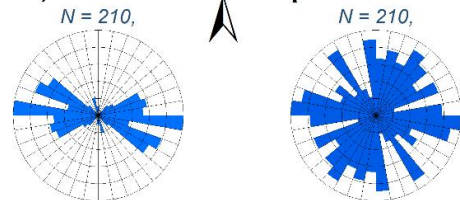
Direção Preferencial N Comprimento Acumulado



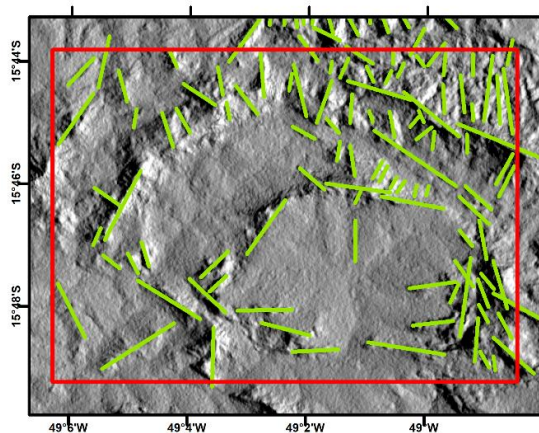
Iluminante N45E com Inclinação de 45°



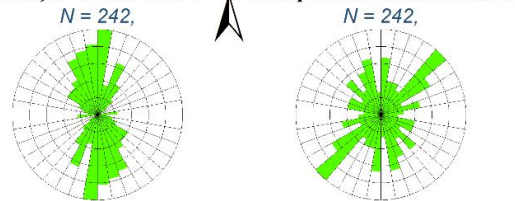
Direção Preferencial N Comprimento Acumulado



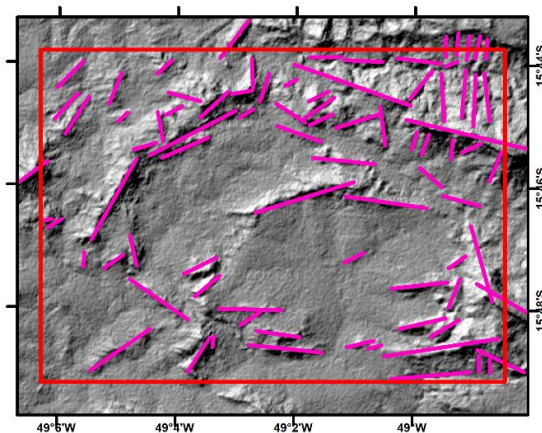
Iluminante E (N90°) com Inclinação de 45°



Direção Preferencial N Comprimento Acumulado



Iluminante N45W (N315°) com Inclinação de 45°



Direção Preferencial N Comprimento Acumulado

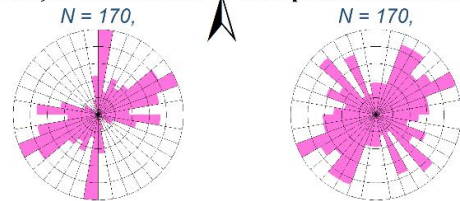


Figura 11: Mapas de relevo sombreado com iluminante posicionado nas direções N, N45E, E, e N45W, todos com inclinação de 45°, obtidos a partir de dados do sensor PALSAR. São apresentados os lineamentos estruturais interpretados em cada imagem, acompanhados dos diagramas de rosáceas de frequência acumulada e de comprimento acumulado, agrupados em classes de intervalos de 10°.

Após a extração dos lineamentos com iluminação nas quatro direções propostas (N, N45E, E e N45W), realizou-se a junção dos arquivos vetoriais por meio da ferramenta de união (*Merge*) do *software* ArcMap. Esse procedimento permitiu identificar e eliminar feições repetidas, resultando no mapa apresentado na Figura 12.

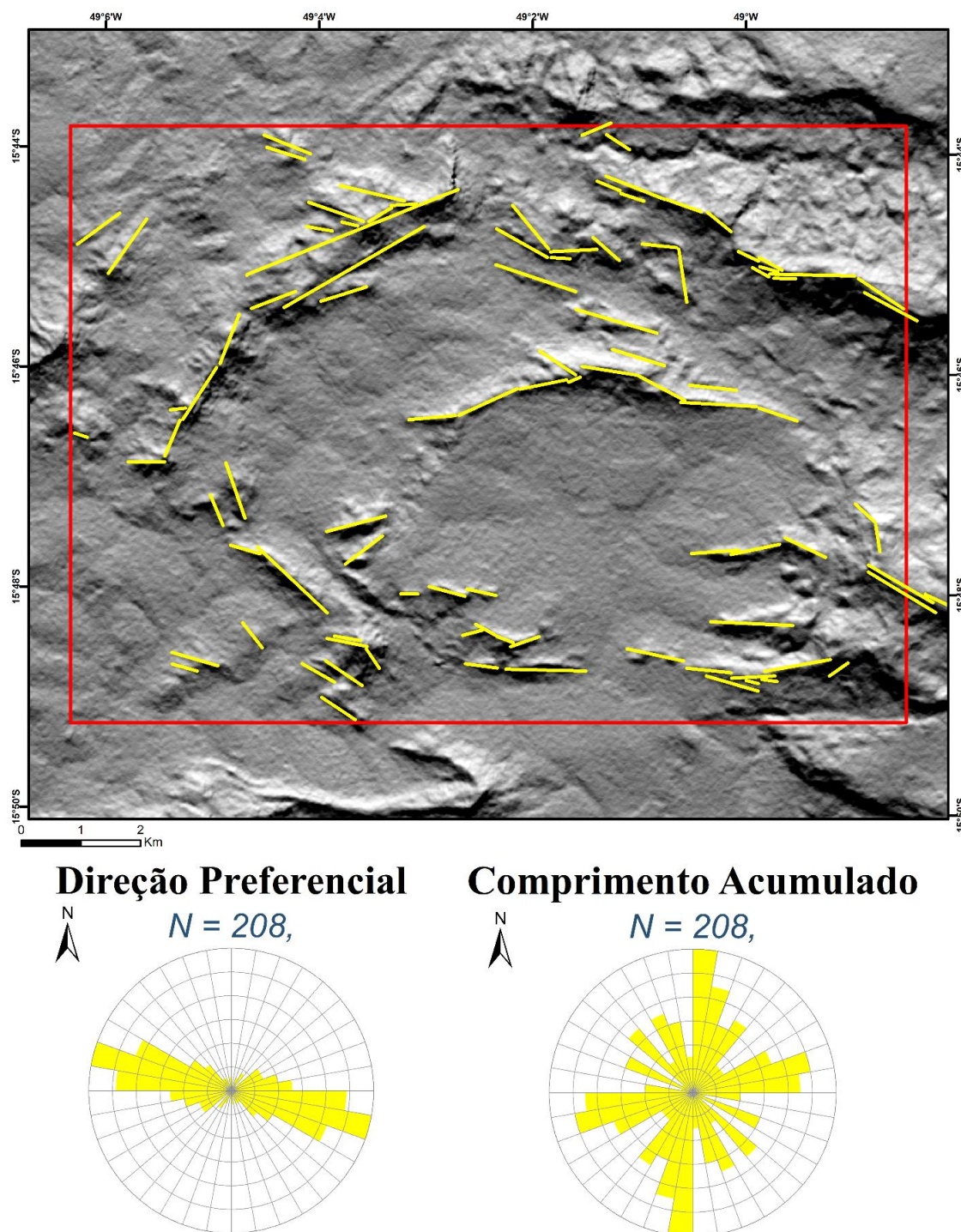
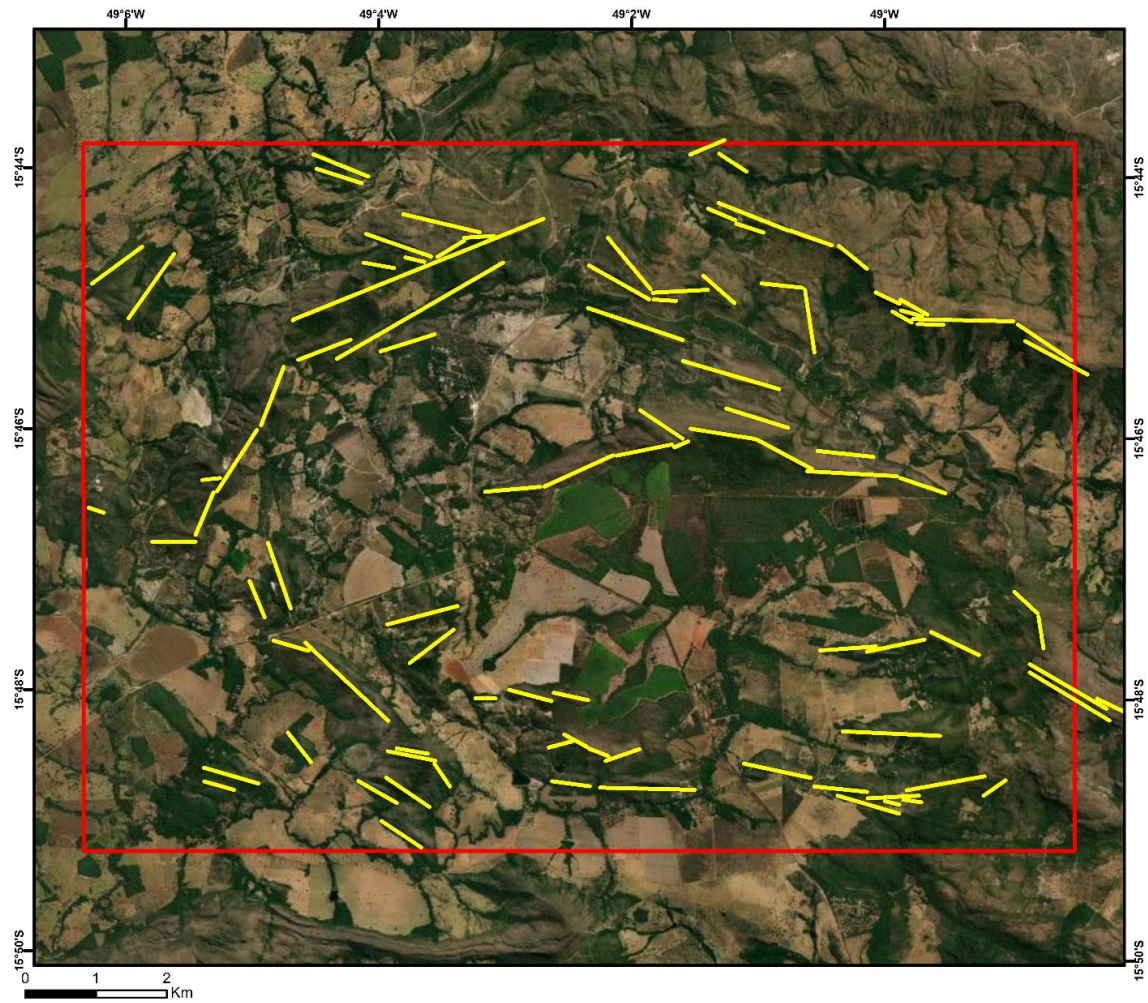


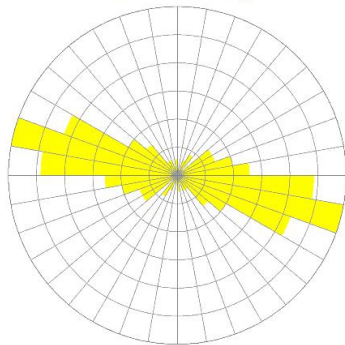
Figura 12: Junção dos lineamentos estruturais extraídos das imagens de relevo sombreado, com eliminação dos lineamentos repetidos.

A Figura 13 apresenta os lineamentos estruturais interpretados a partir da imagem de alta resolução espacial. A utilização dessa imagem possibilitou a identificação de feições lineares de menor escala e maior detalhamento, complementando as interpretações obtidas nas imagens de relevo sombreado. A análise em alta resolução permitiu ainda refinar a delimitação dos traços estruturais, contribuindo para uma caracterização mais precisa das direções predominantes de fraturas e zonas de cisalhamento presentes na área de estudo.



### Direção Preferencial

$N = 208,$



### Comprimento Acumulado

$N = 208,$

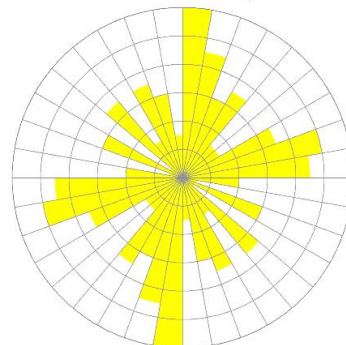


Figura 13: Lineamentos estruturais interpretados na imagem de alta resolução espacial.

## 7.2. Dados Estruturais

No trabalho foram compilados dados estruturais relativos ao trabalho de mapeamento geológico realizados na área de estudo pela UFG no ano de 2019 (MESSIAS & BEZERRA, 2019; RAMOS & SANTOS, 2019; GUIMARÃES & GONTIJO, 2019 e SILVA & AGUIAR, 2019). Foram separados dados relativos à foliação principal ( $S_n$ ) e de fraturas.

A foliação principal (Figura 14) no geral é caracterizada como uma xistosidade ( $S_1$ ), no geral paralela a um bandamento composicional ( $S_0$ ). Esta foliação é o principal controle estrutural observado na região, apresentando direção preferencial NW-SE a WNW - ESE (Figura 15) e possivelmente apresenta-se dobrada (Figura 16).



Figura 14: Aspecto da foliação principal em quartzitos observados na região de estudo. *Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues.*

A figura 16 que representa os dados da foliação principal indica importantes características da região de estudo. Na figura também são apresentados

parâmetros estatísticos como os parâmetros K (forma) e C (dispersão) de Woodcock (1977) e os autovetores 1 e 3.

O padrão de curvas de isofrequências de contagem de polos (contorno de densidade) observado pode ser associado a superfícies dobradas suaves e levementes simétricas, conforme os padrões de contorno apresentadas em Ragan (1968), Rowland *et al.* (2007) e Lisle & Leyshon (2018). As curvas também apresentam concentrações máximas próximas ao centro do estereograma o que indica predomínio de foliações de baixo a médio ângulos na região.

O autovetor 3 calculado indica que o eixo da dobra observado no estereograma apresenta orientação 303/45 e é associado a uma guirlanda calculada com orientação N33E/45SE. O autovetor 1 calculado indica uma concentração máxima de polos em 111/75 e delimita um plano axial com orientação N33E/14NW. Os autovetores indicam que na região predominam dobras com eixo e plano axial inclinado, indicando que seriam dobras do tipo inclinadas com caimento (Fleuty, 1964 *apud* Fossen, 2012).

O parâmetro K (forma) apresenta valor da ordem de 1,38 indicando que há uma tendência de distribuição próximo ao limite dos comportamentos de guirlandas e unimodais, conforme Woodcock (1977) e Borradaile (2003). Esse comportamento de transição é claramente observado no estereograma pela forte dispersão dos pólos ao longo da guirlanda calculada (N33E/45SE). O parâmetro C (dispersão) apresenta valor de 1,79 que indica que há dispersão dos dados. Ambos os parâmetros indicam que o dobramento observado na área de estudo é afetado por fases tardias de deformação. Evidências dessas fases tardias na área de estudo são observadas pela presença de clivagens de crenulação que afetam as rochas da região (Figuras 17, 18 e 19).

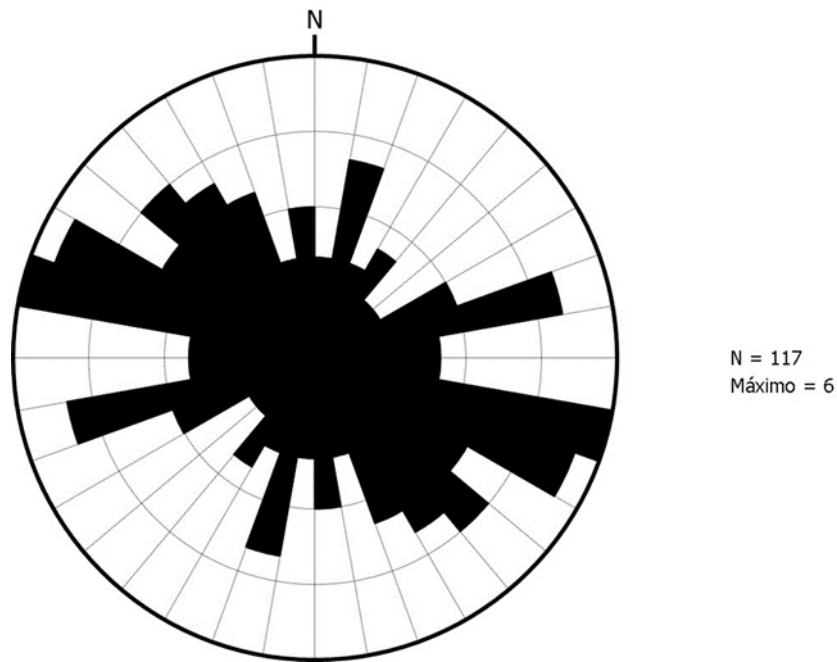


Figura 15: Diagrama de roseta de frequência acumulada dos dados de foliação da região estudada.

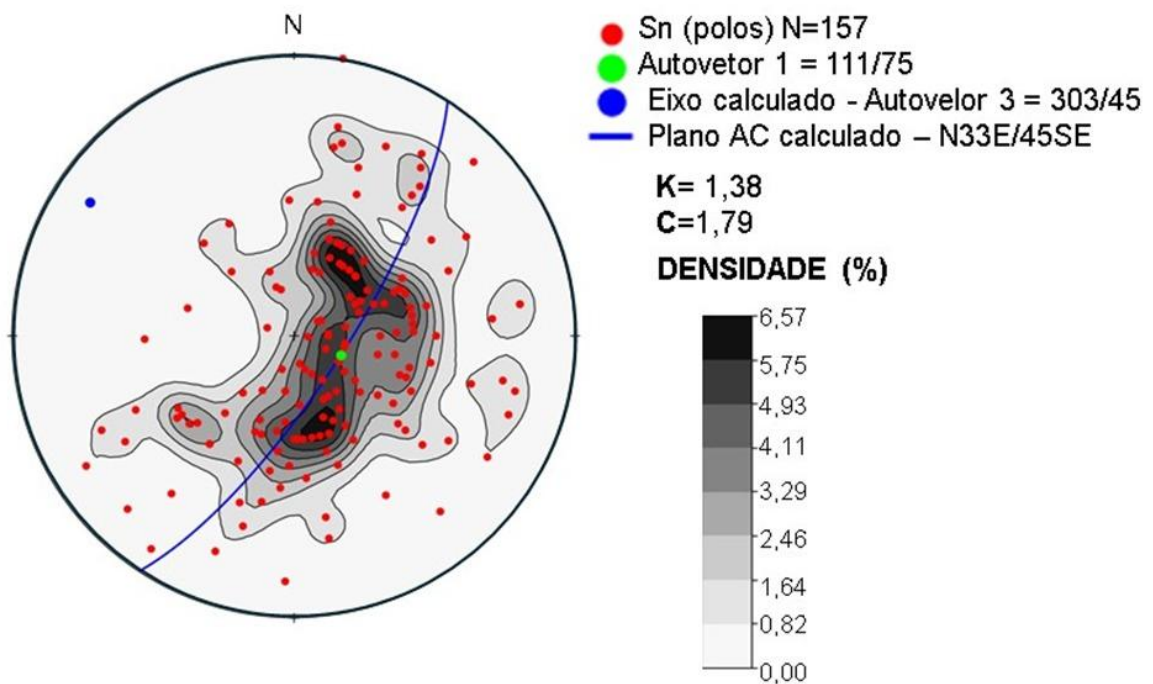


Figura 16: Estereograma com dados da foliação principal ( $S_n$ ) da área de estudo. A projeção dos dados é no hemisfério inferior em diagrama de igual-área (Rede de Schmidt). Também são representados as curvas de isofrequência de contagem de pólos e os parâmetros K (forma) e C (dispersão) de Woodcock (1977).

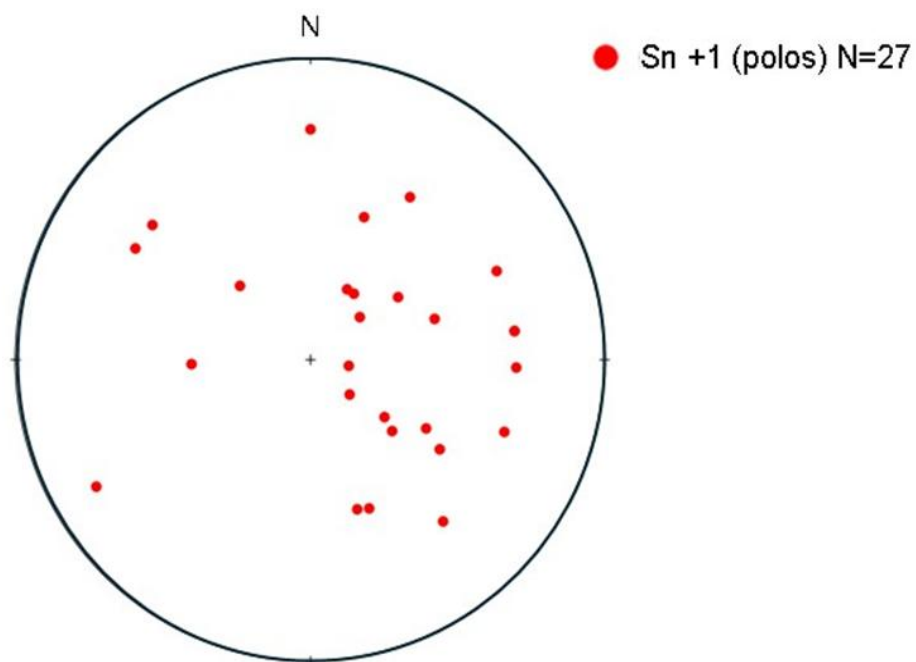


Figura 17: Estereograma com dados das clivagens de crenulação ( $S_{n+1}$ ) da área de estudo. A projeção dos dados é no hemisfério inferior em diagrama de igual-área (Rede de Schmidt).



Figura 18: Clivagem de crenulação observada em muscovita quartzito associados a Unidade de Quartzito do Grupo Araxá. Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues.



Figura 19: Clivagem de crenulação observada em biotita muscovita xisto associados a Unidade de Xisto do Grupo Araxá. Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues.

Nos trabalhos de campo realizados na região de Pirenópolis-GO, foram identificados três conjuntos de famílias de fraturas ( $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$ ), conforme apresentados nas Figuras 20, 21 e 22. A família  $F_1$  representa fraturas orientadas na direção N-S, com mergulhos altos variando de  $90^\circ$  a  $80^\circ$ . A família  $F_2$  apresenta orientação NE-SW e apresenta mergulhos altos. A família  $F_3$  tem direção NW-SE e apresenta mergulhos altos.

As famílias  $F_1$  e  $F_2$  podem ser interpretadas como pares conjugados de fraturas do tipo Riedel ( $R$  e  $R'$ ) e a família  $F_3$  como fraturas do tipo T (extensionais). O conjunto de fraturas observado permite estimar as direções dos esforços regionais. O esforço máximo ( $\sigma_1$ ) teria direção NE-SW e o mínimo ( $\sigma_3$ ) direção NW-SE.

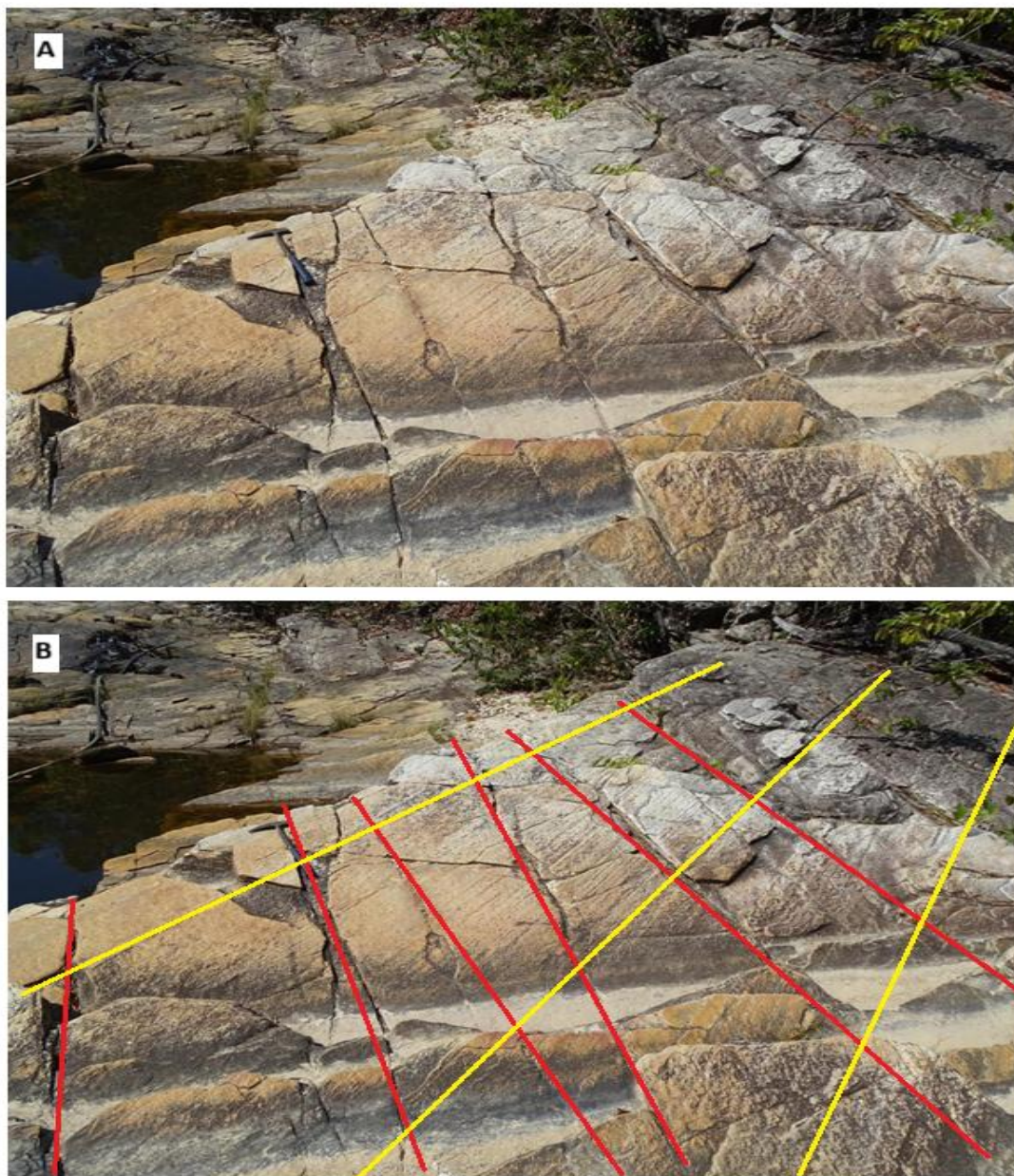


Figura 20: Padrão de fraturas observado na área de estudo. (A) Na fotografia observam-se dois conjuntos claros de família de fraturas ( $F_1$  e  $F_2$ ) formando um para conjugado de Riedel ( $R$  e  $R'$ ). O martelo está orientado na direção NE-SW que representa a direção de máximo esforço ( $\sigma_1$ ) interpretada no afloramento estudado (B) Representação grafica do sistema de falhas. *Fonte: Fotografia cedida por Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues.*

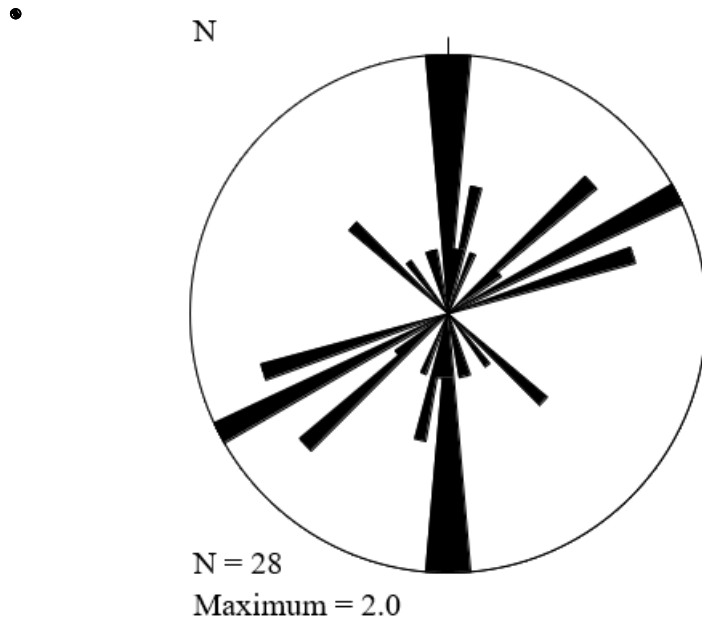


Figura 21: Diagrama de roseta de frequência acumulada dos dados de fraturas da região estudada.

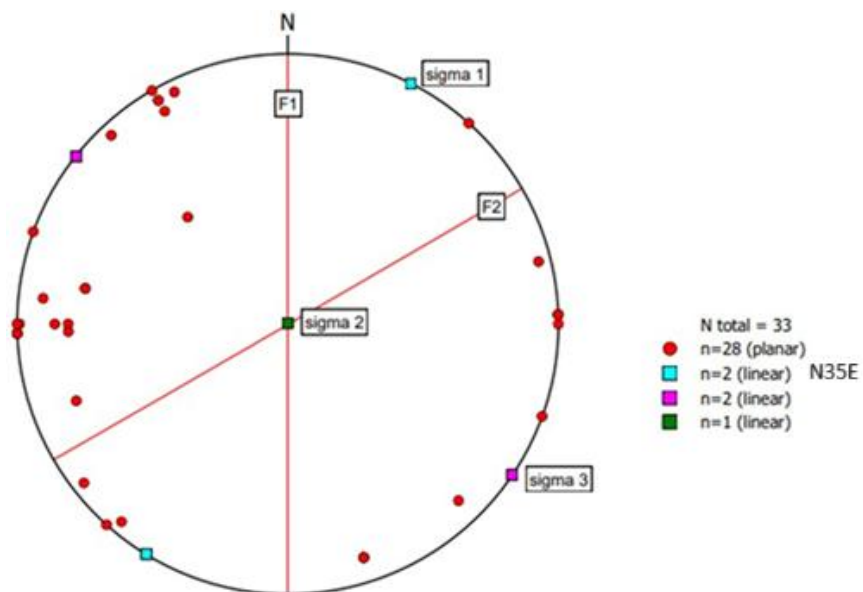


Figura 22: Estereograma com dados de fraturas da área de estudo. As fraturas foram plotadas em projeção polar. A direção principal representativa das famílias  $F_1$  e  $F_2$  estão plotadas em projeção ciclográfica. Também são apresentadas as direções principais de esforço máximo ( $\sigma_1$  = quadrado azul), intermediário ( $\sigma_2$  = quadrado vermelho) e mínimo ( $\sigma_3$  = quadrado rosa).

## 8. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Na região de estudo, predominam rochas neoproterozoicas (metavulcanossedimentares, metassedimentares e graníticas) deformadas e controladas estruturalmente por zonas de cisalhamento de empurrão de baixo a médio ângulo. Além dos empurrões são observadas dobras simétricas do tipo inclinadas com caimento. Também os dados estruturais indicam que a região trata-se de uma área polideformada com sobreposição de fases de deformação.

Os dados obtidos de campo e de análise de lineamentos permitem distinguir três direções principais de estruturas na área de estudo: E-W, N-S, e NE-SW.

A direção E-W provavelmente representa o controle estrutural dado pela foliação principal e reflete nos lineamentos observados na imagem de alta resolução espacial. Essa direção também reflete as orientações das cristas observadas nas serras do Quebra Rabicho e Taquari.

As duas outras direções N-S e NE-SW apresentam-se bem delimitadas na análise de lineamentos estruturais. Estas direções refletem o conjunto de fraturas rúpteis observados em campo. Elas podem ser interpretadas como pares conjugados de fraturas do tipo Riedel (R e R'), no qual o esforço principal ( $\sigma_1$ ) apresenta direção N35 (N35E).

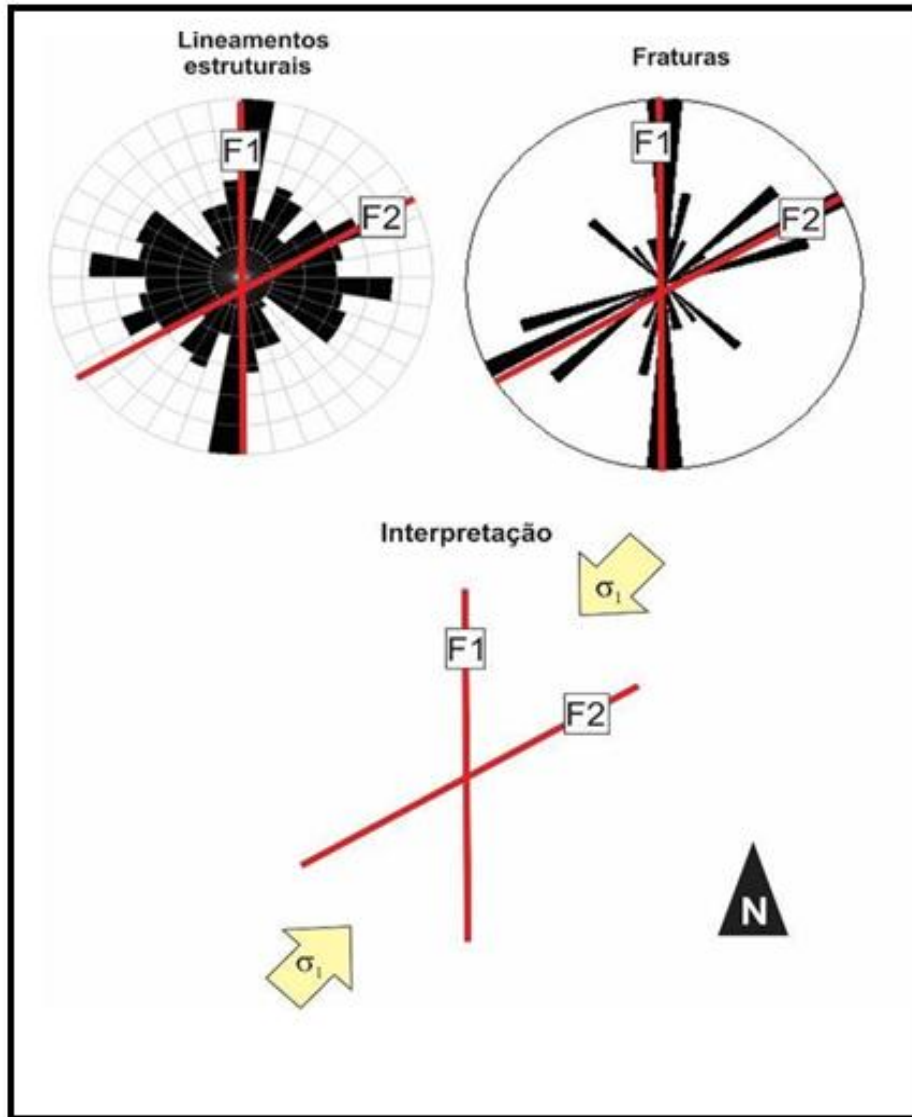


Figura 23: Interpretação dos esforços a partir dos dados de orientação obtidos pelos lineamentos estruturais e dados de fraturas obtidos em campo.

Desta forma, a análise de lineamentos por meio de sensoriamento remoto mostrou-se uma eficiente ferramenta para caracterizar o regime de esforços regionais com forte correlação com os dados de campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALASKA SATELLITE FACILITY. *ASF Data Search*. Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center, s.d. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Acesso em: 30 out. 2020.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; NEVES, B.B.B.; FUCK, R.A. 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 8, Campina Grande, 1977. *Atas...Campina Grande*, SBG

ALLMENDINGER, R. W. *Stereonet 32: a Windows program for stereographic projections and analysis of three-dimensional structural data*. Cambridge, MA: Department of Geological Sciences, Cornell University, 2002. *Software*. Disponível em: <https://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/programs/stereonet.html>. Acesso em: 12 mar. 2020.

ARAÚJO FILHO, J. O. *Características estruturais e evolução tectônica da Sintaxe dos Pirineus, Brasil Central*. 1999. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade de Illinois, Urbana-Champaign, 1999.

ARAÚJO FILHO, J. O. The Pirineus syntaxis: an example of the intersection of two Brasiliano fold-thrust belts in Central Brazil and its implications for the tectonic evolution of Western Gondwana. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, p. 144–148, 2000.

BLUE MARBLE GEOGRAPHICS. *Global Mapper v17*. Hallowell, ME: Blue Marble Geographics, 2015. *Software*.

BORRADAILE, G. 2003. *Statistics of Earth Science Data: their distribution and orientation*. Springer. 351p

BRITO NEVES, B. B. *et al.* Evolução tectônica da Província Tocantins. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 44, p. 75–92, 2014.

BROD, J. A. *et al.* Tectono-estratigrafia da Faixa Brasília na região do Alto Paranaíba. In: *Simpósio de Geologia do Centro-Oeste*, 3., 1991, Cuiabá. *Anais... Cuiabá*: SBG-CO, 1991. p. 155–168.

COSTA, H.; ANGEIRAS, R. Metamorfismo na Faixa Brasília. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 1, p. 15–28, 1971.

CUADROS JUSTO, L. E. *Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. Folha SD.22-Z-D-IV, Jaraguá, GO*. Escala 1:100.000. Goiânia: CPRM, 1994. 91 p.

Dardenne M.A. 2000. The Brasília fold belt. : Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.). *Tectonic Evolution of South America*. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro.

DARDENNE, M. A. Zonação tectônica na borda ocidental do Cráton do São Francisco. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 30., 1978, Recife. *Anais... v. 1*, p. 299–308.

ESRI. *ArcGIS Pro*: versão 3.2. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2023. *Software*.

FOSSSEN, H. *Geologia estrutural* / Haakon Fossen; tradução Fábio R. D. de Andrade - São

Paulo: Oficina de Textos, 2012.

FUCK, R. A. A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins. In: *Simpósio de Geologia do Centro-Oeste*, 4., 1994, Brasília. *Atas...* 1994. p. 184–187.

GOLDSTEIN, A.; MARSHAK, S. Analysis of fracture array geometry. In: MARSHAK, S.; MITRA, G. (ed.). *Basic methods of structural geology*. 1998. p. 249–268.

GOOGLE. *Google Earth Pro*. Mountain View: Google LLC, 2025. Disponível em: <https://earth.google.com/>. Acesso em: 8 dez. 2021.

GONÇALVES, J. M. Sequências metavulcanossedimentares da base do Grupo Araxá. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 20, p. 65–78, 1981.

GUIMARÃES, M.T. & GONTIJO, R.A. 2019. *Relatório de Mapeamento Geológico II, Área III*. Universidade Federal de Goiás. 67p. Não publicado.

JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY (JAXA). *Advanced Land Observing Satellite (ALOS) – mission overview and sensor PALSAR description*. Tanegashima: JAXA, 2006.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

LISLE, R.J. & LEYSHON, P.R. 2018. *Técnicas de Projeção Estereográfica para geólogos e engenheiros civis*. Editora UFSC. 125p

LOPES, M. F. L. 2017. *Abordagem metodológica para extração de estruturas a partir de dados de radar (SRTM+)*. 2017. Dissertação (Mestrado em Geologia) – UFC.

MARTINS-FERREIRA, M.A.C; RODRIGUES, S.W.O. Field Guide to RODS in the Pireneus Syntaxis, Central Brazil. In: MUKHERJEE, S. (ed.) ORG. *Structural Geology and Tectonics Field Guidebook – Volume 1*. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2021.

MAXAR TECHNOLOGIES INC. *Company overview and geospatial intelligence solutions*. Westminster, CO: Maxar Technologies, 2025. Disponível em: <https://www.maxar.com/>. Acesso em: 11 jun. 2021.

MESSIAS, D. R. & BEZERRA, S.B. 2019. *Relatório de Mapeamento Geológico II, Área I*. Universidade Federal de Goiás. 51p. Não publicado.

MICROSOFT CORPORATION. *Microsoft Excel: versão 365*. Redmond, WA: Microsoft, 2025. *Software*.

MOREIRA, M. L. O; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V. A. de; LACERDA FILHO, J. V. de; COSTA, H. F. da (org.). *Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal*. Escala 1:500.000. Goiânia: CPRM/SIC – FUNMINERAL, 2008.

MORETON, L.C. 1994. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Folha SE.22-X-B-IV - Goiânia. Escala 1:100.000. Goiânia: CPRM/DNPM.

O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin*, v. 87, n. 10, p. 1463–1469, 1976.

OLIVEIRA, C.G. 1997. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil -PLGB.

Folha SD.22.-Z-C-VI - Itaguaru: MME/CPRM, 1997. 107p

OPENAI. Chat GPT: modelo de linguagem grande multimodal (versão GPT-5) [ferramenta online]. São Francisco: Open AI, 2020. Disponível em: <<https://chat.openai.com>> . Acesso em: 12 nov. 2020.

PIMENTEL, M.M. Nd isotopes and the provenance of sediments from the Neoproterozoic Brasília Belt, Central Brazil: Geodynamic implications. In: SOUTH-AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 1999. (Inpress).

PIMENTEL, M.M., DANTAS, E.L., FUCK R.A., ARMSTRONG R.A. 2003 Shrimp and conventional U-Pb age, Sm-Nd isotopic characteristics and tectonic significance of the K-rich Itapuranga suite in Goiás, Central Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 75(1): 97-108.

RAMOS, L.P. & SANTOS, S.H.S. 2019. *Relatório de Mapeamento Geológico II, Área II*. Universidade Federal de Goiás. 40p. Não publicado.

REZENDE, L.R. & OLIVEIRA, L.A. (org). 2024. *Guia de integridade acadêmica*. Universidade Federal de Goiás. Comitê de Integridade Acadêmica. 41p.

RESS, C. B. 2019. Enquadramento Geológico e Geocronológico da Sequência do Rio do Peixe na Sintaxe dos Pirineus, Faixa Brasília. UnB. Brasília.

ROWLAND, S. M.; DUEBENDORFER, E.; ILSA SCHIEFELBEIN 2006. *Structural Analysis and Synthesis*. 3rd Edition, Blackwell Scientific Publications, 320p

SABARAENSE, L. D. *Proveniência dos Grupos Araxá e Ibiá na porção sul da Faixa Brasília*. 2016. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, 2016.

SANDOVAL, F. Sienitos da Faixa Brasília: composição e gênese. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 36, p. 65–82, 2016.

SEER, F.; PIMENTEL, M.; VALERIANO, M. Metamáficas e metaultramáficas do Grupo Araxá. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 31, p. 55–72, 2001.

SEER, H. J. *Evolução tectônica dos Grupos Araxá, Ibiá e Canastra na Sinforma Araxá, MG*. 1999. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, 1999.

SILVA, A. C. V. R. *Caracterização petrográfica, geoquímica e isotópica do Granito Itapuranga*. 2018. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, 2018.

SILVA, L.G. & AGUIAR, P.G.C.G. 2019. *Relatório de Mapeamento Geológico II, Área IV*. Universidade Federal de Goiás. 32p. Não publicado.

STRIEDER, A. J.; NILSON, A. A. Estudo petrológico de fragmentos tectônicos da melange ofiolítica em Abadiânia (GO). *Revista Brasileira de Geociências*, 1992a.

TEIXEIRA, A. S. Geologia da região de Goiás-Faina. In: *Simpósio de Geologia do Centro-Oeste*, 1., 1981, Goiânia. *Anais...* 1981. p. 344–362.

TERRA INCOGNITA. *TerraIncognita versão 2.41. Software*, 2023. Disponível em: <https://terrainconita.com>. Acesso em: 14 fev. 2019.

THOMÉ FILHO, J. J. *PLGB. Folha SD.22-Z-D – Pirenópolis*. Escala 1:100.000. Goiânia: CPRM/DNPM, 1994. 96 p.

RAGAN, D.M. 1968. *Structural Geology: an introduction to geometrical techniques*. John Wiley & Sons. 166p.

UHLEIN, A. *et al.* Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília – setores setentrional e meridional. Belo Horizonte: CPRM, 2012. p. 15–31.

VALERIANO, C. M. *et al.* Capítulo XXXII – Evolução tectônica da Faixa Brasília. In: MANTESSO-NETO, V. *et al.* (org.). *Geologia do continente sul-americano*. São Paulo: BECA, 2004.

WOODCOCK, N.H.1977. Specification of fabrics shapes using an eigenvalue method. *Geological Society of America Bulletin*. 88: 1231-1236.