



USO DO DRONE NO MAPEAMENTO GEOLÓGICO-ESTRUTURAL DA FAIXA ORÓS NO EXTREMO SW DO CEARÁ

Elisa Dorian Esteves Gurgel do Amaral SAMPAIO¹, Henrique Sampaio de CASTRO², & Christiano MAGINI³

RESUMO: O mapeamento geológico-estrutural é referente a uma área de 100 km² de uma porção da Faixa Orós no extremo SW do Ceará, no município de Aiuaba, dentro do Domínio Orós-Jaguaribe, localizado na Província Borborema Setentrional. Nesse cenário, foram escolhidos também dois pontos estratégicos a serem imageados por *drone* com o objetivo de coletar lineamentos estruturais sob uma diferente perspectiva. As rochas cartografadas pertencem ao Grupo Orós, que subdivide-se em: Formação Santarém (paraderivada), Formação Campo Alegre (metavulcânica) e Suíte Serra do Deserto (metaplutônica). Estas rochas distribuem-se de modo intercalado, em formas geralmente lenticulares, com direção de foliação preferencial (Sn) NE, impressas durante o cisalhamento transcorrente no fechamento do Rift de Orós (1.7Ga). Tardiamente, associada a fase de resfriamento crustal, no fim do Brasiliano (550 Ma), a deformação rúptil é marcada por uma família preferencial de fraturas perpendicular a foliação Sn. A captação de dados geológico-estruturais se deu a partir de imagem SRTM, levantamento em campo e, como diferencial na pesquisa, o imageamento feito por *drone*, por comportar a tecnologia de rápida geração de produtos cartográficos de alta resolução. Apesar das diferentes óticas sob as quais os lineamentos estruturais foram estudados, os resultados conferem similaridade, contudo, fica nítida a relevância particular de cada uma. O SRTM foi bastante útil no estudo e contextualização de estruturas regionais, o levantamento clássico por caminhamento possibilitou a identificação e o detalhamento de estruturas locais e regionais, e o uso de *drone* solucionou o empecilho de coletar lineamentos estruturais em regiões de difícil acesso de forma rápida e prática, além de gerar produtos relevantes ao estudo como modelo digital de elevação e ortofotomosaicos. Desta forma, os resultados obtidos por cada método de sensoriamento remoto mostram similaridades e confiabilidade, cada qual com suas características técnicas, neste sentido o *drone* se mostrou muito eficiente na coleta dos elementos estruturais.

Palavras-chave: Faixa Orós, *Drone*, Lineamentos Estruturais.

ABSTRACT: *The geological-structural mapping refers to an area of 100 km² of a portion of the Orós Belt in the extreme SW of Ceará, in the municipality of Aiuaba,*

¹ Graduação em Geologia – Universidade Federal do Ceará - UFC

² Mestre em Geologia – Universidade Federal do Ceará - UFC

³ Departamento de Geologia – Universidade Federal do Ceará - UFC

* Autor para correspondência: Elisa Dorian Esteves Gurgel do Amaral Sampaio
Departamento de Geologia – UFC – Campus do Pici, Bloco 912. Fortaleza/CE.
E-mail: elisaesteves2_@hotmail.com



within the Orós-Jaguaribe Domain, located in the Northern Borborema Province. In this scenario, two strategic points were also chosen to be imaged by drone in order to collect structural lines from a different perspective. The mapped rocks belong to the Orós Group, which is subdivided into: Santarém Formation (paraderivative), Campo Alegre Formation (metavolcanic) and Serra do Deserto Suite (metaplutonic). These rocks are distributed in an intercalated manner, in generally lenticular forms, with preferential foliation direction (Sn) NE, printed during the transcurrent shear at the closure of the Rift of Orós (1.7Ga). Lately, associated with the crustal cooling phase, at the end of the Brasiliano (550 Ma), the brittle deformation is marked by a preferential family of fractures perpendicular to the Sn foliation. The capture of geological-structural data was based on SRTM image, field survey and, as a differential in the research, the imaging carried out by drone, as it supports the technology of rapid generation of high-resolution cartographic products. Despite the different perspectives under which the structural guidelines were studied, the results provide similarity, however, the particular relevance of each is clear. The SRTM was very useful in the study and contextualization of regional structures, the classic survey by walking allowed the identification and detailing of local and regional structures, and the use of drone solved the obstacle to quickly collect structural guidelines in regions of difficult access and practice, in addition to generating products relevant to the study such as digital elevation and orthophotomosaic models. Thus, the results obtained by each remote sensing method show similarities and reliability, each with its technical characteristics, in this sense the drone proved to be very efficient in collecting the structural elements.

Keywords: Oros Strip, Drone, Structural Lineaments.

1. INTRODUÇÃO

O *drone* é bastante útil em trabalhos de diversas áreas profissionais quando o intuito é imagear algo específico e gerar produtos a partir disso. As vantagens do uso do *drone* são inúmeras e incluem baixo custo, facilidade de operação, rápido processamento e alta resolução dos produtos.

O levantamento feito por *drone* retorna produtos robustos e adquiridos com muita agilidade quando comparados à fotogrametria e topografia tradicionais, por exemplo,

além de ser a solução para registros de regiões de difícil acesso.

A interpretação de estruturas geológicas representadas por lineamentos em imagens espaciais e aéreas é uma etapa imprescindível em estudos geológico-estruturais por permitir a descrição e quantificação dessas estruturas, o que é bastante aplicável no diagnóstico de eventos tectônicos.

No intuito de usufruir dos benefícios do *drone* no mapeamento geológico-estrutural, a pesquisa emprega como área de estudo a porção da Faixa Orós localizada no extremo



sudoeste do Estado do Ceará, mais precisamente no município de Aiuaba.

No contexto geológico, a área da pesquisa está na Província Borborema, mais precisamente no extremo SW do Domínio Orós Jaguaribe. Nesta região, a Faixa Orós é composta por uma sequência de rochas metassedimentares (Fm. Santarém), metavulcânicas (Fm. Campo Alegre) e metaplutônicas (Suíte Serra do Deserto). Duas tendências estruturais foram observadas: uma de direção NE-SW associada à principal fase de deformação Brasileira e outra de direção NW-SE relacionada a uma tectônica rúptil tardia.

2. AREA DE ESTUDO

A área de mapeamento localiza-se no município de Aiuaba-CE. A capital cearense dista cerca de 470 km da área. O melhor acesso de Fortaleza a Aiuaba se faz através da BR-020, seguindo até a cidade de Tauá, para então prosseguir pela CE-176 até o destino (Figura 1).

2.1 Contexto Geológico Regional

A área de pesquisa situa-se na porção Setentrional da Província Borborema (ALMEIDA et al., 1977; SANTOS E BRITO NEVES, 1984), dentro do Domínio Orós-Jaguaribe (ARTHAUD et al., 2007). A Província Borborema localiza-se na região nordeste do Brasil, abrange uma área de aproximadamente 450.000 Km², limitada a norte e leste pelas bacias costeiras de margem continental passiva, a sul pelo Cráton São Francisco e a oeste pela Bacia do Parnaíba (VAN SCHMUS et al., 1995).



Figura 1: Mapa de localização e vias de acesso.

A PB foi desenvolvida ao longo da Orogenia Brasileira / Pan-Africana (ALMEIDA et al., 1981), pela convergência entre os Crátons Amazônico, São Francisco-Congo e São Luís-West África, por volta de 600 Ma, durante a constituição do Supercontinente Gondwana Ocidental (TROMPETTE, 1994; HOFFMAN, 1991, GANADE DE ARAÚJO et al., 2014) (Figura 2). Duas colisões Brasileiras tiveram grande relevância na evolução da província (GANADE DE ARAÚJO et al., 2014), desenvolvendo um complexo mosaico de terrenos com características tectono-estratigráficas distintas. A primeira colisão ocorreu de forma frontal entre os Crátons Amazônico e África Ocidental e os embasamentos das províncias Parnaíba e Borborema entre 620 e 610 Ma. Conseqüentemente houve espessamento crustal por empilhamento de nappes,

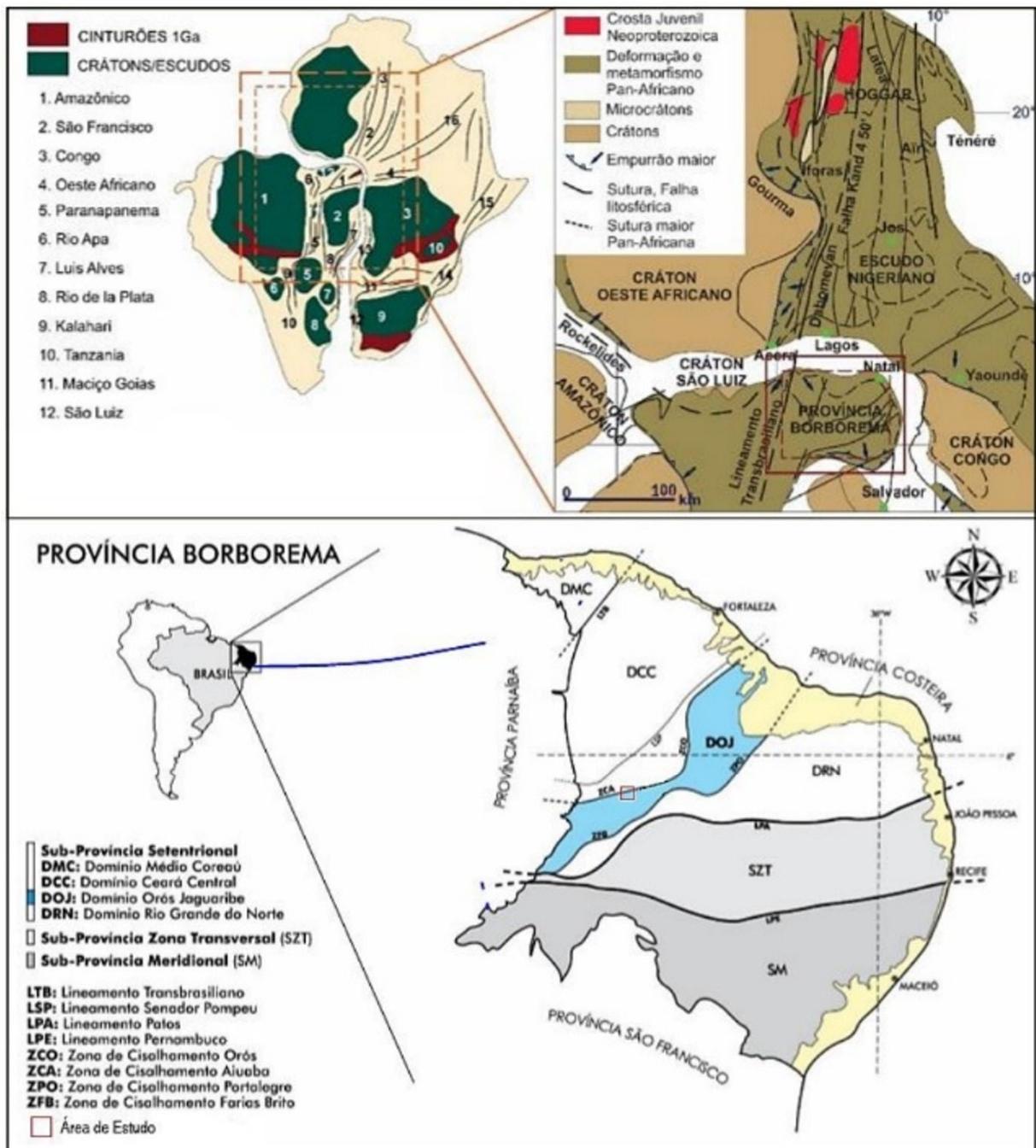


Figura 2: Representação da reconstrução do Supercontinente Gondwana Ocidental X Compartimentação da Província Borborema atual. BIZZI et al. (2003), SOUSA et al. (2017).

construindo uma zona de sutura (Caby e Arthaud, 1986).

Adiante, essa zona foi reativada em cinemática dextral dando origem ao Lineamento Transbrasiliano. Em resposta a esse movimento, a segunda colisão, de caráter oblíquo, ocorreu ao

sul da Província Borborema com o Cráton São Francisco, entre 590 e 580 Ma, caracterizada pelo desenvolvimento de zonas de cisalhamento transcorrentes de escala continental, geralmente dextrais, de direção NNE-SSW.



Esse arcabouço foi recortado tardiamente por duas mega transcorrências dextrais (lineamentos Patos e Pernambuco), de direção E-W, que dividem a PB em três unidades: Borborema Setentrional, Zona Transversal e Borborema Meridional.

A Província Borborema Setentrional, que envolve a área de estudos, foi compartimentada sob diferentes métodos ao longo dos anos. Brito Neves et al. (2000), baseado em assinaturas crustais de Nd e diferenças de idades U-Pb, fragmentou o a Borborema Setentrional em três domínios: Médio Coreaú, Ceará Central e Rio Grande do Norte. Arthaud et al. (2007), considerando também as zonas de cisalhamento como fator limitante, inclui uma quarta unidade, o Domínio Orós-Jaguaribe (figura 2), que abrange a Faixa Orós, o objeto de estudo da pesquisa.

O Domínio Orós-Jaguaribe está montado em um embasamento gnáissico migmatítico com idade em torno de 2,2 Ga formado predominantemente por ortognaisses de composição tonalítica a granítica e metassedimentos geralmente pelíticos. Essas rochas apresentam feições migmatíticas frequentemente.

O embasamento é dividido em dois blocos principais (Jagaretama e São Nicolau), que separam e/ou embasam duas faixas metavulcanosedimentares principais, Faixa Orós e Faixa Jaguaribe, paralelizadas no mesmo intervalo cronológico, o estateriano (Figura 3).

A Faixa Orós (SÁ, 1991; CAVALCANTE et al., 1999; PARENTE

& ARTHAUD, 1995) possui geometria sinuosa, espessura variável entre 2 e 13 km e extensão longitudinal em torno de 500 km. Ao longo de sua dimensão, ocorrem duas inflexões: virgação de Icó e virgação de Banabuiú.

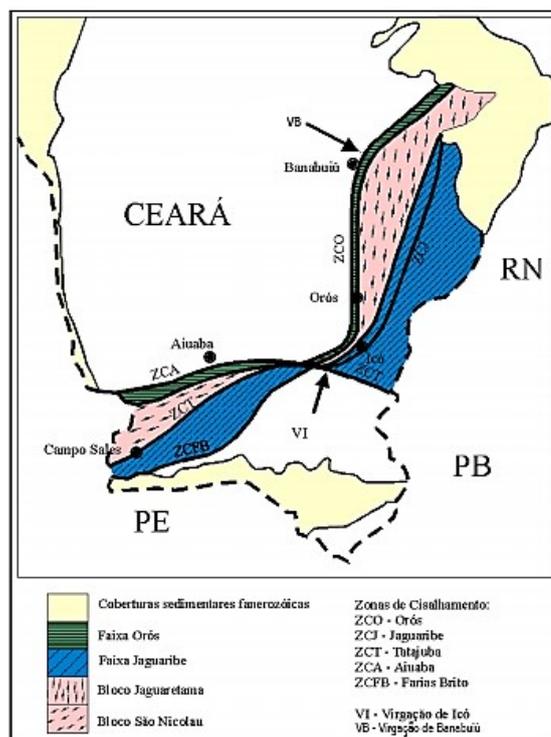


Figura 3: Principais unidades da arquitetura regional do sistema Orós-Jaguaribe. Reproduzido de Parente e Arthaud, 1995.

A FO é constituída por rochas do Grupo Orós, que se subdivide em Fm. Santarém (paraderivada) e Fm. Campo Alegre (metavulcânica); que são recortadas pela Suíte Magmática Serra do Deserto, componente metaplutônico do Grupo.

2.2 Geologia Local

A área de estudos inclui a porção da Faixa Orós no extremo sudoeste do Ceará e parte de suas encaixantes (Figura 4).



A encaixante norte, o plúton Saboeiro - Aiuaba, da Suíte intrusiva calcialcalina de médio a alto potássio Itaporanga (ANGELIM *et al.*, 2004), representa uma das manifestações do plutonismo neoproterozoico da Província Borborema. O corpo granítico foi cristalizado no período ediacarano (624 Ma U-Pb), o que permite relacioná-lo ao sistema de orógenos do Brasileiro como evento sin-orogênico. Os granitos apresentam composição granodiorítica, sendo caracterizado por uma textura porfirítica, composto por uma matriz cinza escuro de granulação média rica em biotita, quartzo e hornblenda, com mega cristais róseos de feldspato potássico e plagioclásio que variam, em média, de 2 a 4 centímetros. As rochas aparecem frequentemente recordadas por veios de quartzo e exibem foliação variadas entre miloníticas e migmatíticas.

Na área mapeada, a Faixa Orós é formada por metassedimentos, mármore, quartzitos e ritmitos da Formação Santarém, e as metavulcânicas da Formação Campo Alegre.

Os metassedimentos variam de silte-argilosos, de composição predominantemente feldspática; a arenosos, de composição predominantemente quartzítica. As rochas se apresentam em tons claros de bege, laranja, castanho e cinza. A composição dos metassedimentos, por vezes, sofre influência das rochas circundantes. Especificamente, os metassedimentos exibem composição ferromagnésiana quando situados próximos ou intercalados com rochas

metavulcânicas, e exibem composição margosa quando situados próximos ou intercalados com mármore. Outrora, em algumas porções, presencia-se sericita no metassedimento, mineral gerado pela alteração hidrotermal do feldspato potássico e responsável pela textura sedosa impressa nas rochas. As ocorrências de quartzo em meio aos metassedimentos são bastante comuns, apresentando-se em veios ou boudins de extensões centimétricas a métricas. Na mesma proporção se manifestam as dobras, desde centimétricas a regionais.

Os quartzitos formam relevo com cristas bem marcadas na direção NE-SW, e compõem as zonas apicais de dobras métricas com rochas margosas subordinadas. As forças compressivas advindas do cisalhamento proporcionam um fluxo plástico silícico dos flancos para o ápice da dobra, o que caracteriza uma região de alto grau de exsudação e/ou remobilização de quartzo, oriundos dos sedimentos areníticos do Grupo Orós. Os quartzitos representam a fase final do hidrotermalismo que ocorreu no Grupo Orós, durante o cisalhamento Brasileiro. Uma das cristas quartzíticas foi escolhida a ser imageada por *drone* por consistir numa região repleta de lineamentos estruturais e seu acesso ser difícil, empecilho no qual o *drone* facilmente soluciona.

Os mármore são caracterizados por tons de cinza, granulação fina e bandamento milimétrico, entre porções mais micáceas e camada mais granulares. Sua composição varia entre mármore

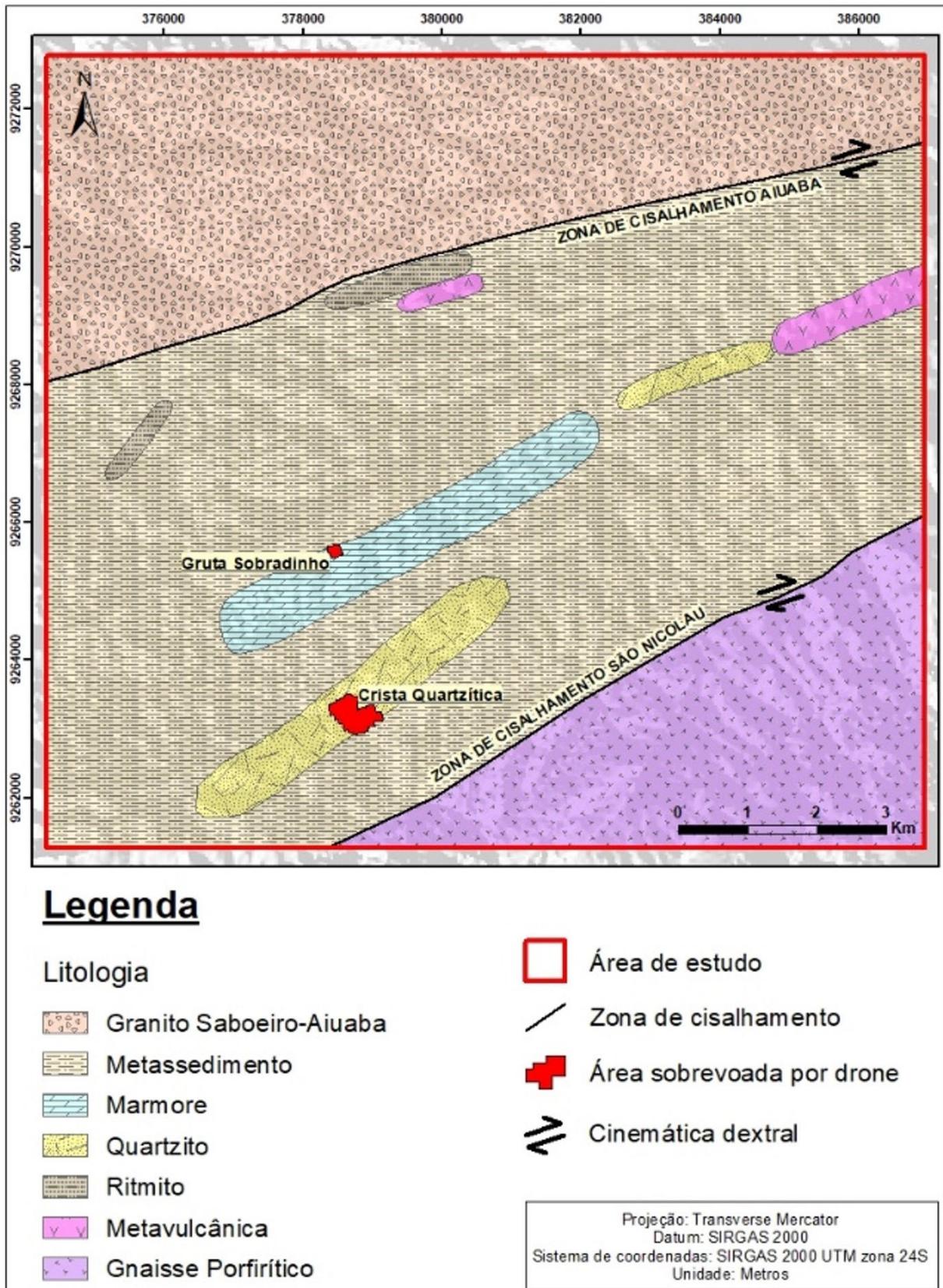


Figura 4: Geologia local da área mapeada e áreas sobrevoadas por drone.



calcíticos e dolomíticos, em que o último prevalece. Os mármoreos formam cristas e lajedos pontiagudos, com extensões decamétricas a quilométricas, com mergulho de 40 a 45° NW e grutas, como exemplo a gruta Sobradinho, que expõe o desenvolvimento de carstificação na área. A região da gruta Sobradinho foi a segunda região a ser imageada por *drone*.

Os ritmitos compõem camadas bem estratificadas alternadas entre grãos arenosos de composição predominantemente quartzítica e grãos silte-argilosos de composição predominantemente ferromagnésiana, margosa e sericítica. Essas camadas se repetem ritmicamente indicando ciclos sazonais e/ou variações periódicas na energia de transporte relacionada ao aporte dos sedimentos. A ocorrência de veios e injeções de quartzo, havendo remobilização também de quartzo já existente nessas rochas, se faz presente, desenvolvendo grãos de tridimita, polimorfo do quartzo de alta temperatura, encontrados rotacionados, exibindo sombra de pressão com cinemática dextral.

As rochas metavulcânicas da área estão associadas a regiões de maior afinamento crustal, apresentando principalmente rochas de composição riolítica com grãos de feldspato potássico associado e rochas basálticas ricas em minerais ferromagnésianos subordinadas. Exibem textura fina a muito fina e coloração em tons claros de cinza com superfície de alteração cinza escuro. Em campo, demonstram-se como

corpos descontínuos na forma de lentes, por vezes milonitizado, sendo também encontradas intercaladas com metapelito, mármore e quartzito próximo a zona de cisalhamento aiuaba, e estão orientadas paralelamente aos metassedimentos.

A encaixante sul da Faixa Orós, o Bloco São Nicolau, é caracterizado por ortognaisses tonalíticos contendo mobilizados trondhjemíticos, ortognaisses graníticos, ambos geralmente bandados e parcialmente migmatizados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Imagem SRTM

Em uma análise da área em escala regional, utilizou-se de imagem do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM 1-ARC SECOND), com pixel de 30 metros, da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). A área de mapeamento está completamente inserida na imagem SRTM "s07_w041_1arc".

Lineamentos Estruturais Dúcteis

Os lineamentos dúcteis foram impressos nas rochas no estágio de fechamento do Orós. Essas estruturas estão bem distribuídas na área de estudos, havendo, em algumas regiões, uma maior densidade de lineamentos representados por áreas em vermelho no mapa da figura 5. As estruturas dúcteis foram melhor observadas do que as estruturas rúpteis na perspectiva de imagem SRTM.

Em geral, as atitudes de foliação apontam para uma direção preferencial

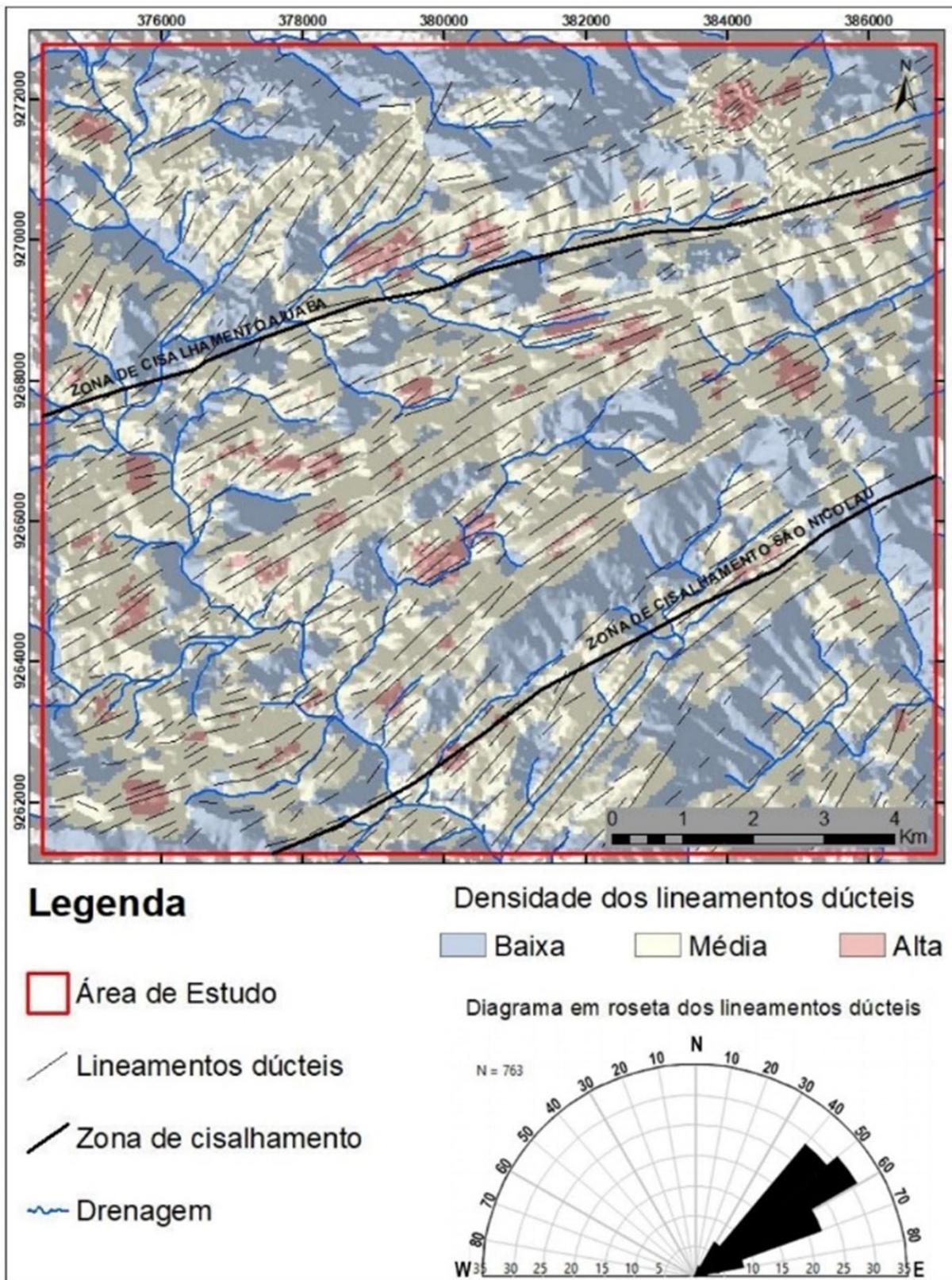


Figura 5: Lineamentos estruturais dúcteis extraídos de imagem SRTM.



NE-SW, sendo o intervalo 50° - 60° (S_n) o mais persistente, principalmente na porção central da FO, onde estão presentes em maiores proporções rochas metassedimentares, que são mais suscetíveis à deformação dúctil quando comparado às porções encaixantes representadas genericamente por metaígneas. As cristas de quartzito e mármore da FO por vezes coincidem com regiões de alta densidade de lineamentos, que se tornam mais escassos nos metassedimentos circundantes. Isto indica que nessas regiões a deformação foi mais intensa do que nos litotipos circundantes. Outra explicação seria de que, por estarem localizadas em maiores altitudes, onde não há cobertura vegetal nem depósito de sedimentos, que poderiam mascarar as estruturas, os lineamentos ficam mais expostos e mais fáceis de serem identificados.

Nas porções das rochas encaixantes próximas as bordas da FO, observa-se um desvio nas direções de foliação (40° - 50° NE) quando comparadas às foliações do mesmo litotipo situadas mais distantes do limite da FO. Isto evidencia a influência da distância do foco cisalhante e da composição da rocha na resposta à tensão. A deformação se enquadra num regime transcorrente puro com espessamento crustal limitado. Os traços de foliação foram melhor observados quando situados em relevos aplainados. No diagrama de roseta estão expostos 763 traços de foliação, representados também no mapa, além do par das linhas de cisalhamento em destaque.

Lineamentos Estruturais Rúpteis

As estruturas rúpteis aproveitam fraquezas preexistentes da rocha para se propagarem, como as foliações metamórficas dúcteis do Brasileiro (610 Ma), que apresentam direção de foliação preponderantes a NE. As fraturas predominam nas porções NW e SE, nas rochas encaixantes da Faixa Orós, que correspondem ao granito Saboeiro-Aiuaba da Suíte intrusiva calcialcalina de médio a alto potássio Itaporanga e aos gnaisses porfiríticos do Bloco São Nicolau, respectivamente.

Analisando apenas a FO, as fraturas sobrelevam-se próximo às bordas, tornando-se mais escassas na sua porção central. Isso mostra que a deformação rúptil, associada a fase de resfriamento crustal, e advinda do cisalhamento transcorrente puro, pode não ter sido penetrativa o suficiente para atingir as porções mais centrais da faixa, afetando mais intensamente áreas mais próximas às zonas de transcorrência. Além disso, também deve-se considerar que as rochas da FO, maioritariamente metassedimentares, são mais suscetíveis ao intemperismo, processo que contribui com o recobrimento de estruturas, o que dificulta sua identificação.

As estruturas rúpteis extraídas do recorte regional mostram um padrão que sugere um sistema pouco desenvolvido de fraturas Riedel (figura 6). A nível da escala de estudos aqui adotada, a ZCA funcionou como par cisalhante junto à ZCSN. Esta cinemática foi representada no diagrama de roseta incluso no mapa de



lineamentos rúpteis (figura 7), que mostra a estatística das direções dos lineamentos rúpteis na escala regional da pesquisa.

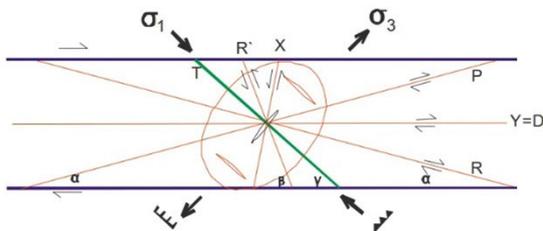


Figura 6: Modelo de fraturamento de Riedel em cinemática dextra.

Dois intervalos de direção de fraturas prevalecem, ambos a noroeste: 310-320° e 0-350°. O primeiro intervalo marca a família de fraturas perpendicular a foliação principal Sn e corresponde as fraturas de partição (T) do modelo de Riedel, resultado de movimentos extensivos ou distensivos, sendo esta a mais abundante e bem distribuída em toda a área, destacando-se nas proximidades da ZCSN. O segundo intervalo, com predomínio de traços com direção quase N-S, corresponde às fraturas antitéticas secundárias (X) do modelo de Riedel e aparecem distribuídas por toda a área, principalmente no granito Saboeiro-Aiuaba.

As fraturas de cisalhamento sintéticas (R), sintéticas secundárias (P), conjugadas antitéticas (R') e as paralelas ao par cisalhante (Y ou D) são menos expressivas na área de estudo. As linhas de fraturas são mais fáceis de se identificar onde a deformação rúptil é penetrativa, e geralmente isso ocorre em rochas mais consolidadas como em quartzitos, mármore, granitos, gnaisses e rochas metavulcânicas e

metassedimentos de composição sericitica e/ou ferromagnesiana, ou aqueles que sofreram crescimento mineral. Em metassedimentos arenosos, de composição principalmente quartzítica, as linhas de fratura não se mostram tão evidentes, podendo indicar um fraturamento não penetrativo nessas rochas. Em casos em que os metassedimentos se encontram alterados, intemperizados e/ou oxidados, geralmente recobertos por uma camada fina de sedimentos ou solo raso quaternário, as linhas de fratura encontram-se mascaradas ou ausentes. Foram marcados 631 traços na extração de lineamentos estruturais rúpteis.

Levantamento estrutural por drone

Após o conhecimento prévio da área, duas regiões interessantes, no que tange as feições estruturais, foram escolhidas para fazer o levantamento via *drone* (*Phantom 4 pro*). Os ortofotomosaicos de alta resolução foram gerados com os dados capturados nos imageamentos e processados em ambiente computacional (*Agisoft PhotoScan Professional*). As análises dos ortofotomosaicos possibilitaram a extração dos lineamentos estruturais dúcteis e rúpteis e suas respectivas direções.

Gruta Sobradinho

A Gruta Sobradinho representa o processo de carstificação na área de estudo e sua formação também está atrelada ao cisalhamento puro, que

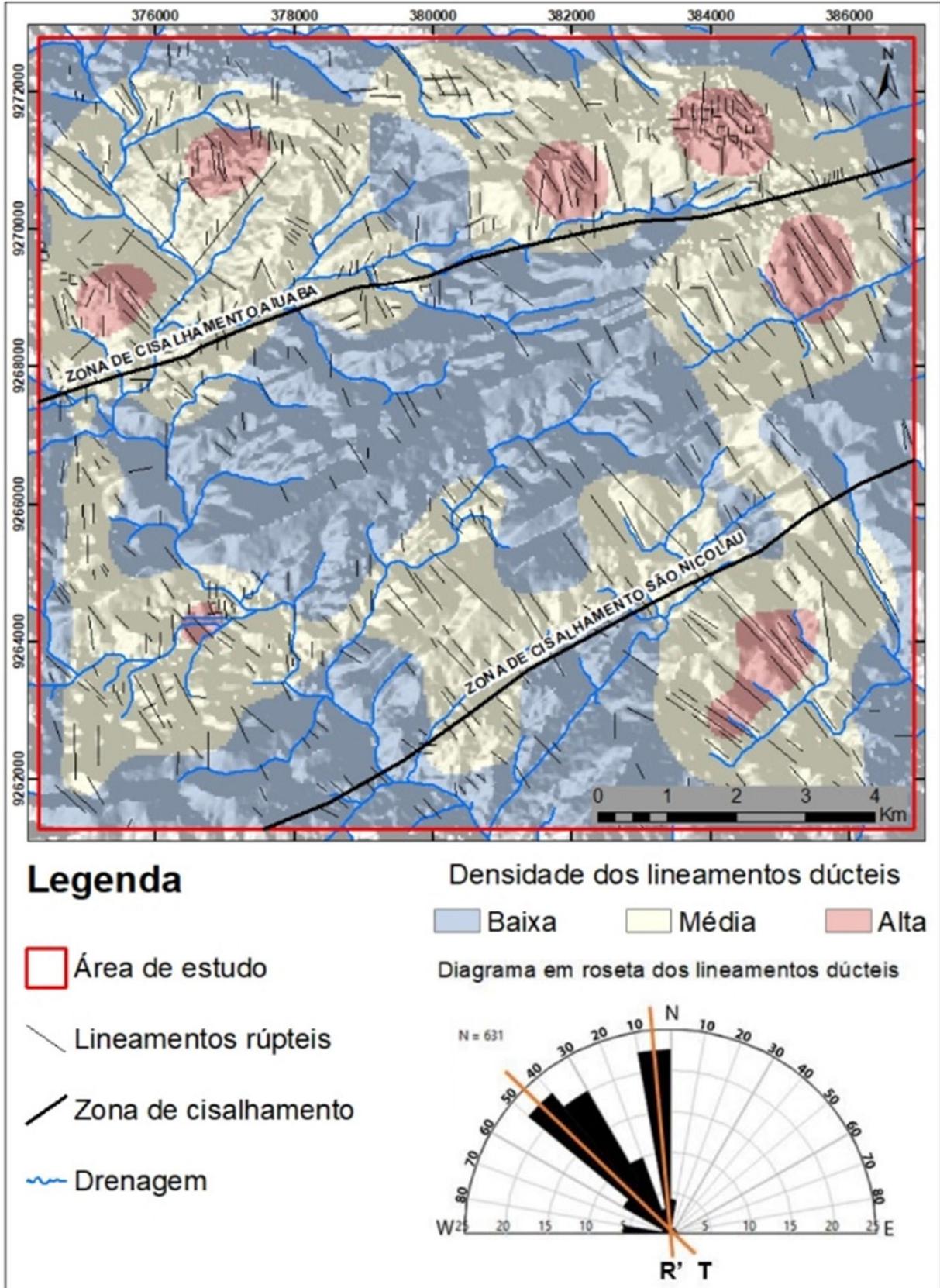


Figura 7: Lineamentos estruturais rúpteis expostos de imagem SRTM.

ocasionou extensas fraturas acompanhadas de rebaixamento do terreno, originando a gruta Sobradinho. O perfil da caverna é predominantemente horizontal, com desenvolvimento paralelo aos estratos da rocha, com pequenos desníveis internos. Este tipo de caverna é constituído principalmente por dissolução entre planos de estratificação, vistos no interior da gruta (figuras 8 e 9), que

provavelmente estavam inteiramente dentro da zona freática durante o período de sua formação. A região da gruta Sobradinho foi imageada pelo *drone* numa altitude de aproximadamente 70 metros, cobrindo uma área de 30.627,24 m². O conjunto de imagens possibilitou a formulação do ortofotomosaico (figura 10) de alta resolução com pixel de 2 centímetros.

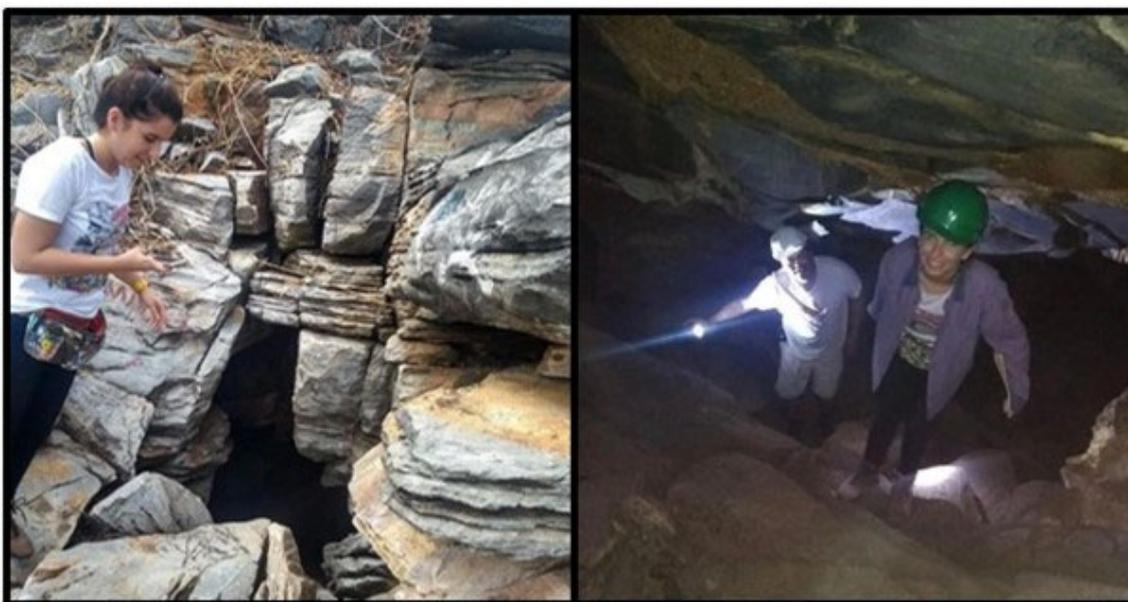


Figura 8: Entrada e início da gruta Sobradinho.



Figura 9: Salão interno da gruta Sobradinho.

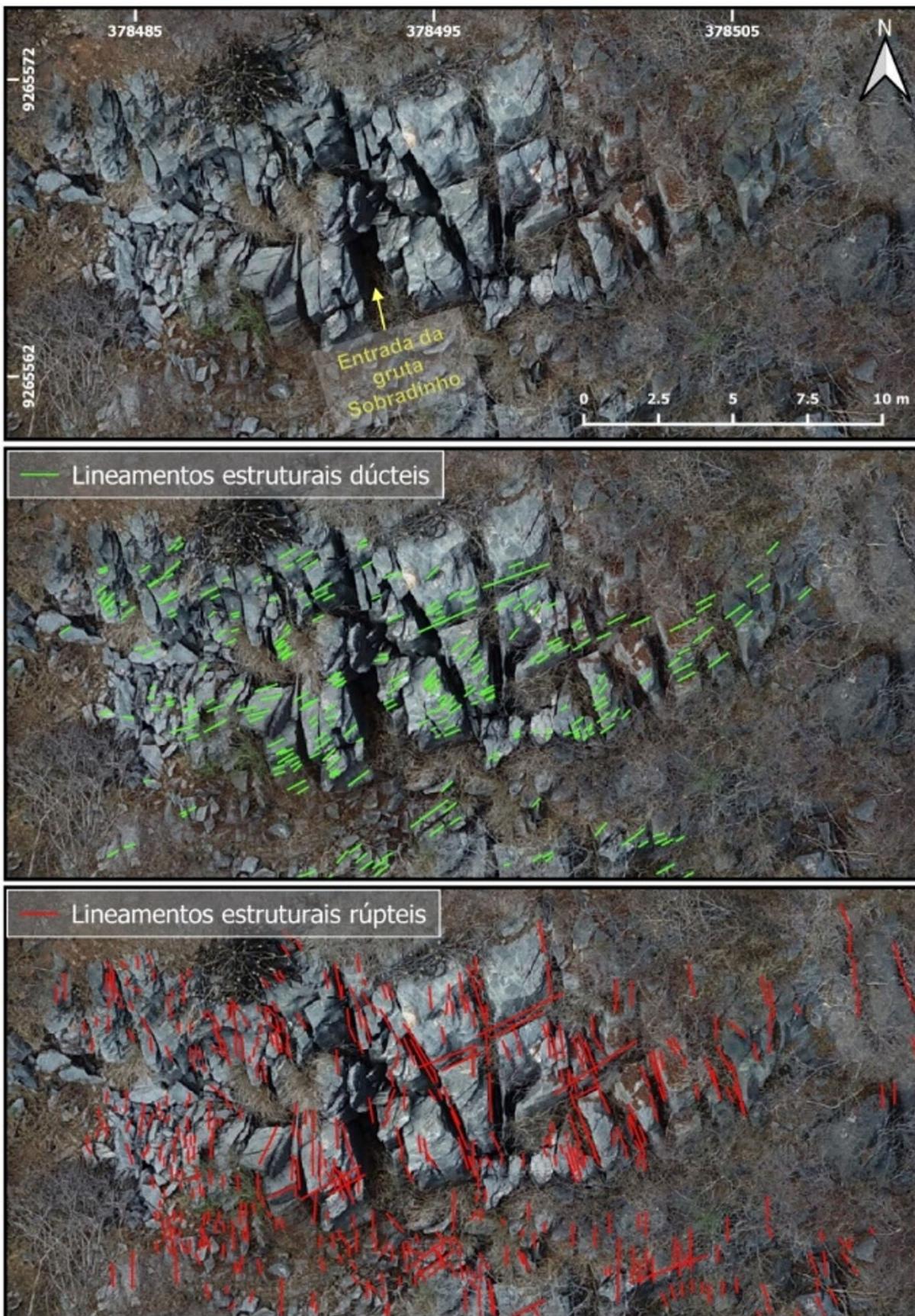


Figura 10: Levantamento estrutural da gruta Sobradinho via drone.

Lineamentos Estruturais Dúcteis

Foram extraídos 142 lineamentos dúcteis, todos com direção NE, representados pelas linhas verdes na figura 10. No diagrama de roseta da figura 11, constata-se que aproximadamente 40% das linhas representantes de direção de foliação estão no intervalo de 50° a 60° NE, correspondentes a foliação principal regional (Sn).

Lineamentos Estruturais Rúpteis

Foram delimitados 693 lineamentos rúpteis, que estão representados por linhas vermelhas na figura 8, com um intervalo de orientação preferencial (quase 50% do total de linhas) entre 350° e 0° NW. Essa família de fraturas se encaixa nas fraturas de cisalhamento antitéticas do modelo de Riedel (R') vista no contexto regional.

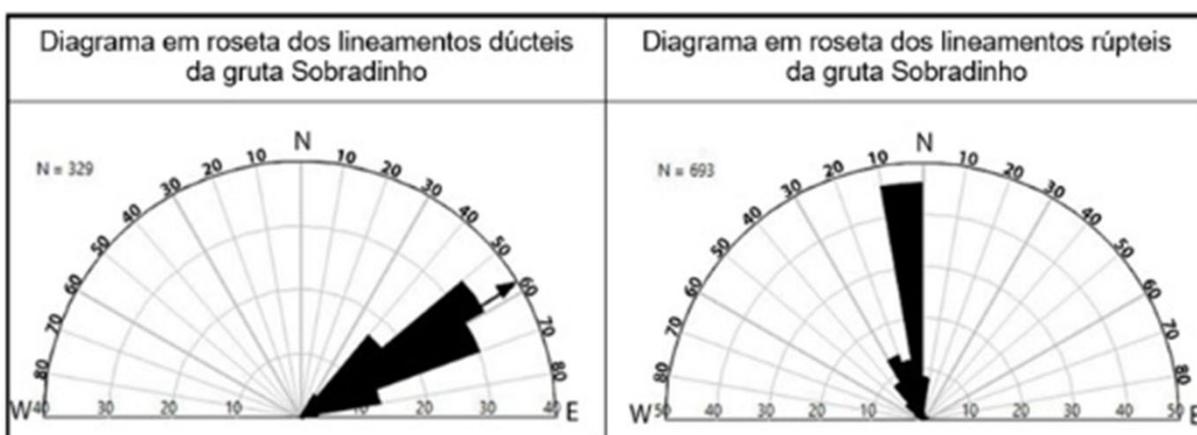


Figura 11: Diagramas em roseta dos lineamentos estruturais da gruta Sobradinho.

Crista Quartzítica

A segunda região escolhida para ser imageada por *drone* foi a de uma crista quartzítica, próxima ao contato com o metassedimento, por ser uma área de difícil acesso e repleta de feições estruturais. A crista e entorno foi imageada numa altitude de aproximadamente 120 metros, cobrindo uma área de 263.558,75 m². O conjunto de imagens possibilitou a formulação do ortofotomosaico de alta resolução com pixel pouco menor que 4 centímetros (figura 12).

Na etapa de analisar e extrair as feições estruturais do ortofotomosaico gerado, constatou-se que apenas lineamentos rúpteis foram identificados

na porção exposta da crista quartzítica, representado como "Zona de lineamentos rúpteis" na figura 12 (quadrilátero vermelho). Este fato pode ser explicado pela alta quantidade de fraturas na rocha, que sobrepõem às foliações. Além disso, o voo foi realizado no início da tarde, período no qual presencia-se muitos raios solares incidentes na crista que, combinado com a alta refletância do quartzito, dificulta a extração de alguns lineamentos que ficam muito claros, quase brancos, no ortofotomosaico gerado por essas imagens.

Os lineamentos dúcteis evidenciados na "zona de lineamentos

dúcteis" da figura 12 (quadro verde), são melhor extraídos ali, e nem mesmo nesta zona os lineamentos dúcteis são

explícitos, sendo estes inferidos pela textura impressa no ortofotomosaico.

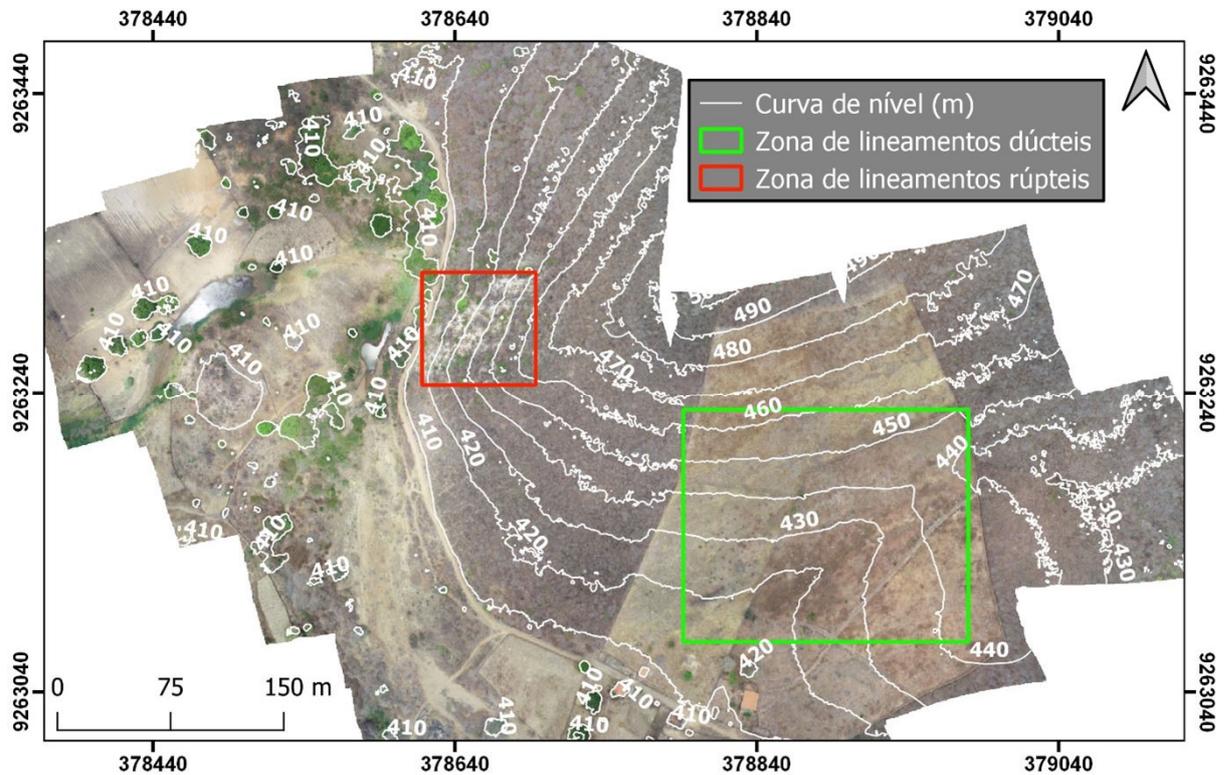


Figura 12: Ortofotomosaico da crista quartzítica e entorno.

Lineamentos Estruturais Dúcteis

No ortofotomosaico da crista quartzítica e entorno, os lineamentos dúcteis extraídos concentram-se numa zona, nos metassedimentos, próxima a crista quartzítica, indicados pelas linhas expostas na figura 13. Os lineamentos dúcteis têm uma direção preferencial NE, em que quase 50% das linhas pertencem ao intervalo de 50° e 60° NE, como pode ser contabilizado no diagrama em roseta da figura.

Lineamentos Estruturais Rúpteis

Os lineamentos rúpteis foram melhor extraídos no topo da crista (figura 14). Uma família de fraturas, com um intervalo de direção preferencial de

350° a 0° NW, que corresponde a quase 60% das linhas, foi observada. Uma segunda família de fraturas, esta perpendicular a primeira e bem menos abundante, corresponde a 25% das linhas, com um intervalo de direção 270° a 280° NW.

Levantamento estrutural por caminhamento

Os planos e linhas extraídos em campo das diferentes estruturas rochosas, como foliação, fratura, estiramento mineral, dobra e entre outros, foram obtidos com o uso de bússola.



Figura 1- Lineamentos dúcteis da região da crista quartzítica.

Lineamentos Estruturais Dúcteis

Em muitas das feições dúcteis vistas em campo, pôde-se medir a intensidade do mergulho das camadas, além da direção destas. As atitudes das camadas encontram-se representadas visualmente no mapa (figura 15) e estatisticamente no estereograma (figura 16), que permite apreciar uma variabilidade considerável nas atitudes dos planos, com uma direção preferencial NE. As camadas mergulham preferencialmente para NW, principalmente no intervalo de 330 a 340° , com intensidade de mergulho em média subverticais. Nota-se, subordinadamente, a ocorrência de camadas com mesma direção de foliação, mas com direção de mergulho inversa ($30 - 40^\circ$ SE) com intensidades de mergulho também subverticais. Os dados que fogem do padrão vistos no estereograma, apresentando mergulhos suaves com direção NE, correspondem a lineações minerais dadas por estiramento e flancos de dobras.

Lineamentos Estruturais Rúpteis

As fraturas medidas em campo estão explanadas no mapa (figura 15) e estatisticamente no diagrama em roseta (figura 16), e apontam para uma direção principal entre $330-340^\circ$ SW. Este intervalo representa uma família de fraturas intermediária àquelas vistas no contexto regional em imagem SRTM.

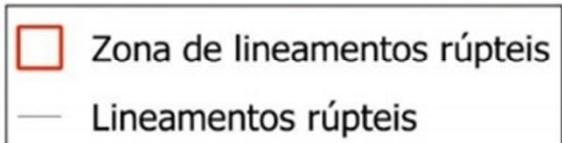


Figura 14: Lineamentos rúpteis da crista quartzítica.

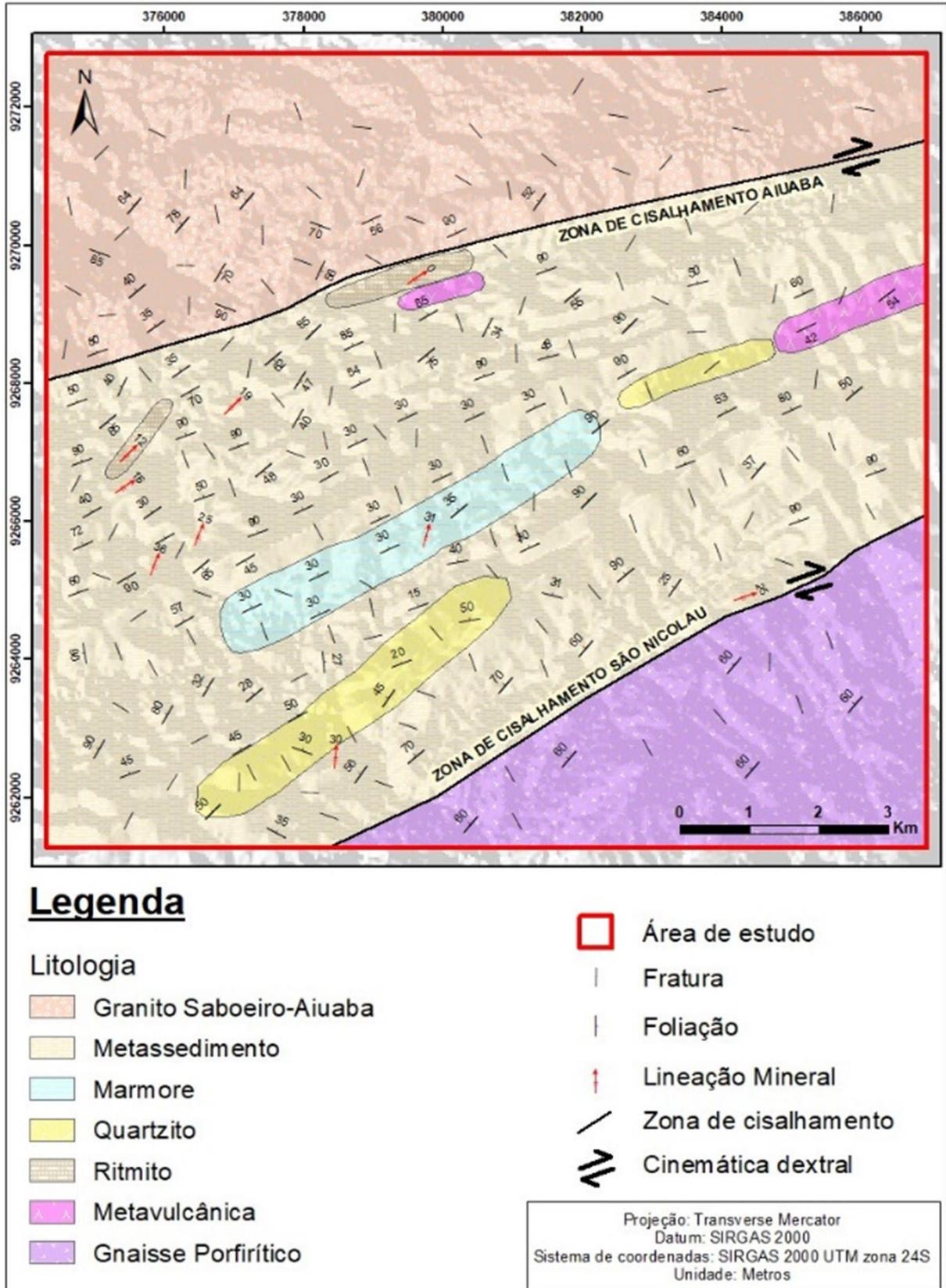


Figura 15: Mapa geológico lito-estrutural da área de pesquisa.

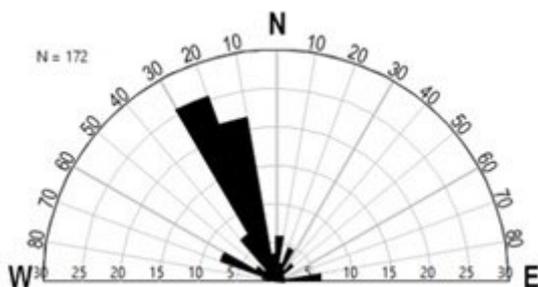


Figura 16: Diagrama em rosetados lineamentos rúpteis extraídos em campo.

CONCLUSÕES

A análise dos lineamentos estruturais dúcteis e rúpteis em diferentes perspectivas (imagem de SRTM, *drone* e medidas de campo) amplia o delineamento das estruturas com um maior número de dados estatísticos que garantem confirmação e confiabilidade nos dados. A interpretação de imagens SRTM propicia o reconhecimento de direções preferenciais de foliação e fratura de escala regional. O imageamento feito por *drone* dispõe inúmeras vantagens que incluem baixo custo, facilidade de operação, rápido processamento e alta resolução dos produtos (modelo digital de elevação e ortofotomosaico) a nível local. Ademais, diante das adversidades do levantamento de campo, o *drone* pôde solucionar o empecilho de coletar lineamentos estruturais em áreas de difícil acesso. As estruturas geológicas analisadas no levantamento feito em campo são mais completas por permitirem também a obtenção intensidade do mergulho das camadas, bem como a identificação e orientação de estruturas de variadas extensões como dobras, estiramento mineral, grãos e corpos sigmoides. O tratamento dos dados nos três levantamentos retornou resultados

gerais similares, com um direcionamento preferencial de foliação das camadas NE e uma família de fraturas principal perpendicular a foliação principal. Desta forma, os métodos utilizados para a captação de elementos estruturais da área de pesquisa se mostraram eficientes, viáveis e confiáveis diante de estudos comparativos nas mais diversas metodologias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B.B., FUCK, R.A. 1977. Províncias estruturais brasileiras. Atas VIII Simp. Geol. Nordeste: 363-391.
- ALMEIDA et al. 1981 - Estruturais Brasileiras. In: SBG, Simp. de Geol. do Nordeste, 8, Campina Grande – PB, Atas, 363-391.
- ANGELIM, LA de A. et al. Folha SB-24-Jaguaribe. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM, 2004.
- ARTHAUD et al., 2007 - Evolução neoproterozóica do grupo Ceará (Domínio Ceará Central, BE Brasil): da sedimentação à colisão continental brasileira. Tese de doutorado. Universidade de Brasília – UNB.
- BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M., 2003. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003. 674 p.
- BRITO NEVES, B. B., SANTOS, E. J., VAN SCHMUS, W. R. 2000. Tectonic History of the Borborema Province, Northeast Brazil. In: Cordani, U. G., Thomaz Filho, A., Campos, D. A. (eds.) Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro, 31ST IGC, 151-182.
- CAVALCANTE, J.C., 1999. Limites e evolução do sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil. Universidade Federal do Rio



- Grande do Norte, (Dissertação) Mestrado 169 p. il.
- GANADE DE ARAUJO, C. E. *et al.*, 2014 - Tracing Neoproterozoic subduction in the Borborema Province (NE-Brazil): Clues from U-Pb geochronology and Sr-Nd-Hf-O isotopes on granitoids and migmatites. *Lithos* 202-203, 167–189.
- HOFFMAN, P.F. 1991. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland, *Science*, 252:1409-1442.
- PARENTE, C.V. & ARTHAUD, M.H., 1995 - O sistema Orós-Jaguaribe no Ceará, NE do Brasil. *Rev Bras. Geoc.*, 297-306.
- SÁ, J.M. 1991. Evolution geodynamique de la ceinture protérozoïque d'Orós, Nord-Est du Brésil. Thèse de doctorat de l'Université de Nancy 1, 117p.
- SANTOS, E. J. & BRITO NEVES, B.B. 1984. Província Borborema. In: O Pré-cambriano do Brasil F.F.M. de Almeida & Y. Hasui (eds.), Ed. Blucher, Brasil, p 123-186.
- SOUSA, H. P. *et al.* Modelagem multiescala dos corpos metamórficos-ultramárficos do greenstone belt Serra das Pipocas, Província Borborema, Ceará. 2017.
- TROMPETTE R. 1994. Geology of western Gondwana, Pan-african/Brasiliano Aggregation of South America and Africa. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 350 p.
- VAN SCHMUS, W.R.; BRITO NEVES, B.B.; HACKSPACHER, P. & BABINSKI, M. 1995. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the Eastern Borborema Provinces, Northeastern Brazil: initial conclusions. *J. South Amer. Earth Sc.*, 8 (3/4):267-288.