

CARTOGRAFIA DE DETALHE E ASPECTOS ESTRUTURAIS NO TERRENO PARANAGUÁ MERIDIONAL: UMA ABORDAGEM PONTUAL ATRAVÉS DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA

Rafael Wozniak Lipka¹; Leonardo Fadel Cury¹; Luís Felipe Machado da Costa²

1 - Universidade Federal do Paraná – UFPR. Av. Cel. Francisco H. dos Santos, s/n - Jardim das Américas, Curitiba - PR, 81270-460. E-mail:

rafael.lipka@gmail.com; cury@ufpr.br;

2 - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. R. Antônio Barros de Castro, 119 - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, 21941-853. E-mail:

luisfelipe.machado@hotmail.com

Abstract: *With the advent and recent popularization of the use of drones in geosciences, they have gained prominence due to their ability to obtain information in areas of difficult access, in addition to enabling the generation of extremely detailed models of large outcrops in an agile and fast manner. The present study involved the investigation and imaging of three outcrops, located in the southern part of the Paranaguá Terrane, with emphasis on the detailed cartography of their lithological and structural aspects. Being composed of gneiss, granitoids, schists and granofels, it was possible to construct detailed maps of their spatial arrangements, with subsequent integration of structural data obtained from the field, such as shear zones, fractures and migmatite/intrusive features. The use of cartographic products derived from the use of drones helped to contextualize the structures observed with the tectonic scenario of the studied sites, enabling the correlation of these features with the geological framework observed at broader scales.*

Keywords: *UAV/Drone; Digital Outcrop Model; Detailed Mapping; Structural Analysis.*

1. INTRODUÇÃO

Correspondendo a um fragmento crustal majoritariamente granítico, o Terreno Paranaguá está localizado ao longo da costa sul-sudeste brasileira, abrangendo parte dos estados do Paraná, São Paulo e Santa Catarina. Possui um formato alongado seguindo uma direção nordeste – sudoeste e constitui um dos distintos terrenos amalgamados durante a consolidação da porção sudoeste do Gondwana, no evento Brasiliano/Pan-Africano. Apesar de litotipos associados ao terreno serem descritos na bibliografia desde trabalhos pioneiros das décadas de 40 e 50 (Bigarella, 1946, Maack, 1953), ainda são escassos os trabalhos com maior nível de detalhamento, seja pela dificuldade de acesso de determinadas áreas, seja pelas complexidades intrínsecas do estudo de unidades geológicas pré-cambrianas. Originalmente denominado como “Batólito Paranaguá” e “Cinturão Granitóide Costeiro” (Basei et al., 1990; Basei et al., 1992), o terreno e suas unidades foram formalizados apenas recentemente, a partir dos trabalhos de Cury

(2009). O presente trabalho visa contribuir neste aspecto, com a investigação detalhada de dois afloramentos na Ilha de São Francisco do Sul (SFA e SFU) e um no município de Garuva, nas imediações da divisa Paraná-Santa Catarina (PAL-32).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho fundamentou-se na integração de dados de campo e modelos construídos a partir de aerofotografias obtidas por drone. Os afloramentos foram imageados com um drone DJI Air2S (Figura 1), em modo de voo manual, com processamento das imagens no software Agisoft Metashape™. Outros softwares utilizados correspondem ao GEOTEC Stereo v1.2 para a sintetização dos dados estruturais e QGIS^{CC} para a integração dos dados em sistema SIG (Sistema de Informações Geográficas). No que diz respeito à nomenclatura de migmatitos foram seguidas, com ligeiras modificações, as propostas de Sawyer (2008).

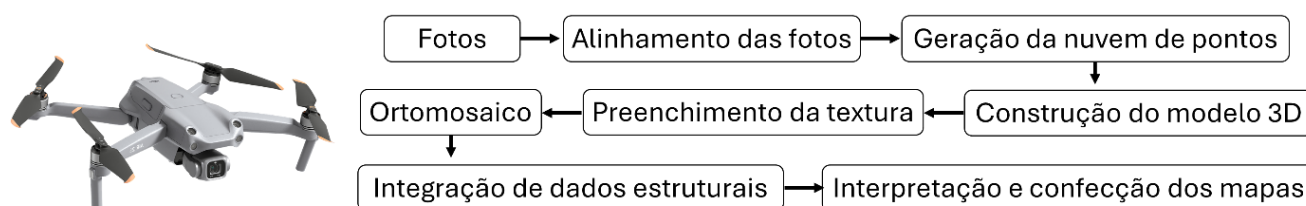


Figure 1. Drone DJI AIR2S e Fluxograma de processamento dos dados aéreos.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA REGIONAL

O Terreno Paranaguá (Figura 2) é constituído em sua maior parte por três suítes graníticas neoproterozóicas (Canavieiras-Estrela, Morro

Inglês e Rio do Poço) que se encontram intrudidas em sequências metavulcanossedimentares da Sucessão Rio das Cobras e em gnaisses localmente migmatíticos do Complexo São Francisco do Sul (Cury 2009).

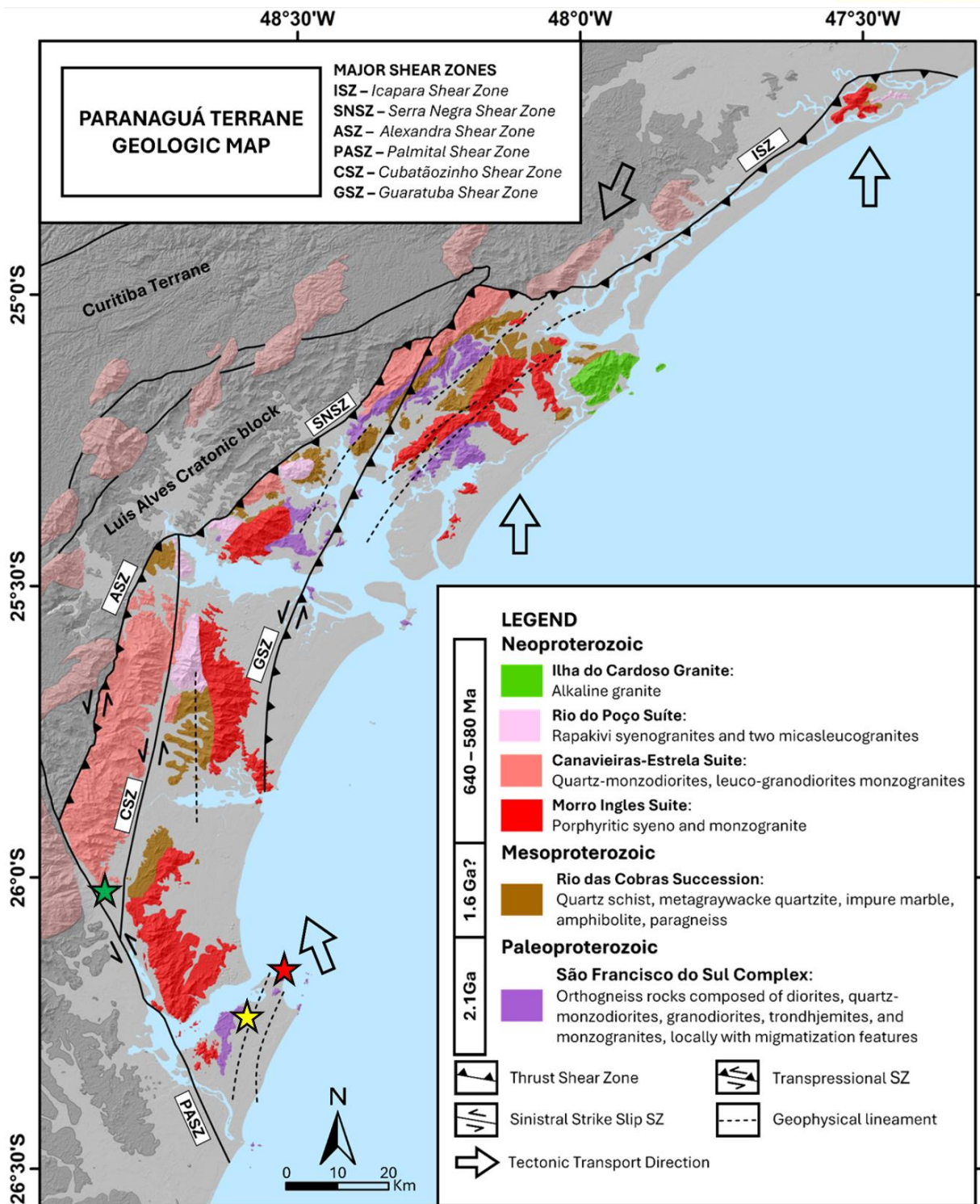


Figure 2. Mapa geológico do Terreno Paranaguá, com base nos trabalhos de Cury (2009) e Patias et al., (2020). Os Afloramentos SFA, SFU e PA-32 estão respectivamente indicados pelas estrelas amarela, vermelha e verde.

Representando o embasamento das demais unidades do Terreno Paranaguá, o Complexo São Francisco do Sul corresponde a uma unidade gnáissica-migmatítica, englobando termos de composições diorítica, granodiorítica, quartzo-monzodiorítica, trondhjemitica e monzogranítica. É marcado

por um característico bandamento composicional entre porções de distintos teores de máficos, sendo localmente também reconhecidos litotipos migmatíticos de morfologias variadas e milonitos (Cury, 2009; Baldin et al., 2017; Lipka, 2021). A Sucessão Rio das Cobras representa uma unidade

metassedimentar supracrustal de idade mesoproterozóica e metamorfismo bastante heterogêneo. Engloba uma ampla gama de litologias, com protólitos pelíticos, psamopelíticos e cálcio-silicáticos, metamorfizados desde fácies xisto verde a fácies granulito inferior (Cury, 2009; Patias et al., 2020). A Suíte Morro Inglês corresponde à unidade de maior extensão do terreno, abrangendo sienogranitos e monzogranitos porfiríticos, enquanto a Suíte Canaveira-Estrela ocorre predominantemente como corpos alongados na porção oeste do terreno englobando quartzo-monzodioritos, leucogranodioritos e monzogranitos de texturas porfiríticas e inequigranulares. Já a Suíte Rio do Poço ocorre de forma mais restrita e corresponde a leucogranitos inequigranulares médios e finos, localmente com textura rapakivi, e caracterizados pela presença de duas micas (Cury, 2009).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O afloramento SFA corresponde à cava da pedreira Adrimar, localizada na porção central da Ilha de São Francisco do Sul, onde foram confeccionados dois ortomosaicos em perfil de suas faces, sendo um em sua porção noroeste, com 120 m (Figura 3) e outro em sua face norte, com 40 m (Figura 4). O afloramento é constituído predominantemente por migmatitos diatexíticos, sem bandamento preservado e com estrutura marcada pela orientação preferencial de minerais subédricos e tabulares, correspondendo a litotipos majoritariamente equigranulares hipidiomórficos, com textura nematoblástica e, localmente, lepidoblástica. A quantidade de minerais máficos varia ao longo do afloramento, ora de forma abrupta, ora de forma contínua, com teores entre 15% e 30%.

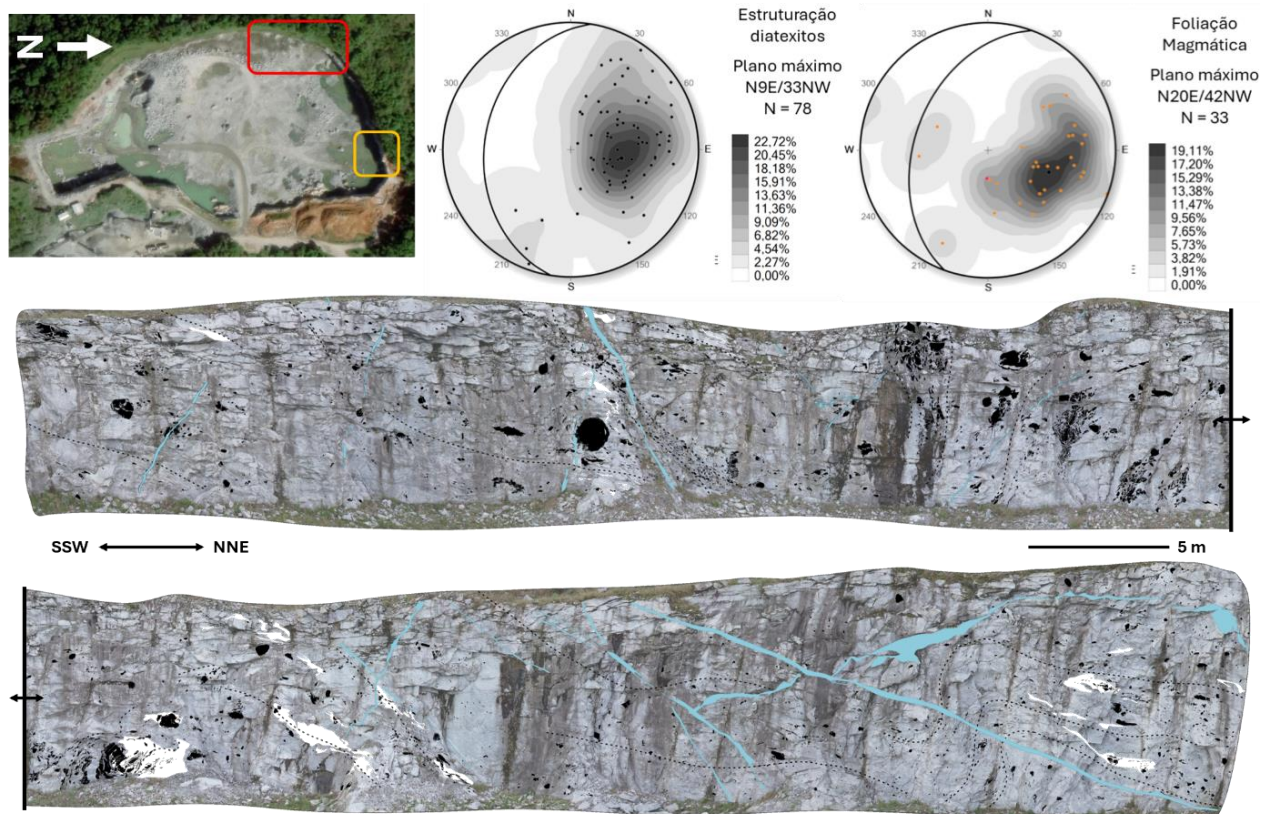


Figure 3. Ortomosaico referente a face oeste do afloramento SFA, sendo traçados os principais corpos máficos (em preto), porções leucocráticas (em branco) e pegmatíticos (em azul). Na imagem de satélite acima estão destacadas as localizações do perfil na cava da pedreira Adimar, sendo a face oeste em vermelho e a face norte em amarelo.

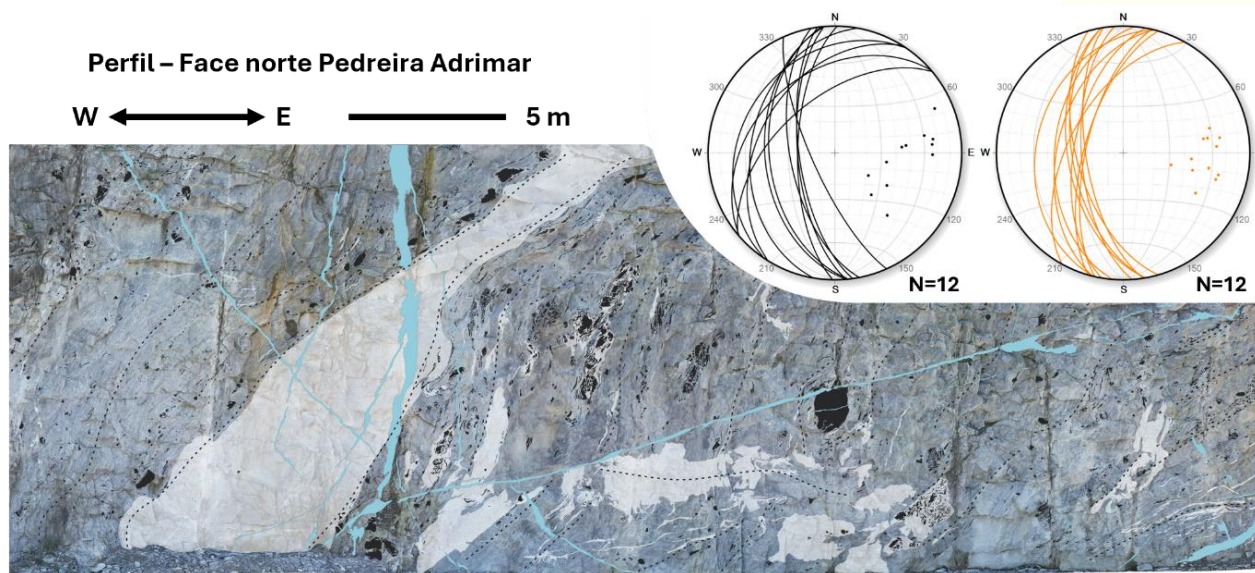


Figure 4. Ortomosaico referente à face norte do afloramento SFA, com o traçado dos principais corpos máficos (em preto), porções leucocráticas (em branco) e pegmatíticos (em azul). Destaque para a grande intrusão leucocrática em meio aos termos diatexíticos, possivelmente correspondente a um canal de migração de melt. O estereograma em preto representa as medidas da estruturação do diatexito, enquanto as em amarelo referem-se à foliação magmática.

Os enclaves máficos ocorrem distribuídos de forma irregular ao longo do afloramento, sendo constituídos essencialmente por hornblenda e biotita, com dimensões variáveis, desde poucos centímetros até cerca de 2 metros. Sua morfologia também é bastante diversa, variando desde corpos arredondados e ovalados até corpos estirados e intensamente deformados, em padrões irregulares ou de alta razão de forma (Figura 5). Estes enclaves podem ser entendidos como correspondendo a *schollens* e *schlierens* (Sawyer, 2008), imersos em um sistema de altas taxas de fusão – diatexítico. Deve ser ressaltado que não foram identificadas quaisquer litologias associadas ao paleossoma ou protólito, em seu estado pré-anatético. O processo de segregação entre as porções neoformadas também ocorre de maneira irregular ao longo do afloramento, de modo que os processos anatéticos em mesoescala e a própria estruturação geral do afloramento são marcados principalmente pelos processos de desagregação destes enclaves máficos, por meio de sua rotação, estiramento e da

formação de trilhas e agregados menores de minerais máficos (Figuras 5a, 5c, 5e). Vale destacar que, com a progressão destes processos de deformação ocorre de maneira concomitante à progressiva substituição dos cristais de anfibólio por biotita.

Correlacionáveis ao leucossoma completamente segregado, os termos leucocráticos-leucograníticos também ocorrem de forma irregular ao longo do afloramento. Exibem textura equigranular hipidiomórfica média e estruturação marcada pela orientação preferencial de cristais de feldspato. Sua principal ocorrência se dá na forma de intrusões tabulares (Figura 5b), concordantes ou discordantes com a estruturação geral do diatexito encaixante, frequentemente contendo enclaves deste. Também ocorrem associados às bordas dos enclaves máficos (Figura 5d) e em bolsões de morfologia irregular. Pontualmente, são também reconhecidos veios pegmatíticos posteriores de espessura centimétrica a decimétrica, de morfologia tabular e com limites retilíneos com suas encaixantes.

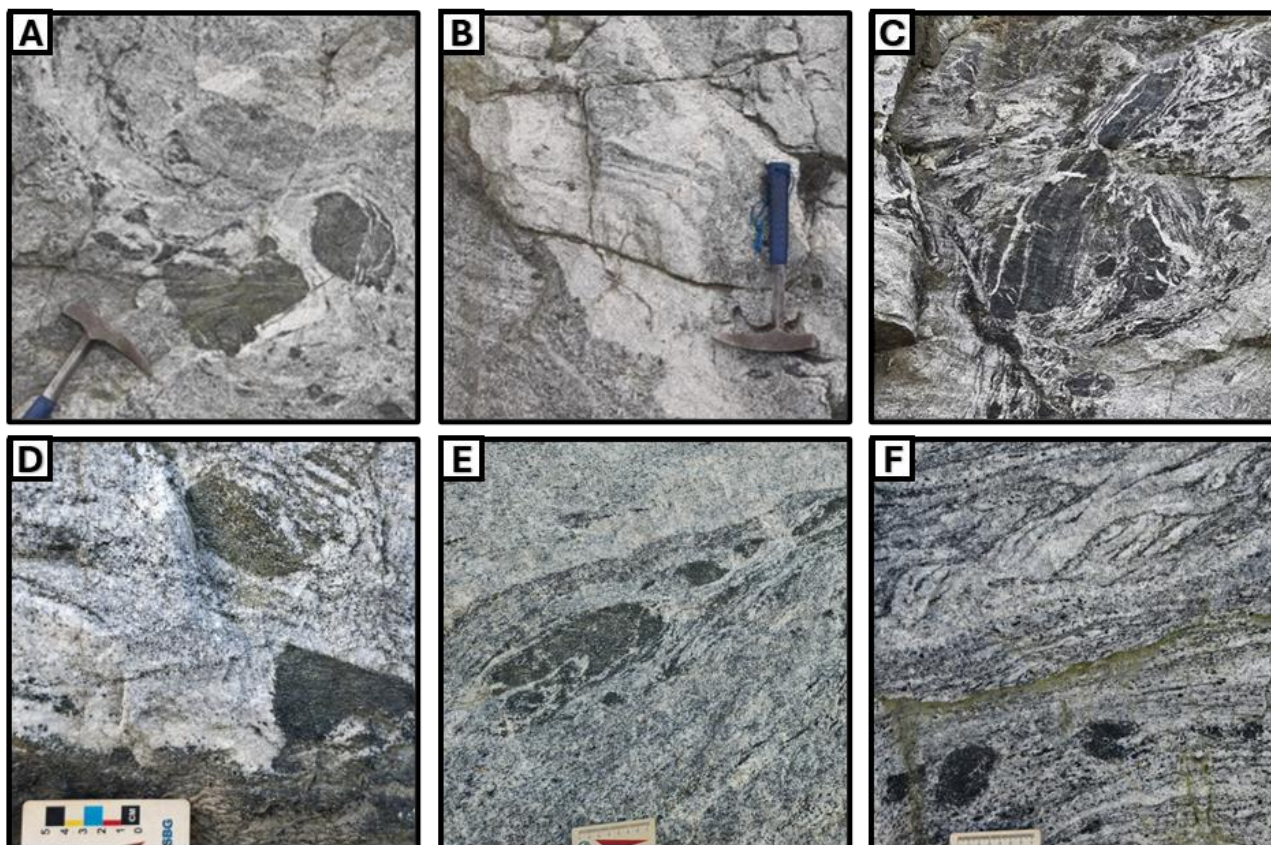


Figure 5. Principais feições anatéticas associadas ao afloramento SFA: A) Desagregação de enclave, com geração de “trilha” leucocrática; B) Injeção leucocrática em meio ao diatexito; C) Corpo máfico alongado passando por processo de boudinagem e desagregação na presença do leucossoma; D) Detalhe de borda de enclave máfico associado a uma fase leucocrática; E) Transição abrupta entre termo diatexítico mesocrático e litotipo leucocrático, associado a enclaves em processo de desagregação; F) Detalhe dos distintos graus de segregação entre as fases neoformadas, com a geração de “níveis” leucocráticos e melanocráticos, bem como porções de aspecto nebulítico não segregado.

O afloramento SFU (Figura 6) também se localiza na Ilha de São Francisco do Sul, e corresponde à parte dos costões rochosos a sudeste do morro do Itaguaçu, na Praia de Ubatuba. Devido sua localização imediatamente ao lado do mar e às condições meteorológicas durante as atividades de campo, o imageamento do afloramento foi prejudicado pela ocorrência de ventos intensos, de modo que o ortomosaico resultante apresenta formato irregular. A movimentação das ondas entre a tomada de uma foto e outra também dificultou o processamento dos dados, reduzindo a quantidade de pontos homólogos entre as imagens e gerando distorções nos produtos cartográficos.

Constitui-se majoritariamente por paragnaisse, marcados pela intercalação de bandas xistosas ricas em biotita com granofels e porções mais quartzosas. Ocorrem intrusões graníticas de orientação concordante ao bandamento gnáissico (Figura 7b). O afloramento registra duas fases de deformação, sendo a primeira na forma de um esforço compressivo de orientação NE-SW, com o dobramento dos litotipos paragnáissicos e das intrusões graníticas, definindo sua estruturação geral de baixo a médio ângulo (Figura 7a). De forma sobreposta, ocorre uma zona de cisalhamento transcorrente dextral de orientação N40E, com a geração de dobras isoclinais (Figura 7c) e planos anastomosados que truncam as demais estruturas.

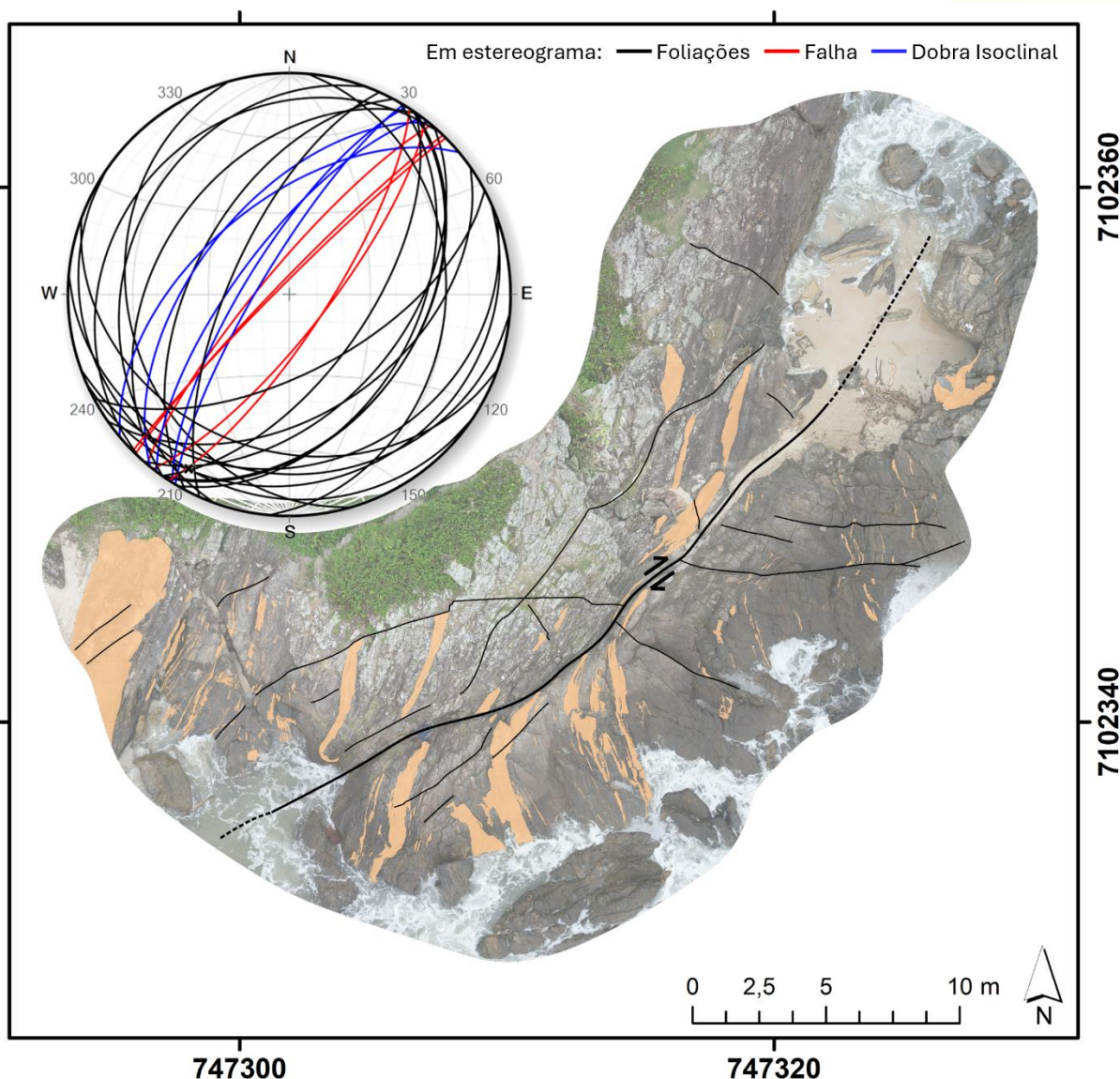


Figure 6. Ortomosaico referente ao afloramento SFU, com o traçado das intrusões leucocráticas, da zona de cisalhamento principal e dos demais planos de fratura.

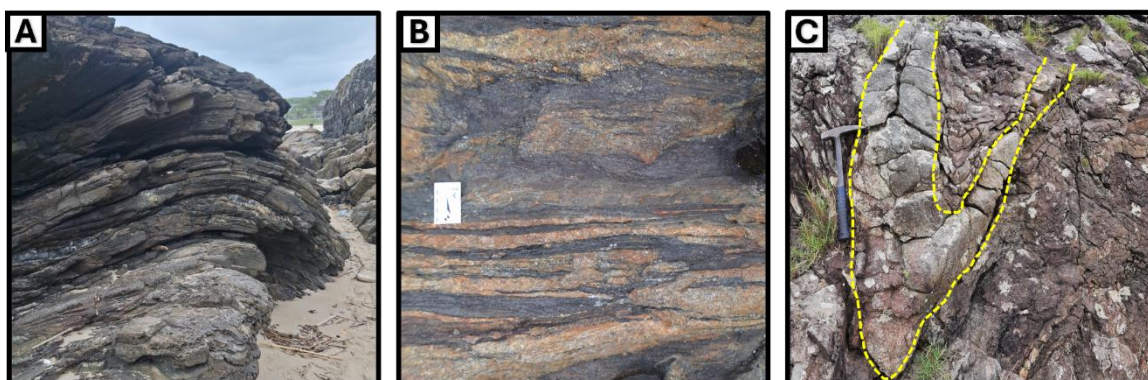


Figure 7. Principais características associadas ao afloramento SFU: A) Foliação de baixo ângulo dobrada e posteriormente rompida por um cisalhamento de alto ângulo. B) Intercalação entre bandas biotíticas, biotíticas-quartzosas e injeções leucocraníticas. C) Injeção leucogranítica dobrada, concordante à foliação/bandamento paraderivado.

Já o afloramento PA-32 (Figura 8), corresponde à parte do leito rochoso do Rio São João, localizado no município de Garuva, em local popularmente conhecido como “Ponte de Pedra da Judite”, tendo sido imageado um trecho de aproximadamente 50 m em sua margem esquerda. Parte do ortomosaico encontra-se sem interpretação devido ao excesso de luminosidade do momento da captura das imagens e à cobertura de poeira no local.

Por estar localizado dentro da área de influência da Zona de Cisalhamento Palmital (da Costa et al., 2025), o afloramento é composto majoritariamente por sienogranitos miloníticos, caracterizados por intenso

estiramento de cristais de quartzo e feldspato potássico, seguindo orientação NNW-SSE, gerando um aspecto similar a um bandamento. De maneira intercalada aos litotipos graníticos ocorre uma faixa composta por litotipos máficos, gnáissicos e, mais raramente, leucocráticos. Os gnaisses também apresentam aspecto milonítico e se caracterizam pela intercalação irregular entre bandas com distintos teores de minerais máficos, frequentemente com porfiroclastos rotacionados e estirados. Lateralmente a estes gnaisses ocorrem rochas máficas de aspecto foliado/milonítico, majoritariamente biotíticas. Pontualmente, são reconhecidos corpos máficos afaníticos de limites angulosos, englobados por uma fase leucocrática.

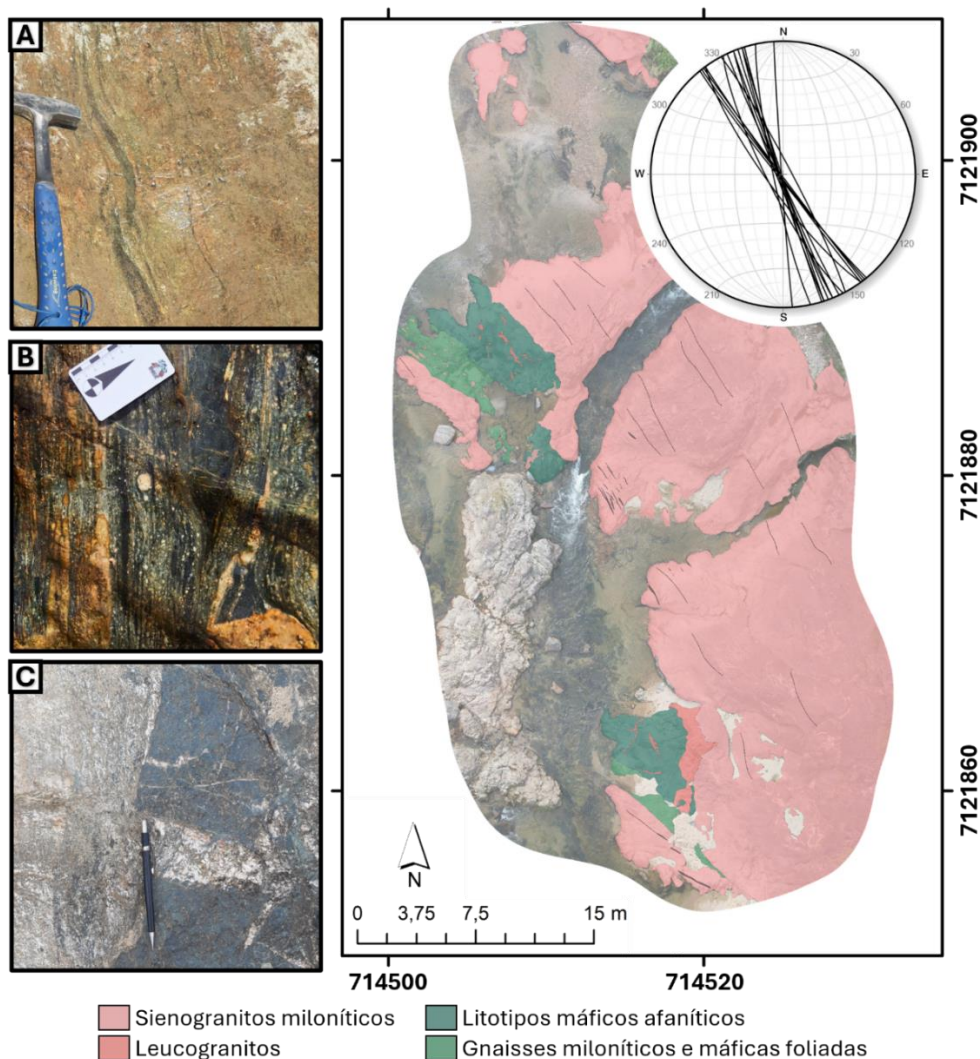


Figure 8. Ortomosaico referente ao afloramento PA-32, com o traçado das principais litologias aflorantes. A) Aspecto geral dos sienogranitos miloníticos, localmente com shear bands quartzosas. B) Aspecto geral dos

gnaisse miloníticos, localmente com corpos máficos estirados. C) Corpos máficos afaníticos de limites retilíneos englobados por uma fase leucocrática.

5. CONCLUSÕES

O emprego de um veículo aéreo não tripulado – VANT mostrou-se de grande valia nas atividades de cartografia geológica, permitindo a rápida coleta de informações via fotos e subsequente construção de ortomosaicos e panoramas, cuja integração com os demais dados de campo proporcionou a criação de modelos extremamente detalhados. Entretanto, é necessário ressaltar que, apesar das inúmeras vantagens, a utilização de drones ainda possui uma série de limitações, a exemplo de fatores ambientais (chuva, ventos intensos, ataque de aves, excesso/falta de luminosidade) e aqueles intrínsecos aos afloramentos (espaço para realização de voo, cobertura do afloramento por poeira, posicionamento próximo a corpos d'água).

Em relação aos afloramentos investigados, o afloramento SFA pode ser correlacionado ao Complexo São Francisco do Sul, em específico a seus termos ortognáissicos-migmatíticos, registrando intensos processos de anatexia e deformação em estado suprasolidus. O afloramento SFU se destaca por registrar ao menos duas fases de deformação, ambas posteriores à intrusão dos corpos leucocráticos, estando em concordância com as interpretações de Patias et al. (2019). A ocorrência de xistos e granofels associados a níveis mais quartzosos concordantes é sugestiva de caráter paraderivado destes litotipos, podendo ser correlacionado tanto à Sucessão Rio das Cobras quanto a algum membro ainda não reconhecido do Complexo São Francisco do Sul, sendo necessárias subsequentes investigações petrográficas, geoquímicas e, especialmente, geocronológicas. Já no afloramento PA-32, os litotipos sienograníticos possivelmente correspondem àqueles da Suíte Canavieiras-Estrela sob intensos processos de milonitização, enquanto os litotipos gnáissicos e máficos da porção central poderiam corresponder a uma lasca do embasamento

soerguida pela atividade da Zona de Cisalhamento Palmital, que controla a estruturação geral do local.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao financiamento recebido através do Projeto GeoQI (PETROBRÁS/LAMIR/FUNPAR N°23075.039121/2022-97).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALDIN, M. T.; BARROS, C. E. M.; CURY, L. F. Geoquímica e estrutura dos ortognaisse das ilhas do Balneário Barra do Sul e de São Francisco do Sul, litoral norte do Estado de Santa Catarina. *Geologia USP: Série Científica*, v. 2, p. 8–105, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v17-273>.

BASEI, M. A. S.; SIGA JÚNIOR, O.; REIS-NETO, J. M. O Batólito Paranaguá: proposição, idade, considerações petrogenéticas e implicações tectônicas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 1990. Anais p. 1684–1699. Disponível em: <http://www.sbgeo.org.br/home/pages/44>.

BASEI, M. A. S.; SIGA JÚNIOR, O.; MACHIAVELLI, A.; MANCINI, F. Evolução tectônica dos terrenos entre os cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 22, p. 216–221, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1992216221>.

BIGARELLA, J. J. Contribuição ao estudo da planície litorânea do estado do Paraná. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, Curitiba, v. 1, p. 95–143, 1946. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132001000500005>.

CURY, L. F. Geologia do terreno Paranaguá. 2009. 187 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.44.2009.tde-06072009-113335>.

LIPKA, R. W. Caracterização petrográfica-petroológica do Complexo São Francisco do Sul, Terreno Paranaguá. 2021. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021. Disponível em: https://geologia.ufpr.br/wp-content/uploads/2022/05/TCC_Rafael_Wozniak_Lipka.

[pdf.](#)

MAACK, R. Mapa geológico do estado do Paraná. Escala 1:750.000. Curitiba: IBPT, 1947. Disponível em: <https://www.documentador.pr.gov.br/documentador/pub.do?action=d&uuid=@gtf-escriba-minerop@aa77bdd0-0b22-4c77-bbca-c66e054de468>.

PATIAS, D.; CURY, L. F.; FALEIROS, F. M.; CALDERÓN, M.; SIGA JR, O.; THEYE, T. . Late Neoproterozoic P-T-t paths of syn- and post-collisional metamorphism in the Paranaguá Terrane, Ribeira Belt (Brazil): implications for West Gondwana assembly. *International Geology Review*, [S. l.], 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00206814.2020.1833372>.

SAWYER, E.W. Atlas of migmatites. Ottawa: Canadian Science Publishing, 2008. (The Canadian Mineralogist Special Publication, v. 9). ISBN 9780660197876. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/9780660197876>.

COSTA, L. F. M.; SCHMITT, R. S.; STANTON, N.; CURY, L. F. Multiscale structural analysis of the Palmital shear zone: A possible suture between Luís Alves Microplate and Paranaguá Terrane, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, [S. l.], v. 152, p. 105307, 1 fev. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.105307>.

PATIAS, D.; CURY, L. F.; SIGA JR, O. Transpressional deformation during Ediacaran accretion of the Paranaguá Terrane, southernmost Ribeira Belt, Western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, [S. l.], v. 96, p. 102374, dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102374>.