



**UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

CURSO DE GEOLOGIA

JAC EMMANUEL DE MENEZES VAIDERGORN

**CARACTERIZAÇÃO MORFOESTRUTURAL E RELAÇÃO ENTRE MACRO E
MESOESTRUTURAS DAS ROCHAS DO COMPLEXO BRUSQUE NAS REGIÕES DA
CACHOEIRA ENCANTADA E BARRA DO AREIA, BOTUVERÁ – SC.**

FLORIANÓPOLIS

2024

JAC EMMANUEL DE MENEZES VAIDERGORN

CARACTERIZAÇÃO MORFOESTRUTURAL E RELAÇÃO ENTRE MACRO E MESOESTRUTURAS DAS ROCHAS DO COMPLEXO BRUSQUE NAS REGIÕES DA CACHOEIRA ENCANTADA E BARRA DO AREIA, BOTUVERÁ – SC.

Trabalho de conclusão do curso de graduação em Geologia, Departamento de Geologia, no Centro de Ciências Humanas e Filosóficas da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Sacks de Campos

FLORIANÓPOLIS

2024

Vaidergorn, Jac Emmanuel de Menezes

CARACTERIZAÇÃO MORFOESTRUTURAL E RELAÇÃO ENTRE MACRO E MESOESTRUTURAS DAS ROCHAS DO COMPLEXO BRUSQUE NAS REGIÕES DA CACHOEIRA ENCANTADA E BARRA DO AREIA, BOTUVERÁ - SC. / Jac Emmanuel de Menezes Vaidergorn ; orientador, Roberto Sacks de Campos, 2024.

74 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geologia, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Geologia. 2. Geologia estrutural. 3. Geomorfologia. 4. Análise de imagens. 5. Análise morfoestrutural. I. Campos, Roberto Sacks de. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Geologia. III. Título.

Jac Emmanuel de Menezes Vaidergorn

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso de Geologia.

Prof. Dr. Roberto Sacks de Campos
Coordenador do Curso de Geologia

Banca examinadora

Prof. Dr. Roberto Sacks de Campos - Orientador
Departamento de Geologia - UFSC

Prof^a Dra. Liliana Sayuri Osako - Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Edison Ramos Tomazzoli - Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 20 de dezembro de 2024.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os meus amigos, tanto os quem convivo diariamente quanto os distantes que, de alguma maneira, contribuíram para eu chegar até aqui.

À minha família, que sempre me deu apoio para seguir nesta jornada pela Geologia.

Ao meu professor e orientador Roberto Sacks de Campos, pelas boas conversas fora do laboratório, e por me orientar neste trabalho.

Aos meus professores Liliana Sayuri Osako e Edison Ramos Tomazzoli, por aceitarem fazer parte da banca examinadora.

*“The decisions you make and the actions that follow
are a reflection of who you really are”.*

- Samurai Jack

RESUMO

O Complexo Metamórfico Brusque é uma sequência metavulcanossedimentar de rochas datada do neoproterozoico, composta de filitos, xistos e metapsamitos alternando com lentes de quartzitos, metacarbonatos e rochas máfico-ultramáficas. O Complexo foi submetido a quatro fases de deformação durante a orogenia do Brasileiro, evidenciadas por sucessivas fases de deformação formadas a partir de uma superfície reliquiar S_0 . A foliação regional encontra-se transposta por dobras isoclinais recumbentes, originado as superfícies S_1 e S_2 durante os eventos D_1 e D_2 . O terceiro evento deformacional (D_3), de natureza dúctil-rúptil, é responsável pela formação de dobras do tipo Chevron com formação de foliação e/ou clivagem plano-axial associada (S_3) em alto ângulo. O último episódio de deformação observado (D_4) é de natureza mais rúptil que o evento D_3 e caracteriza-se pela formação de clivagem plano axial (S_4) em dobras abertas do tipo kink. O registro destas estruturas reflete-se tanto em macroescala quanto em mesoescala e microescala, uma vez que o estresse causado por um esforço tectônico se perpetua em diferentes dimensões. Neste trabalho foi realizado um estudo comparativo entre macro e mesoestruturas, a fim de determinar o grau de influência das estruturas observadas nos afloramentos sobre as morfoestruturas e a formação do relevo da região. O estudo foi aplicado em duas áreas que se situam no município de Botuverá: I) região da Cachoeira Encantada e II) região do Barra do Areia. Ambas as regiões apresentaram lineamentos estruturais em duas direções principais: NE-SW e NW-SE. Os lineamentos NE-SW são constituídos por cristas de morros e sua orientação se mostrou concordante a foliação S_3 de alto ângulo, demonstrando o importante controle destas estruturas sobre a geomorfologia. Já os lineamentos NW-SE são constituídos por vales e sulcos de drenagem, sendo que esta direção é paralela a clivagem plano axial S_4 observada nos afloramentos. Isto ressalta a importância destas fraturas no condicionamento dos lineamentos negativos. A região da Cachoeira Encantada destaca-se pela ocorrência de lineamentos negativos de direção geral E-W. Foi constatado que os patamares da Cachoeira Encantada foram formados a partir a atuação de um sistema de falhas transtrativas que estão dispostas nesta direção. Na região do Barra do Areia foram encontradas fraturas de baixo ângulo com caimento para W, interpretadas como juntas de alívio de pressão. Com base nos resultados deste estudo foi possível concluir que as estruturas encontradas nas rochas do Complexo Brusque nas regiões de estudo exercem forte controle sobre o relevo e são responsáveis pela definição do modelado de relevo regional de dissecação estrutural.

Palavras-chave: Complexo Metamórfico Brusque, geologia estrutural, macroestruturas, mesoestruturas; análise morfoestrutural.

ABSTRACT

The Brusque Metamorphic Complex is a metavolcanosedimentary sequence of rocks dated from the Neoproterozoic, with phyllites, schists and metapsamites alternating with lenses of quartzites, metacarbonates and mafic-ultramafic rocks in its composition. The Complex was subjected to four phases of deformation during the Brazilian orogeny, evidenced by successive phases of deformation formed from a relic surface S_0 . The regional foliation is transposed by isoclinal folds which originate the S_1 and S_2 surfaces in the events D_1 and D_2 . The third deformational event (D_3), of a brittle-ductile nature, is responsible for the formation of Chevron-type folds with the formation of foliation and/or associated axial plane cleavage (S_3) at high angle. The last observed deformation episode (D_4) is more brittle in nature than event D_3 and is characterized by the formation of axial plane cleavage (S_4) in open kink-type folds. The record of these structures is reflected both on a macroscale and on a mesoscale and microscale, since the stress caused by a tectonic effort is perpetuated in different dimensions. In this work, a comparative study was carried out between macro and mesostructures, in order to determine the degree of influence of the structures observed in the outcrops on the morphostructures and the formation of the region's relief. The study was applied in two areas located in the municipality of Botuverá: I) Encantada Waterfall's region and II) Barra do Areia's region. Both regions presented structural lineaments in two main directions: NE-SW and NW-SE. The NE-SW lineaments are made up of hill crests and their orientation was consistent with the high-angle S_3 foliation, thus demonstrating the important control of these structures over the geomorphology. The NW-SE lineaments are made up of valleys and drainage grooves, furthermore, this direction is parallel to the S_4 axial plane cleavage observed in the outcrops. This highlights the importance of these fractures in conditioning negative lineaments. The Encantada Waterfall's region stands out for the occurrence of negative lineaments with a general E-W direction. It was found that the levels of Encantada Waterfall were formed by the action of a system of transtraction faults that are arranged in this direction. In the Barra do Areia's region, low-angle fractures were found with a W slope, interpreted as pressure relief joints. Based on the results of this study, it was possible to conclude that the structures found in the rocks of the Brusque Complex in the study regions exert strong control over the relief and are responsible for defining the regional relief model of structural dissection. **Key-words:** Brusque Metamorphic Complex, structural geology, macrostructures, mesostructures, morphostructural analysis.

Key-words: Brusque Metamorphic Complex, structural geology, macrostructures, mesostructures, structural geomorphology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.....	4
Figura 2: Mapa tectônico da América do Sul.....	8
Figura 3: Cinturão Dom Feliciano.....	9
Figura 4: Mapa geológico da região de estudo, na porção setentrional do Escudo Catarinense.....	10
Figura 5: Modelo da evolução das rochas do complexo Brusque na região de Botuverá.....	12
Figura 6: Domínios Morfoestruturais e regiões geomorfológicas.....	14
Figura 7: Unidades geomórficas e sua compartimentação no relevo brasileiro.....	15
Figura 8: Unidades geomórficas de Santa Catarina.....	15
Figura 9: Projeção de um plano de falha em uma rede estereográfica.....	20
Figura 10: Eixo dos esforços atuantes sobre um regime rúptil.....	21
Figura 11: Deformação em um corpo maciço em esforços de extensivos e compressivos, indicando a deformação tendendo a dúctil conforme aumenta a T e P.....	22
Figura 12: Tipos de limites tectônicos: compressivos, distensivos, transcorrentes e intermediários.....	23
Figura 13: Modelo de fraturas extensionais e fraturas de cisalhamento.....	24
Figura 14: Tipos de falhas de acordo com os regimes tectônicos.....	25
Figura 15: (a): Esquema do pitch medido em um plano de falha e (b) a projeção da falha em um estereograma.....	25
Figura 16: Classificação de dobras de acordo com a direção e caimento da linha de charneira.....	26
Figura 17: Classificação da abertura de uma dobra baseado no ângulo entre flancos.....	27
Figura 18: (a) Dobras Kink, assimétricas e (b) Dobras Chevron, simétricas.....	27
Figura 19: Formação de uma clivagem por crenulação em uma matriz micácea.....	29
Figura 20: a) Estrutura em flor negativa; b) Estrutura em flor positiva.....	29
Figura 21: Tipos de classificação com base na densidade de drenagem.....	31
Figura 22: Tipos de classificação com base no aprofundamento das incisões.....	32
Figura 23: Mapas de lineamentos estruturais na região com base no relevo sombreado.....	37
Figura 24: Lineamentos da região da Cachoeira Encantada.....	39
Figura 25: Lineamentos da região da Barra do Areia.....	39
Figura 26: Mapa de estruturas geológicas e perfil da região da Cachoeira Encantada.....	41
Figura 27: Geologia da região da Cachoeira Encantada.....	42
Figura 28: Estruturas geológicas da região da Cachoeira Encantada.....	43
Figura 29: Redes estereográficas de estruturas da região da Cachoeira da Encantada.....	44
Figura 30: Formação de lajes em cunha entre as fraturas S3 e S4 do PTJ03.....	45
Figura 31: Fraturas e falhas na Cachoeira Encantada.....	46
Figura 32: Mapa de estruturas geológicas e perfil da região da Barra do Areia.....	49
Figura 33: Litologias da área da região da Barra do Areia.....	50
Figura 34: Afloramentos dos cortes de estrada da região da Barra do Areia.....	51
Figura 35: Estereonetes de estruturas da região da Barra do Areia.....	53
Figura 36: Afloramentos da região da Barra do Areia.....	54
Figura 37: Formação de lajedos e pontas de cunha com corte tridimensional.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: índices de dissecação do relevo.....	32
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional de Águas

CMB – Complexo Metamórfico Brusque

CDF- Cinturão Dom Feliciano

CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais

D_x – Dobra

F_x – Fratura

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MDT – Modelo Digital de Terreno

P – Pressão

PM – Província Mantiqueira

S_x – Estrutura

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SC – Santa Catarina

SDS-SC – Secretaria do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina

T – Temperatura

ZCIP – Zona de Cisalhamento Itajaí-Perimbó

ZCMG – Zona de Cisalhamento Major Gercino.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.....	3
3	OBJETIVOS.....	6
3.1	GERAIS.....	6
3.2	ESPECÍFICOS.....	6
3.3	JUSTIFICATIVA.....	6
4	SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA.....	8
4.1	CONTEXTO GEOTECÔNICO E GEOLÓGICO.....	8
4.2	CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO.....	13
4.2.1	Domínios morfoestruturais.....	13
4.2.2	Regiões morfoclimáticas.....	13
4.2.3	Unidades geomorfológicas.....	14
4.2.4	Modelados.....	16
5	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
5.1	ANÁLISE MORFOESTRUTURAL.....	18
5.2	GEOLOGIA ESTRUTURAL.....	20
5.2.1	Falhas e fraturas.....	23
5.2.2	Dobras.....	26
5.2.3	Foliação.....	28
5.2.4	Clivagem.....	28
5.2.5	Estrutura em flor.....	29
5.3	GEOMORFOLOGIA ESTRUTURAL.....	30
6	MATERIAS E MÉTODOS.....	33
6.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	33
6.2	PRÉ-PROCESSAMENTO.....	33
6.3	CAMPANHA DE CAMPO.....	34
6.4	INTEGRAÇÃO DE RESULTADOS.....	34
6.5	ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
7.1	ANÁLISE DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS.....	36
7.2	GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO.....	39
7.2.1	Região da Cachoeira Encantada.....	39
7.2.2	Região da Barra do Areia.....	47
8	CONCLUSÕES.....	55

9	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
10	REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

O Complexo Metamórfico Brusque (CMB) compreende uma sequência metavulcano-sedimentar de rochas deformadas e metamorfisadas que variam da fácies xisto verde inferior até anfibolito superior. Localizada na Porção Meridional da Província Mantiqueira, nos limites do Domínio Central do Cinturão Dom Feliciano e delimitado à Sul pela Zona de Cisalhamento Major Gercino e à Norte pela Zona de Cisalhamento Itajaí-Perimbó, o CMB, de origem neoproterozoica, formou-se durante o ciclo orogênico Brasileiro, no qual relaciona-se o fechamento do paleoceanos Adamastor e à colisão continental dos Terrenos Gondwana Sul.

Essa colisão de terrenos gerou diversas estruturas no terreno Brusque. Por tratar-se de um Complexo Metamórfico, alguns autores definiram quatro fases de deformação para o CMB, com a origem de um acamamento sedimentar S_0 que evoluiu para uma foliação metamórfica S_1/S_0 . Em um evento deformacional seguinte, ocorreu a transposição destas camadas, gerando uma superfície metamórfica de dobras recumbentes apertadas D_2 , posteriormente deformadas em outra fase, com uma foliação dúctil-rúptil S_3 para NE-SW, desenvolvendo dobras *Chevron* e fraturamento do plano axial. E, por fim, com uma última fase D_4 caracterizada por um fraturamento plano axial com direção NW-SE.

Apesar do complexo arranjo estrutural, não existem muitos estudos que caracterizam as estruturas ocorrentes nesta região, principalmente sua relação com os lineamentos estruturais, visto que estes são fatores determinantes para definir o relevo de uma região. Dessa forma, realizar um trabalho de caracterização destas estruturas, definir sua orientação espacial e associá-las à fase de deformação a que está relacionada possibilita compreender os processos de formação do relevo e se há um grau de controle de mesoestruturas sobre macroestruturas. Por ser uma região de vales e as rochas apresentarem muitos fraturamentos, as estradas de rodagem estão suscetíveis a rompimento de taludes e deslizamentos gravitacionais de massa. Com isso, estudar as estruturas geológicas desta região poderá fomentar futuros trabalhos geotécnicos preventivos no município.

Um lineamento pode ser definido como uma feição retilínea ou com curvatura suave, mapeável na superfície, e que é um indicativo da influência de processos

geológicos em sua gênese estrutural. Com o desenvolvimento de tecnologias como radares de imagens e sensores remotos com maior precisão ao longo do tempo, métodos de análise de lineamentos estruturais tem sido cada vez mais efetivos na interpretação morfoestrutural dada a qualidade dos dados e em grau de detalhe. Neste trabalho, adotou-se a técnica de aplicação de relevo sombreado sobre o Modelo Digital de Terreno, de maneira a realçar os lineamentos estruturais positivos e negativos expressos por meio de morros e vales, de acordo com a sua direção preferencial. A identificação destes lineamentos possibilitou reconhecer diferentes tipos de direções preferenciais de lineamentos através do diagrama de roseta. A caracterização e espacialização de mesoestruturas requereu uma revisão conceitual de estruturas em rochas, bem como a formação destas em diferentes tipos de regimes e contextos geotectônicos. Com isso, realizou-se a campanha de campo para coleta de medidas com o uso de bússola de Brunton nas áreas da Cachoeira da Encantada e da Barra do Areia.

As medidas coletadas foram então submetidas à rede estereográfica, onde a projeção dos planos indica a direção da estrutura e seu ângulo de caimento. Após o preparo de todos os dados obtidos durante o desenvolvimento do projeto, foram criados dois mapas com estruturas geológicas, um para cada área de estudo, acompanhados de um perfil em uma seção transversal das estruturas, juntamente com o modelado de relevo categorizado de acordo com o tipo de feição morfoestrutural.

Este trabalho está estruturado em oito capítulos, os quais as áreas de estudo são definidas no capítulo 2 e os objetivos gerais e específicos são relacionados no capítulo 3. O capítulo 4 apresenta as etapas de desenvolvimento do trabalho e as fontes de trabalhos e dados utilizados. O capítulo 5 trata de uma revisão conceitual sobre a área de estudo, com um apanhado principalmente da geologia estrutural da região e a taxonomia para definir sua geomorfologia. No capítulo 6 é feita uma contextualização teórica a respeito da definição e métodos desenvolvidos para cartografar macroestruturas e mesoestruturas, juntamente com as características típicas de uma feição estrutural. No capítulo 7 são apresentados os produtos deste trabalho, tanto para análises em macroescala quanto em medidas estruturais registradas em afloramentos. Nos capítulos 8 e 9 são debatidas as conclusões e considerações finais, com base nos resultados obtidos, correlacionando as estruturas paralelas à NE-SW e NW-SE com planos de fraqueza e definindo se um grau de controle das mesoestruturas sobre as macroestruturas. O capítulo 10 por fim trata-se das referências para este trabalho.

2 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

A região de estudo foi definida em duas áreas, situadas nos limites de Botuverá – SC (Figura 1). O município está localizado na região serrana do estado e possui fronteira com os municípios de Blumenau, Brusque, Guabiruba, Indaial, Nova Trento, Presidente Nereu e Vidal Ramos, tendo como principal via de acesso a rodovia SC- 486, cortando Brusque de Guabiruba até Vidal Ramos.

Devido às características fisiográficas da região, o estudo das áreas foi feito em perfis de estradas de maneira a adquirir uma sessão transversal das estruturas. Na primeira área estudada foi feito um perfil na rua OR 03 da Cascata da Encantada até as cavernas de Botuverá. Na segunda área o perfil foi feito na rua Praia Vermelha às margens do Rio do Areia, ambas com via de acesso através da SC-486.

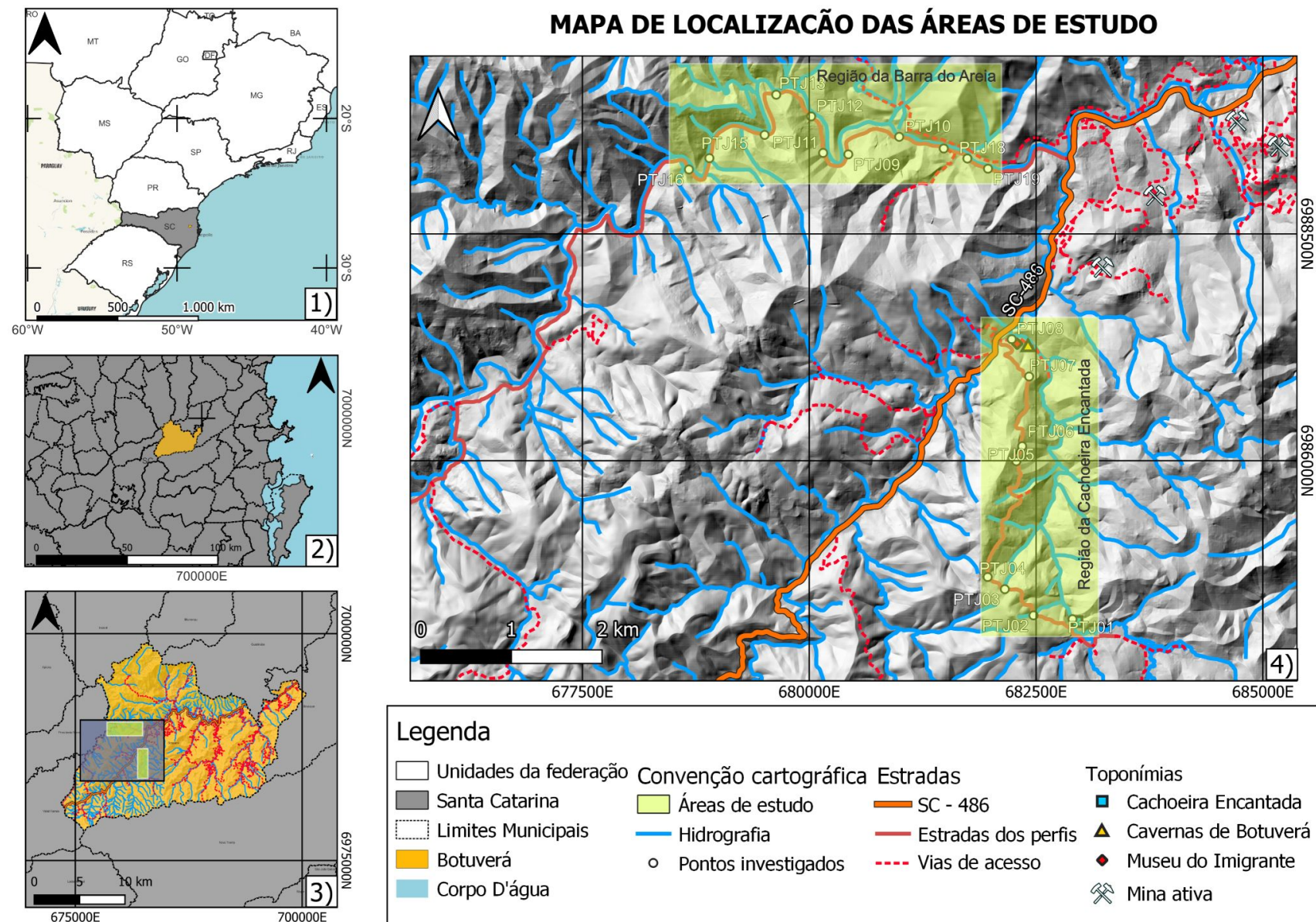


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo

1- Mapa do Centro-Sul do Brasil com destaque para Santa Catarina. 2- Mapa da região Centro-Leste de Santa Catarina indicando Botuverá.

3- Mapa de Botuverá com enfoque na área de estudo. 4- Mapa da área de estudo evidenciando os perfis investigados.

3 OBJETIVOS

3.1 GERAIS

Este trabalho tem como objetivo principal realizar um estudo comparativo entre as macroestruturas e mesoestruturas existentes nas rochas do Complexo Brusque (CB) em duas áreas selecionadas dentro do município de Botuverá.

3.2 ESPECÍFICOS

Constituem os objetivos específicos:

- (I) Caracterizar e delimitar subdomínios morfoestruturais.
- (II) Analisar a orientação espacial de lineamentos positivos e negativos.
- (III) Reconhecer e realizar a análise espacial de mesoestruturas em afloramentos.
- (IV) Confeccionar um mapa e perfil geológico com as mesoestruturas de cada região.
- (V) Determinar se há um grau de controle das mesoestruturas sobre as macroestruturas.
- (VI) Contribuir para o estudo morfoestrutural na região.
- (VII) Atribuir à região de estudo um modelado de relevo.

3.3 JUSTIFICATIVA

Desde a formação do CMB, as rochas foram submetidas a diferentes episódios de deformação, o que gerou variados tipos de estruturas em diversos regimes, que variam de dúcteis, rúpteis-dúcteis e rúpteis.

Em imagens de satélite é possível observar que a região selecionada apresenta macroestruturas notáveis como lineamentos positivos expressos em escarpas com desníveis, e lineamentos negativos, os quais refletem as drenagens que apresentam um padrão com direções preferenciais. Isto pode ser atribuído à influência das

mesoestruturas sobre tais feições geomorfológicas. Apesar da evidente relação entre macro e mesoestruturas, não existem trabalhos científicos que as caracterizem na região selecionada.

A área de estudo está próxima da rodovia SC-486, única ligação por asfalto entre os municípios de Itajaí, Brusque, Vidal Ramos e Ituporanga, sendo relevante para o desenvolvimento da região por ser importante via de transporte e comércio. No entanto é frequente a incidência de desastres naturais como deslizamentos de massa. Este estudo poderá servir de referencial para futuros trabalhos de prevenção de desastres na região, visto que o detalhamento de tais estruturas poderá auxiliar na elaboração de projetos geotécnicos ao identificar planos de fraqueza que estão sujeitos à apresentar risco de deslizamentos e movimentos gravitacionais de massa.

4 SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA

4.1 CONTEXTO GEOTECÔNICO E GEOLÓGICO

A Província Mantiqueira (PM) é uma entidade geotectônica instalada a leste dos crátons São Francisco e Rio de La Plata/Paraná, ao final do Neoproterozóico e início do Paleozóico (Figura 2). Estende-se por cerca de 3.000 km com orientação NNE–SSW ao longo da costa atlântica, de Montevidéu (Uruguai) ao sul da Bahia. A província guarda o registro de uma longa e complexa evolução do Neoproterozóico na América do Sul (900– 520 Ma) preservando também remanescentes de unidades paleotectônicas arqueanas, paleoproterozóicas e mesoproterozóicas. Constitui, juntamente com a extremidade meridional da Província Tocantins, o arcabouço pré-cambriano do sudeste brasileiro desenvolvido em resposta ao “Ciclo Brasileiro” de Almeida (1967).

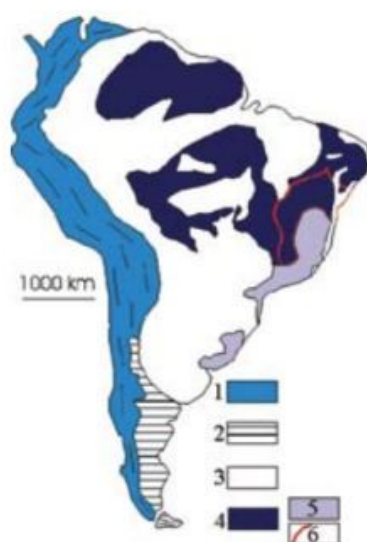


Figura 2: Mapa tectônico da América do Sul

1- Sistema orogênico andino. 2- Terreno Patagônia. 3- Cobertura fanerozóica da Plataforma Sul-Americana. 4- Escudos da Plataforma Sul-Americana, destacando a Província Mantiqueira (5) e o Cráton do São Francisco (6). Extraído de Heilbron et al. (2004).

A Província Mantiqueira é integrada por uma sucessão de cinturões de “empurrão e dobramento” controlados por distintos sistemas transpressivos de cavalgamento em direção às margens cratônicas. A maioria desses cinturões corresponde a orógenos colisionais (Sengör, 1990) evoluídos diacronicamente durante a colagem neoproterozóica/cambriana. Pode ser subdividida em 3 setores: setentrional, central e meridional de acordo com a região ou em Brasileiro I, II e III de acordo com a idades.

O Cinturão Dom Feliciano (CDF) (Figura 3) corresponde ao segmento meridional da PM, e ocorre na forma de uma faixa alongada na direção nordeste com aproximadamente 160 Km de largura que inicia no limite norte do estado de Santa Catarina e prolonga-se até o Uruguai. A estruturação do cinturão envolveu sucessivas fases de subducção e colisões ocorridas durante o Neoproterozóico entre os crátons Luiz Alves, Rio de La Plata e Paranapanema, os terrenos Nico Perez e Camboriú (América do Sul), e os crátons do Congo e Kalahari (África) (Fernandes et al., 1992; Basei et al., 2000, 2011; Saalman et al., 2011; Oyhantçabal et al., 2011; Philipp et al., 2016).

Em Santa Catarina, o CDF é constituído de Sudeste para Noroeste, pelas suítes granitóides do Batólito Florianópolis, que representam as raízes de um arco magmático (Domínio Interno, Basei, 1985), por uma porção central composta pelas rochas metamórficas dos Complexos Queçaba e Brusque, por *inliers* do embasamento (Complexo Camboriú) e por granitóides intrusivos (Domínio Intermediário), e, mais ao noroeste, por rochas sedimentares e vulcânicas félsicas do Grupo Itajaí (Domínio Externo). No extremo norte, os ortognaisses e migmatitos do Complexo Granulítico de Santa Catarina caracterizam o Cráton de Luiz Alves (Campos & Philipp 2021).

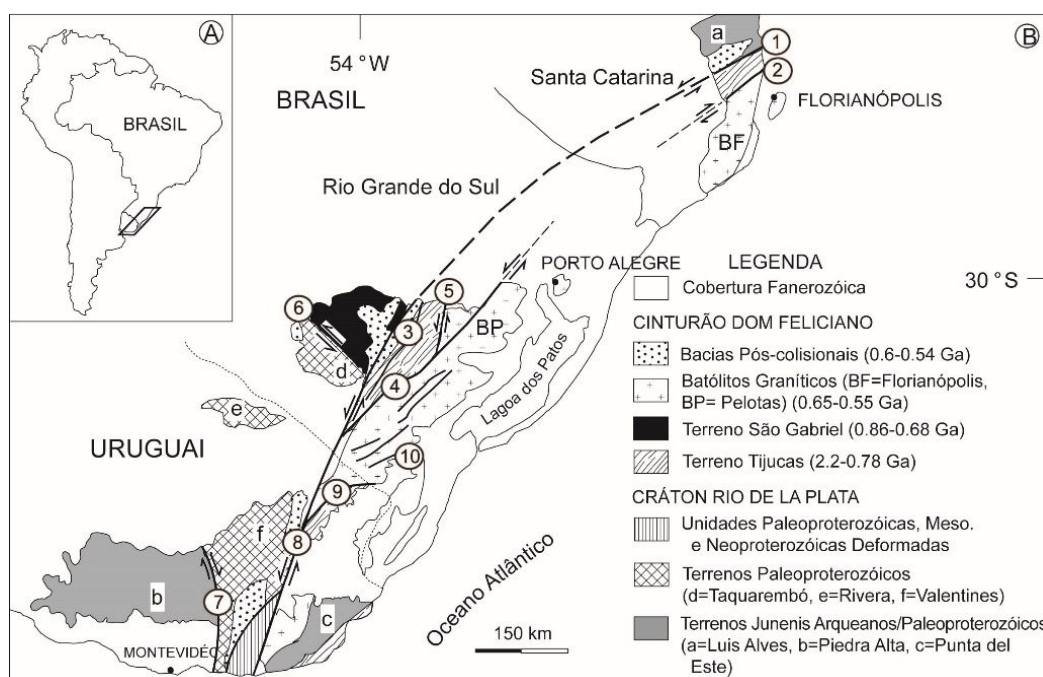


Figura 3: Cinturão Dom Feliciano

A) Localização da área estudada na América do Sul. B) Principais unidades geotectônicas do sul do Brasil e Uruguai. Terrenos arqueanos e paleoproterozóicos: a = Terreno Luis Alves, b = Terreno Florida, c = Terreno Punta del Este, d = Terreno Taquarembó, e = Terreno Rivera, f = Terreno Valentines. Zonas de cisalhamento: 1- Itajaí-Perimbó, 2- Major Gercino, 3- Santana da Boa Vista-Caçapava do Sul, 4- Dorsal de Canguçu, 5- Passo do Marinheiro, 6- Ibaré, 7- Sarandi Del Y, 8- Sierra Ballena, 9- Cerro Amaro e 10- Arroio Grande. Modificado a partir de Chemale Jr. et al. (2007) e Oyhantçabal et al. (2010).

O CMB está localizado da porção leste do estado de Santa Catarina (Figura 4). É composto por sequências metavulcano-sedimentares, deformadas e metamorfasadas sob condições variáveis entre a fácies xisto verde inferior a anfibolito superior, constituindo a principal unidade do Terreno Tijucas no Cinturão Dom Feliciano de Santa Catarina (Philipp et al. 2004). Seu limite sul faz contato tectônico com as rochas do Batólito Florianópolis através da Zona de Cisalhamento Major Gercino (ZCMG). Ao Norte, limita-se com as rochas do Terreno Luis Alves por meio da Zona de Cisalhamento Itajaí Perimbó (ZCIP), sendo que parte deste contato está parcialmente recoberto pelas rochas da Bacia do Itajaí. A estratigrafia regional do CMB é constituída por uma sucessão basal e dominante de metassedimentos clásticos, localmente recoberto por uma associação vulcanogênica com sedimentos químico-exalativos associados. O pacote clástico ocorre em toda a área de exposição do complexo, composto por lentes de metapsamitos ricos em quartzo, intercalados com corpos de metaritimtos e uma espessa sequência de metapelitos. Na porção sul os quartzitos estão intercalados com lentes restritas de metaconglomerados, enquanto na porção noroeste, região de Botuverá, se intercalam com metacalcáreos. Nos extremos oeste e leste do CMB, ocorrem dois corpos alongados e concordantes de rochas metavulcânicas básicas e ultrabásicas, intercalados com metapelitos, xistos calci-silicáticos, grafita xistos e BIFs (fácies silicosa, hematítica, carbonática e turmalínica). Estes corpos estão expostos na região dos rios Barra do Areia (Botuverá) e do Oliveira (São João Batista) (Basei, 1985; Sander, 1992; Caldasso et al., 1995; Philipp et al., 2004; Campos et al., 2011a, 2011b; Basei et al., 2011, 2020).

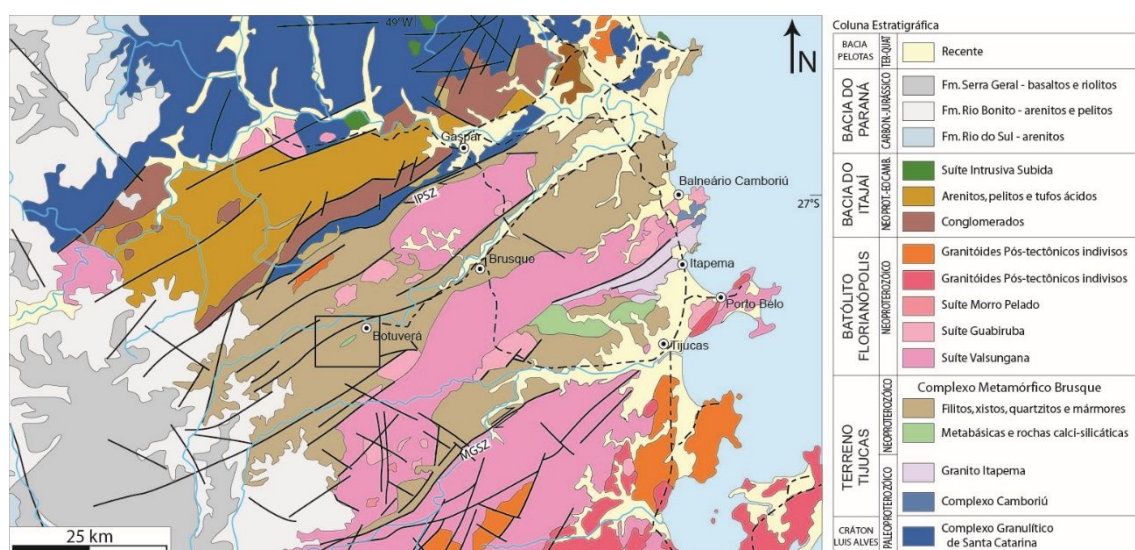


Figura 4: Mapa geológico da região de estudo, na porção setentrional do Escudo Catarinense.

O retângulo indica a área de estudo no município de Botuverá.

Modificado a partir de Caldasso et al. (1995).

Apesar da complexa arquitetura estrutural presente nas rochas do CMB, porções reliquias com a superfície S_0 parcialmente preservadas em xistos, filitos pelíticos e em quartzitos ainda podem ser reconhecidas. Estas superfícies deposicionais caracterizadas como laminações ou estratificações foram deformadas por uma foliação metamórfica S_1 preservada nos flancos de dobras isoclinais recumbentes, que, por transposição, geram uma superfície metamórfica S_2 (Figura 5). Estas foliações são caracterizadas por estruturas de baixo ângulo, relacionadas a um evento de colisão oblíqua contínuo (D_1 - D_2), gerando estruturas dúcteis de fácies xistosverde inferior a anfibolito inferior-médio (Basei, 1985, 1987, 1990; Philipp *et al.* 2001, 2004; Sander, 1992).

Nas regiões do complexo próximas a ZCIP, observa-se o desenvolvimento de dobras em Chevron normais a inclinadas com direção NE-SW e vergência para NW, acompanhadas da geração de clivagem ou fraturamento plano-axial de direção NE, que definem uma foliação dúctil-rúptil S_3 de direção NE-SW em um evento D_3 . Ainda ocorre uma quarta fase de deformação (D_4), definida por um fraturamento plano-axial gerado por grandes inflexões descontínuas, com orientação NNW, associadas a reativações transcorrentes dos principais lineamentos (Figura 5) (Basei, 1985, 1987, 1990).

Na região do município de Botuverá, o CMB é caracterizado por uma extensa intercalação de filitos e metapsamitos com foliação subvertical de direção principal NE, com presença de lentes de espessuras variando entre metros a centenas de metros, constituídas por quartzitos, metacalcários e rochas máficas/ ultramáficas. Nos filitos também é observada uma laminação reliquiar caracterizada pela alternância entre níveis ricos em quartzo e níveis ricos em micas (muscovita e clorita), e eventualmente também são observados níveis com grafita. Na região próxima ao Parque das Grutas, observa-se a ocorrência de xistos pelíticos com granada. Com base na mineralogia observada nestes metapelitos é possível estabelecer que o metamorfismo regional do CMB neste local é de baixo grau, podendo atingir, restritamente, a zona da granada. Esta informação é compatível com a observação de actinolita, epidoto e plagioclásio nos xistos máficos.

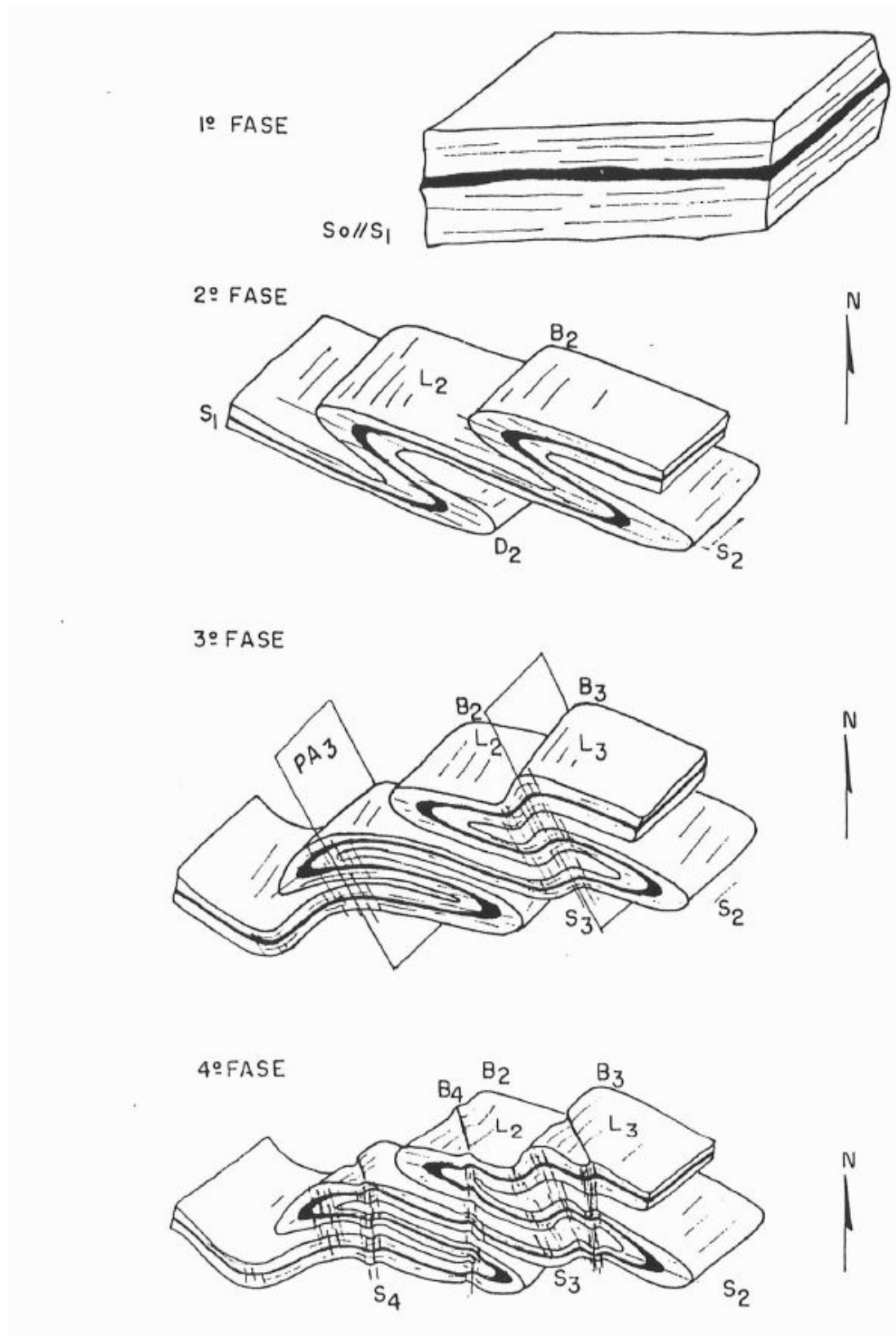


Figura 5: Modelo da evolução das rochas do complexo Brusque na região de Botuverá. Indica acamamento sedimentar S_0 paralelo a uma laminação S_1 , na segunda fase uma transposição de foliações S_2 , que evoluem para um dobramento cilíndrico NE-SW com clivagem S_3 na terceira fase e que, na quarta fase, ocorrem fraturamentos NW-SE da fase deformacional S_4 . Extraído de Basei (1987).

4.2 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

De acordo com o Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009), o relevo brasileiro é caracterizado a partir de um modelo composto por quatro níveis taxonômicos principais: Domínios morfoestruturais, regiões geomorfoclimáticas (os quais agrupam os domínios morfoclimáticos), unidades geomorfológicas e modelados. Há também uma quinta ordem denominada Formas de Relevo Simbolizadas que, devido ao tamanho de sua escala e ocorrências pontuais, são representadas por feições de linhas ou de pontos.

4.2.1 Domínios morfoestruturais

Os Domínios Morfoestruturais compreendem a maior classe taxonômica na compartimentação do relevo, ligados à configuração do arcabouço geológico e pela ação tectônica. No Brasil são caracterizados quatro tipos de domínios: Crátons paleoarqueanos a mesoproterozoicos, Cinturões orogênicos neoproterozoicos, Bacias sedimentares fanerozoicas e Depósitos quaternários. Em Santa Catarina, cada uma destas unidades tem seus representantes: o Complexo Granulítico de Santa Catarina (Cráton Luis Alves), o Cinturão Dom Feliciano (Complexo Metamórfico Brusque, Batólito Florianópolis e Bacia do Itajaí), a Bacia do Paraná e os depósitos quaternários da planície costeira.

4.2.2 Regiões morfoclimáticas

Também reconhecidas como regiões geomorfológicas, são definidas pelo clima, posição geográfica e processo geológicos atuantes sobre o arcabouço estrutural de cada região. O conjunto destas regiões é chamado de Domínio Morfoclimático, que Ab'Saber (1981) definiu em seis tipos no Brasil: 1) Amazônico, 2) Cerrado, 3) Mares de Morros, 4) Caatingas, 5) Araucárias e 6) Pradarias, além das faixas de transição entre domínios (Figura 6). No estado de Santa Catarina, a região litorânea apresenta clima de mares de morro e, na região de planaltos, clima de Araucária.

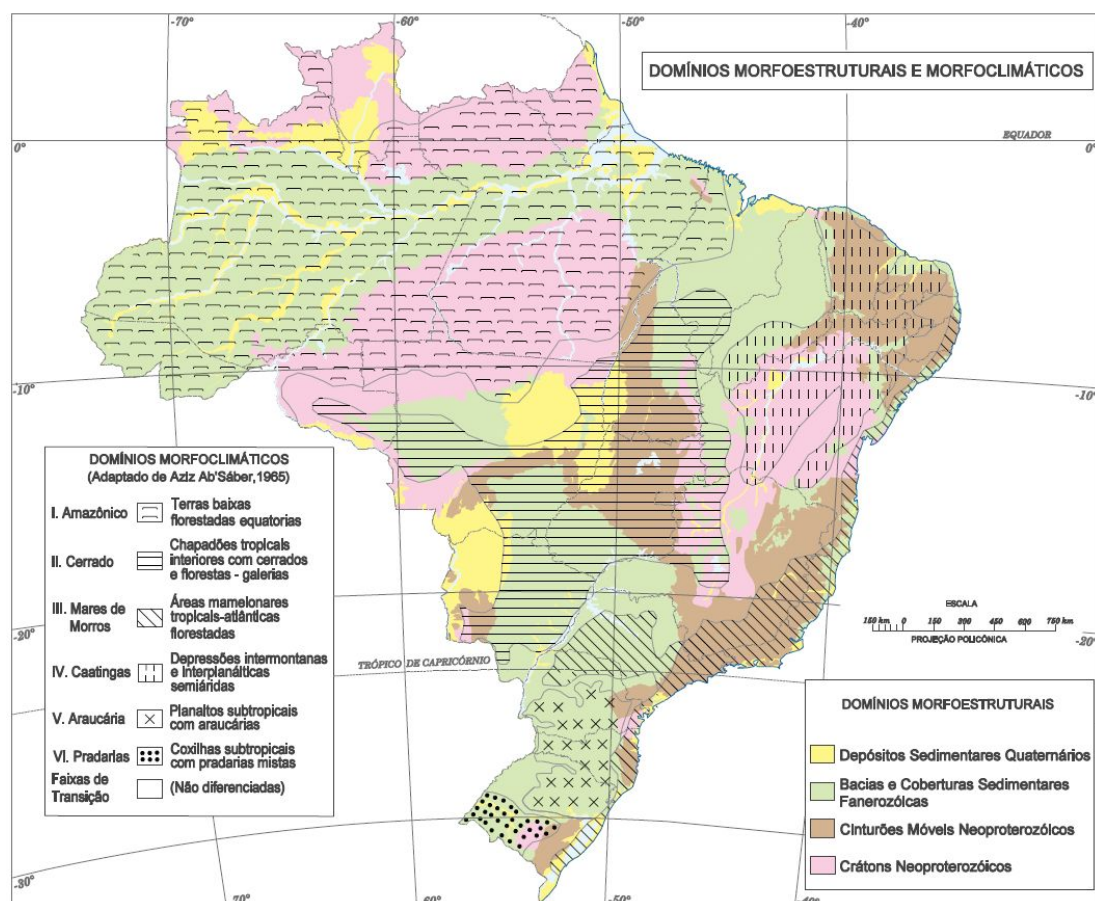


Figura 6: Domínios Morfoestruturais e regiões geomorfológicas
Fonte: Mapa de unidades de relevo do Brasil. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

4.2.3 Unidades geomorfológicas

O terceiro nível são as unidades geomorfológicas, associadas a condições de paleoclima e ação lito-estrutural. Cada unidade evidencia seu processo originário através de drenagens atuais e antigas e formas de relevo ligadas à configuração tectônica. No Brasil estas unidades são classificadas como: planícies, depressões, tabuleiros, chapadas, patamares, planaltos e serras (Figura 7). Entretanto, Almeida (1951) definiu que a região de patamares que atravessa o estado é subdividido em três unidades: o Planalto Cristalino, o Planalto sedimentar e o Planalto de Lages, além das Planícies Costeiras, Serras Litorâneas, e o Planalto basáltico, totalizando seis unidades do relevo catarinense. (Figura 8).

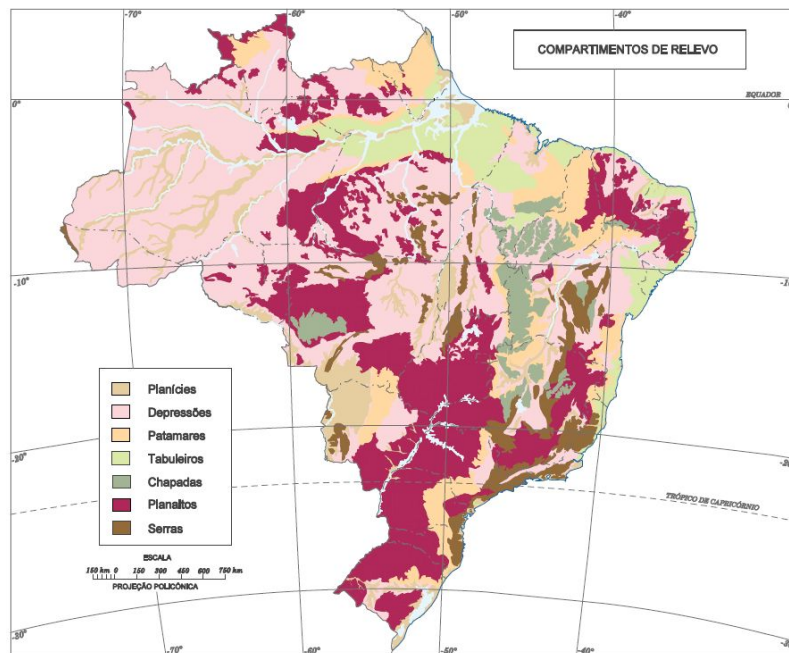


Figura 7: Unidades geomórficas e sua compartimentação no relevo brasileiro.

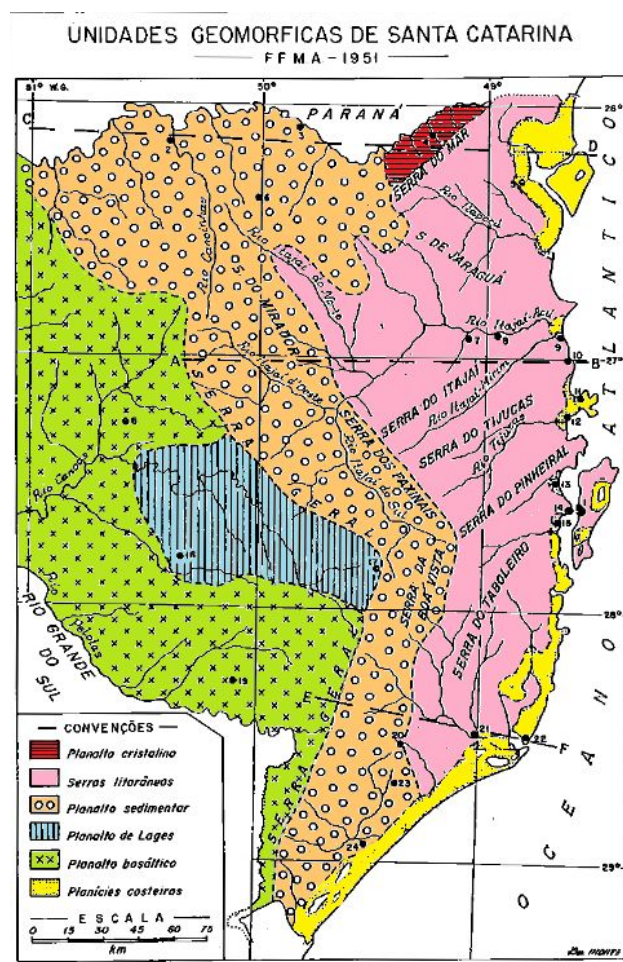


Figura 8: Unidades geomórficas de Santa Catarina

(1)Planalto Cristalino; (2) Serras Litorâneas; (3) Planalto Sedimentar; (4) Planalto de Lages; (5) Planalto Basáltico e (6) Planícies Costeiras. Modificado de Almeida (1951).

4.2.4 Modelados

O quarto nível estabelece os Modelados, os quais agrupam formas de relevo com feições geométricas semelhantes devido a gênese em comum dos processos atuantes, onde são identificados quatro padrões principais de modelados:

- **Acumulação:** Definem-se em fluvial (Apf/Atf/Aptf), lacustre (Apl/Atl), fluvio-lacustre (Apfl/Atfl), marinha (Apm/Atm), fluvio-marinha (Apfm/Atfm) e lagunar (Aplg/Atlg), as quais ocorrem em planícies (p) e terraços (t); em eólica (Ape/Ade), presente em planícies (p) e dunas (d); e em gravitacionais, de enxurrada e de inundação, que expressam-se na forma de rampas de colúvio (Arc), planos de inundação (Ai), e planos inundáveis indiferenciados (Aii).
- **Aplanamento:** Podem ocorrer em cinco tipos: Pediplano degradado inumado/desnudado (Pgi/Pgu), Pediplano retocado inumado desnudado (Pri/Pru), Pediplano degradado etchplanado/retocado etchplanado (Pge/Pre), plano de gênese indiferenciada (Pi) e pedimento (Pp).
- **Dissecação:** Compreende três variantes: Homogênea (D), estrutural (DE) e em ravinas (Dr). Os modelados de dissecação homogênea e estrutural se expressam na forma de três tipos de topos de morros: tabulares (t), convexos (c) e aguçados (a), além da combinação das variáveis de densidade e aprofundamento de drenagens
- **Dissolução:** Com ocorrência em dois tipos: Carste Coberto (Kc) e Carste descoberto (Kd).

O município de Botuverá encontra-se no Vale Médio do Itajaí, incluso na unidade das serras litorâneas, onde o arcabouço estrutural apresenta estruturas complexas, relevo acidentado e compostos por rochas do escudo cristalino que formam morros com cristas de acordo com padrões de levantamento e caimento dos blocos, evidenciados por drenagens que se adequam aos sulcos de dissecação, que podem indicar uma direção de maior fragilidade (Almeida, 1951; Roldan *et al.*, 2010). As serras litorâneas fazem contato ao norte com o planalto cristalino (por também ser uma extensão da unidade, porém com a abrupta diferença de altitude), ao oeste pelo planalto sedimentar e ao leste pelas planícies costeiras, por vezes estendendo-se até o litoral do

estado (Almeida, 1951; Roldan *et al.*, 2010; Pelech *et al.*, 2019). Os únicos presentes em Santa Catarina são os Mares de Morros e Araucárias.

No levantamento bibliográfico para esta pesquisa não foram encontrados trabalhos que tratam do tópico de modelados e nem de formas de relevo simbolizadas na região estudada, visto que estes exigem um maior nível de detalhe, o que ressalta a necessidade de futuros estudos. Este trabalho apresenta como um dos objetivos caracterizar feições morfoestruturais e, consequentemente, atribuir um tipo de modelado para as regiões da Cachoeira Encantada e Barra do Areia. Com isso, serão desenvolvidos no capítulo 6.3 as definições de um relevo de dissecação estrutural a respeito do referencial teórico.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 ANÁLISE MORFOESTRUTURAL

Desde a formação da crosta terrestre, as rochas têm sofrido deformações em diferentes magnitudes, desde às microscópicas em escala atômica que refletem nos componentes dos cristais até as falhas que geram extensões quilométricas (Gregory & Moore, 1975). A influência das estruturas sobre a geomorfologia é profunda. Entretanto, apesar da relação do arcabouço lito-estrutural com a morfologia do planeta, são os agentes erosivos que mais impõem controle sobre a maneira pela qual o relevo é modelado, geralmente, através de lineamentos estruturais, registrados na forma de vales retilíneos ou de feições de topo de morro (Hills, 1963).

A definição de um lineamento passou por mudanças no século anterior, mas foi definido por O'Leary et al. (1976) como uma feição linear, retilínea ou com curvatura suave, mapeável na superfície, que pode ser tanto simples quanto composta, além de enfatizar a influência de processos rúpteis em sua gênese estrutural. A definição de lineamentos mais válida, apesar de implícita, descreve a maioria das características que estão comumente associadas aos lineamentos. Lineamentos que se expressam em feições geomórficas retilíneas ou ligeiramente curvadas, são compostos (tanto segmentados quanto complexos) e caracterizados pelo alinhamento de uma única direção (que pode não estar concordante com o *trend* regional), possuem extensão regional e, portanto, estão relacionados às morfoestruturas em macroescala (Hobs, 1904; O'Leary, 1976).

O termo morfoestrutura é definido como uma feição topográfica principal, a qual coincide ou é expressão de uma estrutura geológica ou ainda é formada diretamente a partir de movimentos tectônicos, de tal maneira a poder dar origem, por exemplo, a um vale retilíneo que coincide com uma zona de falha ou um alto topográfico que indica ser um anticlinal. Presume-se que os lineamentos estruturais, feições observadas na superfície, refletem fenômenos de subsuperfície associados com o movimento diferencial de estruturas em rochas dobradas e em blocos falhado. O termo “Morfotectônica” pode ser entendida como uma interpretação das relações tectônicas das estruturas presente no arcabouço geológico em um contexto regional e é a base para interpretação de estruturas geológicas por meio de fotografias aéreas, imagens de

satélite e de sensores remotos. A cinemática que define a ruptura de uma falha estrutural é refletida em dimensões diversas, e que, no regime rúptil, causa deslocamentos no arcabouço litológico na ordem de milímetros a quilômetros, de forma que podem chegar até a atingir dimensões continentais. É também notável a participação de grandes estruturas dúcteis, principalmente em terrenos de alto grau metamórfico. Além disso, processos geomorfológicos recentes são também responsáveis por esculpir o relevo terrestre e dar origem aos lineamentos. (Hills, 1963; Ramsay, 1967; O'Leary et al. 1976; Liu, 1984; Andrade & Fonseca, 2009; Fossen, 2016).

Com o desenvolvimento de ferramentas de sensoriamento remoto e análise de imagens aéreas e orbitais, o estudo de lineamentos estruturais condicionantes para a caracterização dos relevos vem progredindo junto do desenvolvimento de métodos para interpretação de estruturas. As imagens de sensoriamento remoto constituem a principal ferramenta para a análise espacial de lineamentos morfoestruturais. O processamento digital dessas imagens baseia-se na utilização de diferentes técnicas, de modo a realçar estruturas e facilitar análises e interpretações.

Para a análise de lineamentos estruturais e feições presentes no relevo, vários autores propuseram métodos de análise de imagens, fotointerpretação, processamento de dados, vetorização de feições lineares e a filtragem espacial para desenvolver esta metodologia (Liu, 1984; Valeriano, 2005; Andrade Filho & Fonseca, 2009; Roldan e al, 2010; Féres, 2017, entre outros). Dentre os diversos métodos de análise de lineamentos estruturais, destacam-se principalmente os que utilizam imagens de satélite como Landsat-5, 7 e 8, ou base de dados de relevo SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com a aplicação de sombreamento. Apesar destas imagens fornecerem diversas informações dada a sua aplicabilidade, possuem uma dimensão de escala quilométrica, o que carece de métodos alternativos para análise em áreas de dimensões métricas. Com isso, o uso de imagens de MDT (modelo digital de terreno) geradas a partir das fotografias aéreas ortoretificadas da SDS indicam maior precisão, uma vez que o pixel pode atingir dimensão de 1 metro por 1 metro, além dos sensores aéreos disporem de radares que, devido ao seu comprimento de onda, atravessam a vegetação, resultando em uma cobertura precisa do modelo do relevo. Andrade Filho & Fonseca (2009) salientam a importância da vetorização manual de feições lineares, pautando seu argumento na dificuldade de se atingir eficiência na extração automática. Além disso, a extração manual permite liberdade interpretativa ao operador, cujo olhar e

conhecimento geológico podem contribuir ao trabalho. (Liu, 1984; Valeriano, 2005; Andrade Filho & Fonseca, 2009; Roldan e al, 2010; Féres, 2017).

Para identificar o direcionamento preferencial dos lineamentos estruturais e a espacialização das mesoestruturas, diversos autores desenvolveram aplicações da técnica de projeção estereográfica nas geociências (Wulff, 1902; Schmidt, 1925 Sander & Sander, 1930; Ramsay, 1967). Os lineamentos estruturais, por serem definidos como estruturas em uma superfície bidimensional (Hobs, 1904; O'Leary, 1976,) foram coletados de acordo com sua área de ocorrência e valor positivo (para cristas) ou negativo (em vales e drenagens) para representação em diagramas de roseta (ou rede de Schmidt), para indicar a ocorrência de direções preferenciais de lineamentos.

As mesoestruturas, apesar de não serem tão expressivas no relevo, também o influenciam em sua forma. Por ocorrerem em escala centimétrica a métrica, destaca-se planos de fraqueza ou de estruturas mais complexas, uma vez que é possível medi-las tridimensionalmente e projetá-las na rede estereográfica (rede de Wulff), a qual consiste na projeção bidimensional de uma linha ou plano em uma semiesfera indicando seu ângulo de mergulho e direção de caimento (Figura 9) (Wulff, 1902; Schmidt, 1925 Sander & Sander, 1930; Ramsay, 1967; Howarth, 1996; Lisle et al., 2004; Fossen, 2016),

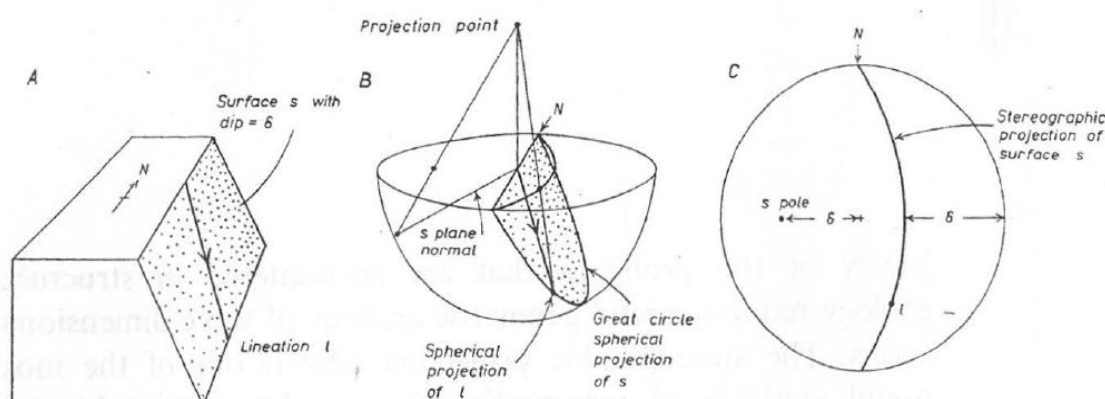


Figura 9: Projeção de um plano de falha em uma rede estereográfica.
Fonte: Ramsay (1967).

5.2 GEOLOGIA ESTRUTURAL

A ação das placas tectônicas sobre a litosfera da Terra gera deformações na crosta e no campo da geologia estrutural. Essas deformações são definidas como estruturas geológicas. A deformação ocorre devido aos esforços tridimensionais de tensão e pressão que acontecem em regimes extensivos, compressivos e transcorrentes, aos quais as rochas da crosta são submetidas, e que variam de acordo com a profundidade do evento deformacional, e, conseqüentemente, com a temperatura e pressão, uma vez que, ao aumentar a profundidade, o gradiente geotérmico também aumenta (Ramsay, 1967; Fossen, 2016).

As forças atuantes sobre um corpo rochoso são medidas em três vetores nomeados com a letra grega σ (sigma), ortogonais e com ângulos de 90° entre si, denominados σ_1 , σ_2 e σ_3 . O vetor de maior intensidade para o de menor será sempre deferido como $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ (Figura 10). Tanto nos regimes extensivos quanto compressivos, uma rocha com baixa T e P submetida à esforços pode fraturar e até apresentar falhas normais, inversas ou transcorrentes. Contudo, conforme aumenta-se o gradiente térmico, o comportamento do corpo rochoso altera-se devido ao aumento na sua plasticidade, isto é, torna-se mais suscetível à deformação sem rompimento à medida que passa do campo de deformação rúptil para rúptil-dúctil até chegar na deformação dúctil (Figura 11) (Sander, 1930; Hills, 1963; Ramsay et al. 1967, 1983, 1987; Davis et al., 1996; Fossen, 2016).

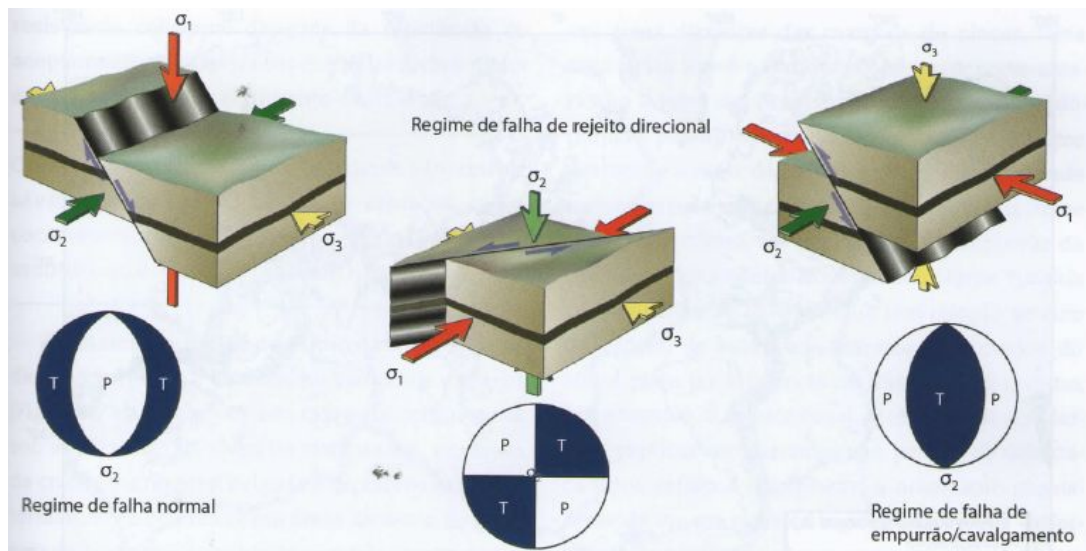


Figura 10: Eixo dos esforços atuantes sobre um regime rúptil.
Fonte: Fossen (2016).

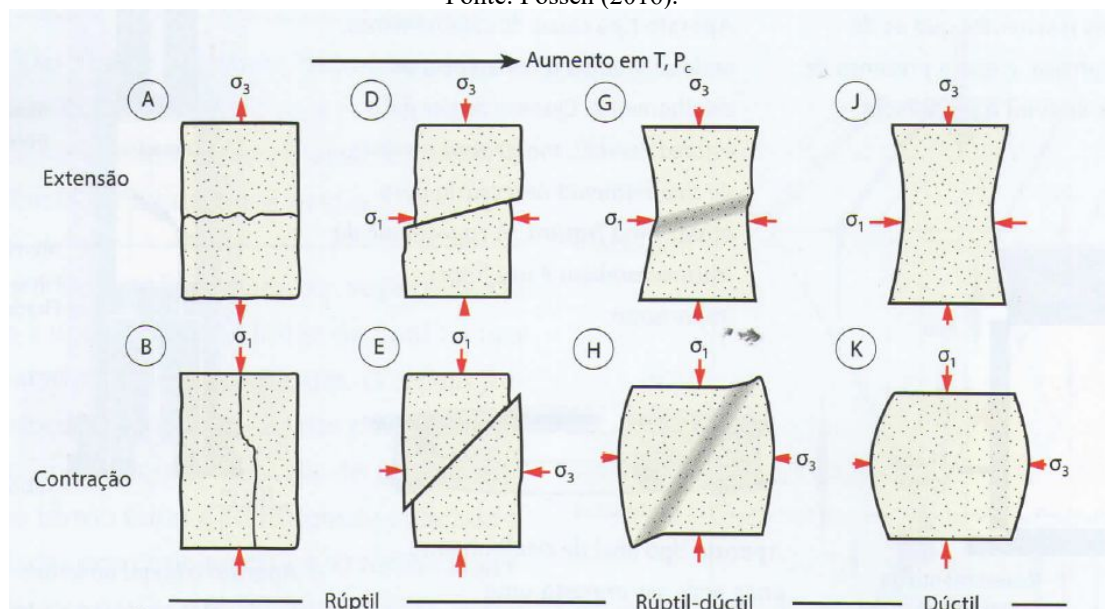


Figura 11: Deformação em um corpo maciço em esforços de extensivos e compressivos, indicando a deformação tendendo a dútil conforme aumenta a T e P
Modificado de Fossen (2016).

A deformação nas rochas pode atingir dimensões desde microescalas até em proporções continentais com a formação de sistemas orogênicos. Essa deformação pode ser momentânea ou permanente, e varia de acordo com a intensidade da pressão aplicada no material. Conforme aumenta-se a temperatura e pressão exercidas sobre a rocha, a deformação pode variar de elástica (onde ocorre uma deformação momentânea, mas que, após o fim do estresse, a rocha volta ao estado sem deformação) (Ramsay, 1967; Fossen, 2016), deformação dútil, onde ocorrem uma deformação permanente na rocha, mas que não rompe a resistência física do material, e deformação rúptil, no qual o material é permanentemente deformado, gerando o rompimento nos planos de fraqueza

do bloco. Há também a deformação que ocorre no regime rúptil-dúctil, onde há a ocorrência das duas fases de deformação, geralmente com uma deformação dúctil evoluindo para uma rúptil (Ramsay et al. 1967, 1983, 1987; Davis et al., 1996; Fossen, 2016).

São definidos três tipos de regimes que descrevem o movimento que ocorre nas bordas das placas tectônicas: Regimes extensivos, compressivos e transcorrentes (Figura 12). Os regimes extensivos causam deformação pura, onde a pressão do σ_1 causa um “achatamento” na rocha, contra a tensão aplicada no σ_3 , que pode ser comumente associado a fraturas e falhas normais, uma vez que o rompimento do bloco em distensão fratura-se quando atinge o ponto de ruptura do material. Nos regimes compressivos, quando há um choque entre dois corpos, pode ocorrer a formação de estruturas dúcteis no material, como dobras e foliações, e que pode evoluir para fraturas quando a intensidade do esforço for maior que a plasticidade do material, gerando um plano de fratura ou de falha inversa. Já nos regimes transcorrentes acontece o cisalhamento dos blocos, onde essa superfície de contato gera estruturas que podem ser tanto rúpteis quanto dúcteis. Uma vez que o evento de deformação ocorre, as estruturas presentes nas rochas são um indicativo do tipo de regime a qual elas foram submetidas e qual a direção de esforço principal (Hilss, 1963; Ramsay, 1967; Fossen, 2016).

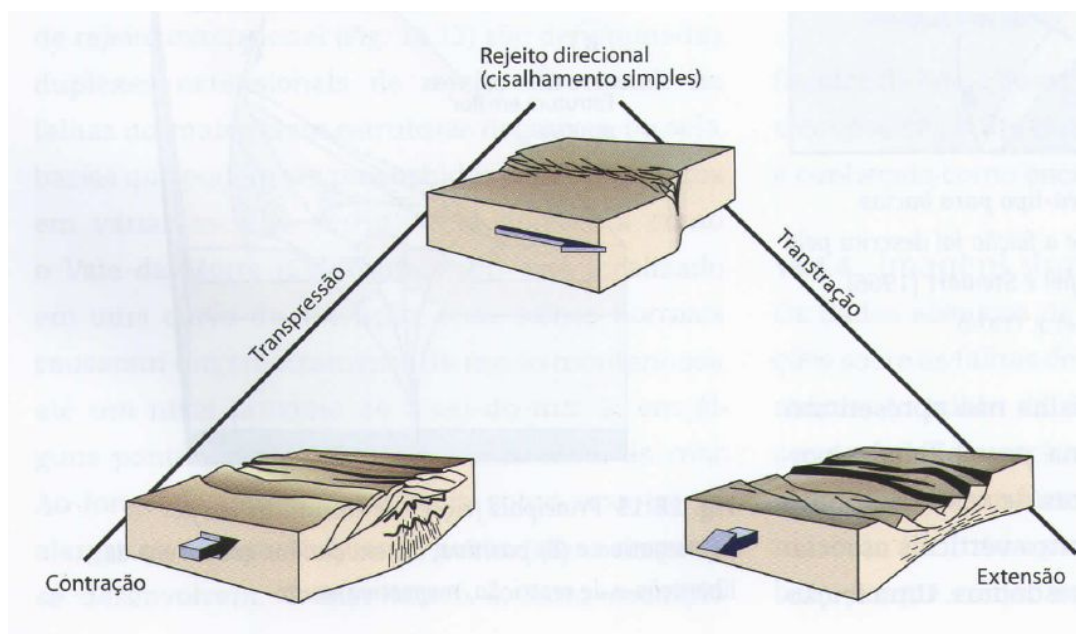


Figura 12: Tipos de limites tectônicos: compressivos, distensivos, transcorrentes e intermediários. Extraído de Fossen (2016).

5.2.1 Falhas e fraturas

As fraturas são definidas como uma descontinuidade plana a subplana e geralmente manifestam-se na forma de superfícies relacionadas ao deslocamento rúptil do material rochoso. Podem ocorrer em duas formas, em uma deformação pura ou em um evento de cisalhamento simples (Figura 13).

A fratura de cisalhamento ocorre quando há um deslocamento (geralmente, de mm a dm) paralelo ao plano de fratura, por ocorrer a partir de um movimento cisalhante, costuma-se associar o termo “fratura de cisalhamento” com o termo “falha”. Contudo, as fraturas estão restritas ao seu plano de geração, enquanto as falhas possuem gênese em estruturas complexas que podem envolver diversos planos de fratura. Já as fraturas extensionais apresentam juntas perpendiculares aos blocos, e possuem pouco ou nenhum deslocamento visível a olho nu (Ramsay, 1963, 1967; Fossen, 2016).

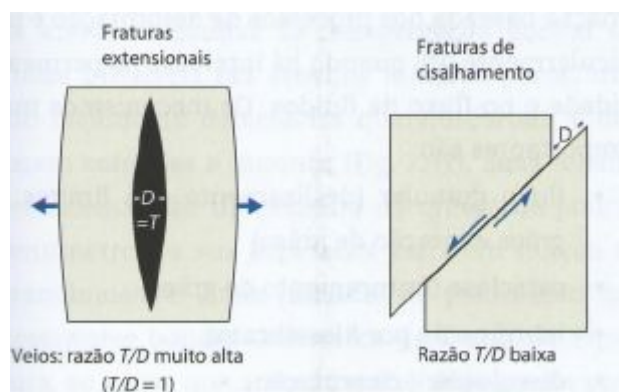


Figura 13: Modelo de fraturas extensionais e fraturas de cisalhamento.
Fonte: Fossen (2016).

Diferente das fraturas, que são descontinuidades relativamente simples, as falhas são muito mais complexas, visto que são definidas como um deslocamento de uma superfície que seja visível e causado por cisalhamento (Fossen, 2016), apesar desta definição ser também atribuída a fraturas de cisalhamento, a descontinuidade com deslocamento paralelo é dominada por mecanismos de deformação rúptil. As falhas podem ocorrer em todos os tipos de regimes (compressivos, extensivos, transcorrentes e intermediários), manifestando-se como falhas normais em regimes extensivos, falhas inversas em regimes compressivos, falhas transcorrentes em regimes transpressivos,

além de falhas oblíquas que englobam o estresse de rejeito e transtrativo (Sander, 1930; Ramsay et al. 1967, 1983, 1987; Fossen, 2016) (Figura 14).

As falhas também são caracterizadas de acordo com seu ângulo de mergulho (ou ângulo de caimento), denominada falha de baixo ângulo com caimento abaixo de 30° e falhas de alto ângulo quando o ângulo de caimento for superior a 60° . Após um falhamento, a superfície deformada é chamada de vetor de deslocamento ou direção de rejeito líquido, que apresenta vetores de deslocamento das falhas, como direção, sentido e magnitude do rejeito, expressos na forma de indicadores cinemáticos, como as estrias. O grau de inclinação é indicado pelo *pitch*, que é o ângulo entre a direção da superfície de deslizamento e o vetor de rejeito (Ramsay et al, 1987; Fossen, 2016) (Figuras 14 e 15).

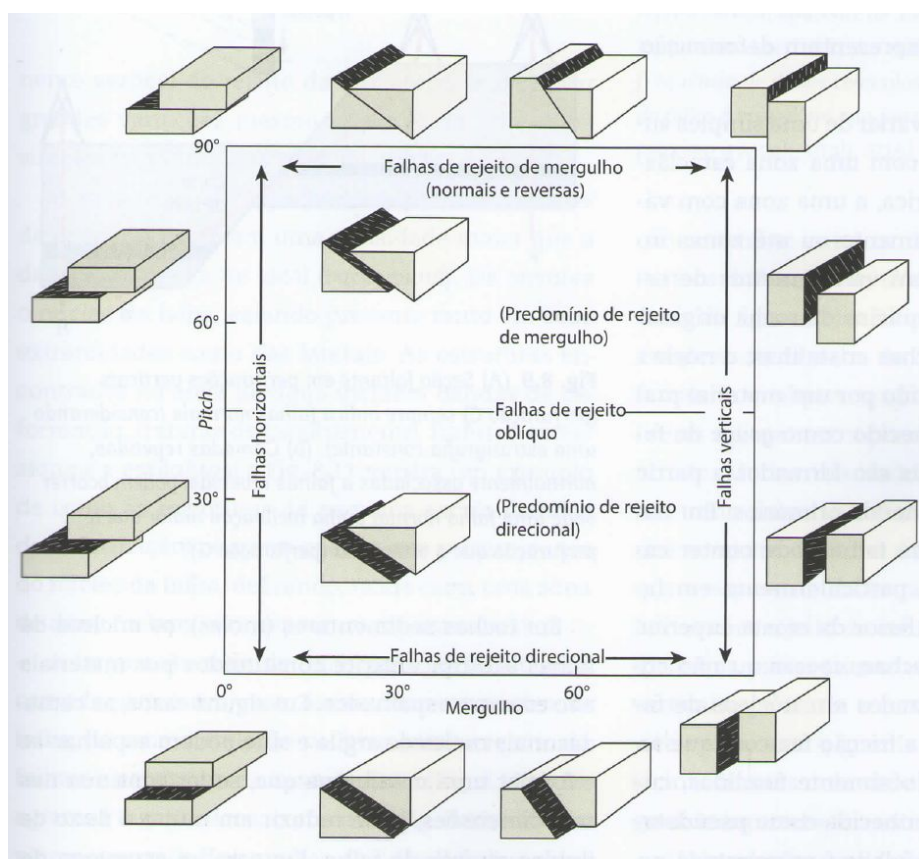


Figura 14: Tipos de falhas de acordo com os regimes tectônicos.

Fonte: Fossen (2016)

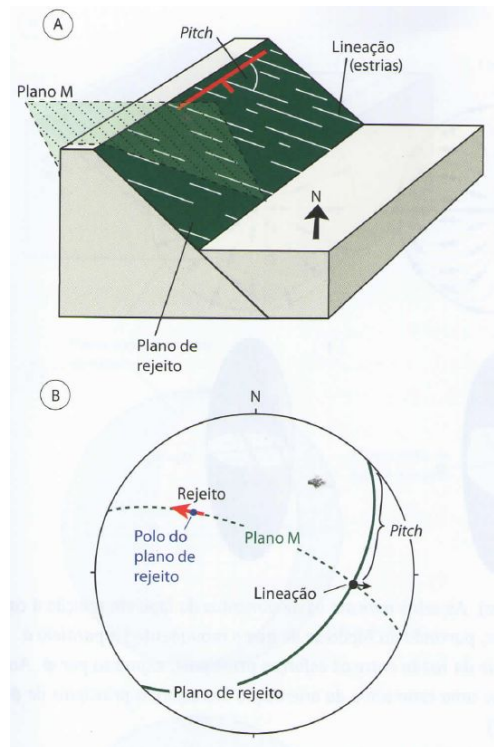


Figura 15: (a): Esquema do pitch medido em um plano de falha e (b) a projeção da falha em um estereograma.
Modificado de Fossen (2016)

5.2.2 Dobras

As dobras são formadas por uma charneira que liga dois flancos com orientações distintas. A linha de charneira, que passa exatamente no ponto de inflexão da dobra geralmente reflete um plano reto que espelha a dobra (plano axial), mas sua curvatura pode ser gradual. Dessa maneira, dobras com a charneira reta podem ser classificadas em dobras cilíndricas, enquanto a charneira, quando curvada, não dará origem a uma dobra cilíndrica. Considerando ainda a geometria do plano de eixo da dobra, elas podem dividir-se em harmônicas, com a curvatura das múltiplas camadas mantendo uma forma similar e, quando não as mantém, são chamadas de dobras desarmônicas (Ramsay et al. 1967, Fossen, 2016).

A definição de uma dobra também depende da atitude de sua superfície axial e de sua linha de charneira, a qual comumente usa-se a definição de dobras normais quando seu plano axial é vertical e a linha de charneira horizontal, e dobras recumbentes quando o plano axial e a charneira são horizontais (Figura 16). Além da classificação com base na posição da linha de charneira, classificam-se as dobras também de acordo com o ângulo entre os flancos, que varia de suave, aberta, apertada até isoclinal (Figura 17).

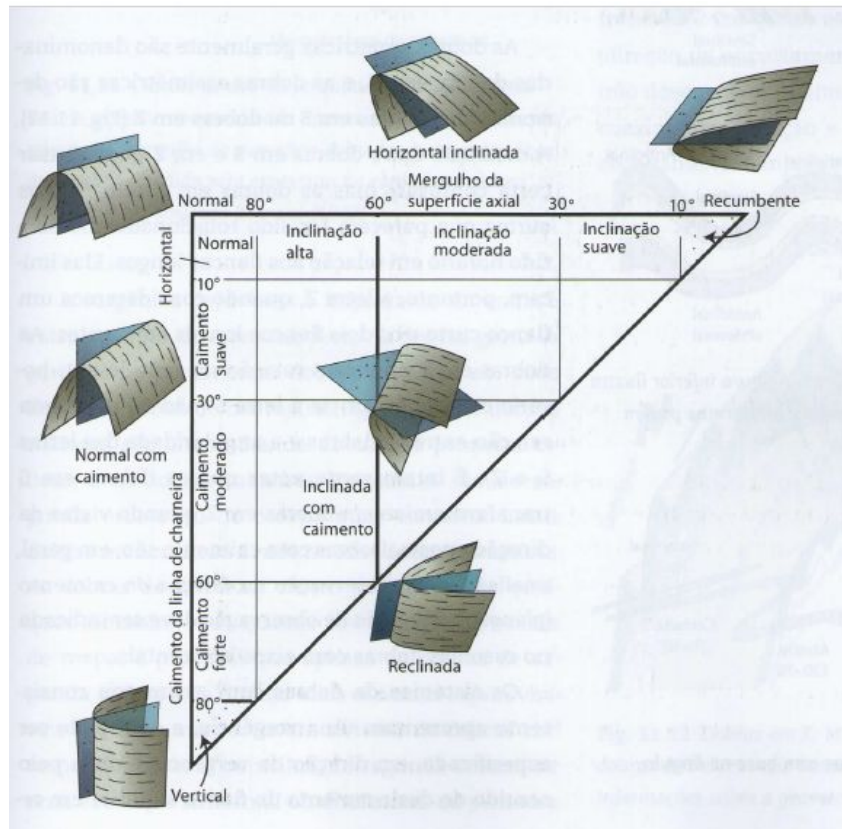


Figura 16: Classificação de dobras de acordo com a direção e caimento da linha de charneira.
Fonte: Fossen (2016)

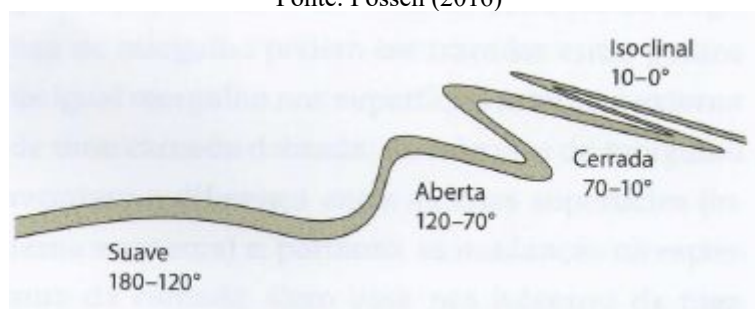


Figura 17: Classificação da abertura de uma dobra baseado no ângulo entre flancos.
Fonte: Fossen (2016).

Quando se fala em simetria de dobras, pode-se comparar, por exemplo, as dobras tipo *Kink* e dobras *Chevron*. A simetria de dobras define que quando o plano axial se torna um plano de simetria, as dobras mais simétricas possíveis terão outros planos de simetria perpendiculares ao plano axial; logo, nas dobras simétricas, o plano da bissetriz coincide com o plano axial. De tal maneira, as dobras *Chevron* apresentam simetria, enquanto as *Kink* apresentam um flanco maior que o outro, que resulta apenas em um plano perpendicular à superfície axial como eixo de simetria (Fossen, 2016) (Figura 18).

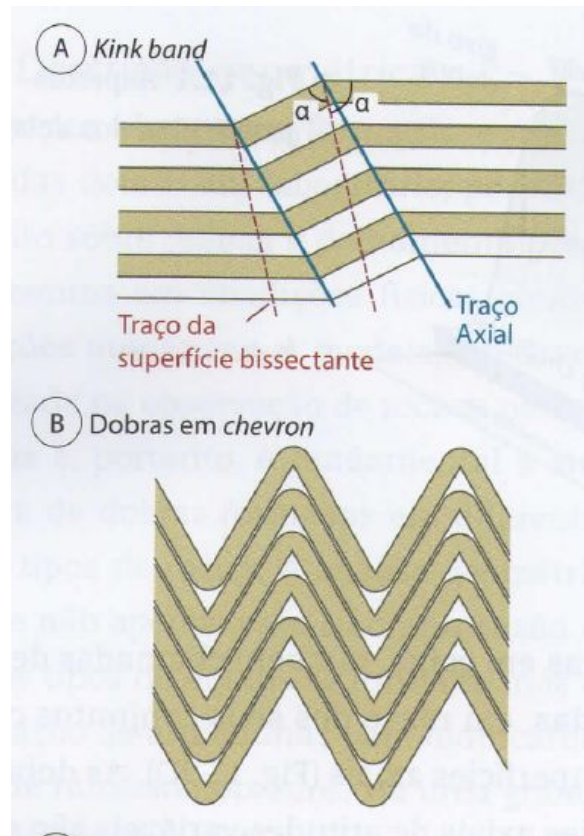


Figura 18: (a) Dobras Kink, assimétricas e (b) Dobras Chevron, simétricas.
Extraído de Fossen (2016).

5.2.3 Foliação

Para que haja a formação da foliação, é necessário que primeiro uma trama seja formada na rocha, isto é, uma estrutura primária, seja sedimentar ou ígnea, que caracterize uma fase inicial pré-deformação tectônica. Após a deformação, as tramas podem ser caracterizadas como tectonitos tipo L quando apresentam uma trama linear, tectonitos tipo S quando há uma trama de formato oblato, além de tectonitos LS e SL que apresentam os dois tipos de deformação na trama (Sander, 1930; Ramsay 1967).

Foliação é um termo aplicado para qualquer estrutura plana ou curvo-plana que possa definir uma trama em uma rocha metamórfica, mas que também pode incluir estruturas primárias como acamamento sedimentar ou lineação mineral magmática. Nota-se que as foliações primárias se formam junto à deposição de sedimentos e de cristalização de rochas magmáticas S_0 , enquanto as foliações secundárias como clivagens plano axiais ocorrem em processos metamórficos. Uma foliação tectônica é uma estrutura plana e pode incluir clivagem, xistosidade e foliação milonítica, portanto, define-se como uma trama (Sander, 1930; Ramsay 1967, 1983; Fossen, 2016).

5.2.4 Clivagem

É a propriedade que uma rocha tem de romper-se ou clivar em superfícies aproximadamente paralelas. A clivagem abrange um subgrupo de foliações. Ocorrem em rochas metamórficas de grau muito baixo a incipiente, gnaisses micáceos ou xistos com clivagem de crenulação tardia. Tanto a clivagem como a crenulação são penetrativas em escalas centimétricas, e o espaçamento entre elementos do plano é variável.

Existem diversos tipos de clivagem, uma vez que cada tipo possui sua gênese em níveis crustais diferentes, ou seja, relaciona-se a temperatura e pressão conforme ocorre a remobilização e recristalização de minerais. Dentre os mais variados tipos de clivagens, pode-se citar as clivagens de fratura, por compactação, clivagem disjuntiva, clivagem filítica (ou xistosidade), clivagem de crenulação e clivagem de plano axial. Neste trabalho serão revisadas apenas as clivagens de crenulação e de plano axial, com base nas definições literárias (Sander, 1930; Ramsay et al. 1967, 1987; Fossen, 2016).

A clivagem de crenulação (ou clivagem tectônica secundária) ocorre quando uma clivagem tectônica é afetada por outra, provinda de um evento posterior. Como a clivagem tende a formar-se na direção perpendicular à direção de máximo encurtamento, uma nova clivagem é formada sobrepondo-se à clivagem pré-existente. Em muitos casos isso ocorre por meio do dobramento da foliação anterior através de uma série de microdobras. Assim a clivagem por crenulação caracteriza-se por uma série de microdobras de escala centimétrica ou menor, com superfícies plano-axiais paralelas (Cosgrove, 1976) (Figura 19). A clivagem de plano axial forma-se simultaneamente com as dobras, devido a relação geométrica que essas duas estruturas possuem, pelo fato de uma clivagem dividir a dobra relativamente conforme a sua superfície axial, principalmente próximo a zona da charneira. Também representam uma importante relação com a foliação tectônica e dobras em rochas deformadas. (Sander, 1930; Hills, 1963; Ramsay et al. 1967, 1983, 1987; Cosgrove, 1976; Davis et al., 1996; Fossen, 2016).

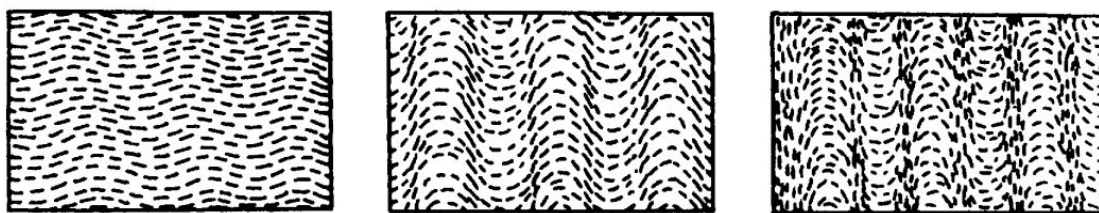


Figura 19: Formação de uma clivagem por crenulação em uma matriz micácea.
Extraído de Cosgrove (1976).

5.2.5 Estrutura em flor

Quando ocorre um falhamento em um regime transcorrente, cria-se o campo estrutural para a formação de uma estrutura em flor. São formadas por uma falha de rejeito direcional, com uma superfície curva que apresenta tendência de ramificação e alargamento. Quando é associada a uma curva restritiva, a estrutura em flor é considerada positiva, e quando associada à curvas de liberação, é uma estrutura em flor negativa (Ramsay, 1967; Fossen, 2016) (Figura 20).

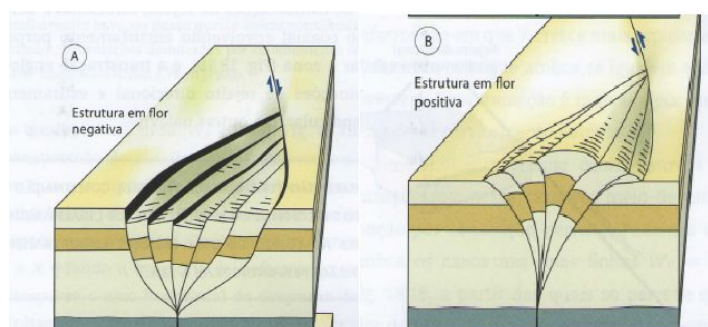


Figura 20: a) Estrutura em flor negativa; b) Estrutura em flor positiva.
Modificado de Fossen (2016).

5.3 GEOMORFOLOGIA ESTRUTURAL

Dentre os diversos modelados que agrupam formas de relevo com base na gênese em comum dos processos atuantes, o modelado de dissecação estrutural (DE) apresenta controle estrutural evidente no condicionamento do relevo. O aspecto de dissecação fluvial presente é consequência de rochas muito deformadas, caracterizada por inúmeras cristas, vales e sulcos estruturais, comumente encontradas em rochas metamórficas. No modelado de dissecação estrutural, observam-se padrões de drenagem cujos canais indicam possíveis estruturas geológicas ou acamamento estratigráfico, tais como os padrões treliça, paralelo e retangular. Dentre as diferentes formas de topos, os morros com topo aguçado apresentam topos estreitos e alongados e vales encaixados,

denotando o controle estrutural, resultante da interceptação de vertentes de declividade acentuada, entalhadas por sulcos e ravinas profundos.

Para caracterizar um relevo adjunto à análise do arcabouço, examina-se a densidade de drenagem (Figura 21), a qual indica uma relação entre o comprimento dos canais e a área amostrada, classificada em: muito grosseira (1); grosseira (2); média (3); fina (4); e muito fina (5). Da mesma forma, classifica-se o aprofundamento das incisões da área amostrada (Figura 22), pela média das frequências de desníveis em perfis transversais aos vales, variando de: muito fraco (1); fraco (2); médio (3); forte (4); e muito forte (5). Estas duas variáveis de cinco classes constituem as fácies de dissecação, presentes nos modelados de dissecação homogênea e estrutural (Quadro 1).

Quadro 1: índices de dissecação do relevo.
(extraído de IBGE, 2009).

Aprofundamento das Incisões (2º Dígito)	Densidade de Drenagem (1º Dígito)				
	Muito grosseira	Grosseira	Média	Fina	Muito Fina
Muito Fraco	11	21	31	41	51
Fraco	12	22	32	42	52
Médio	13	23	33	43	53
Forte	14	24	34	44	54
Muito Forte	15	25	35	45	55

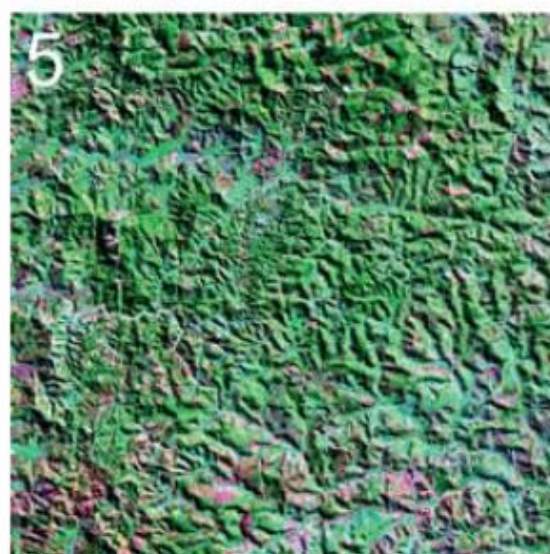
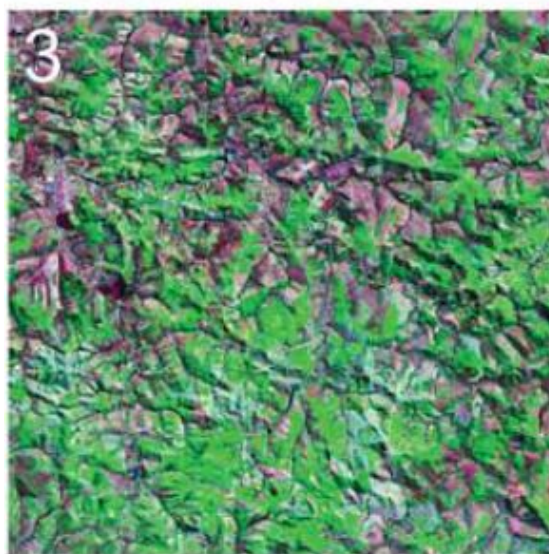
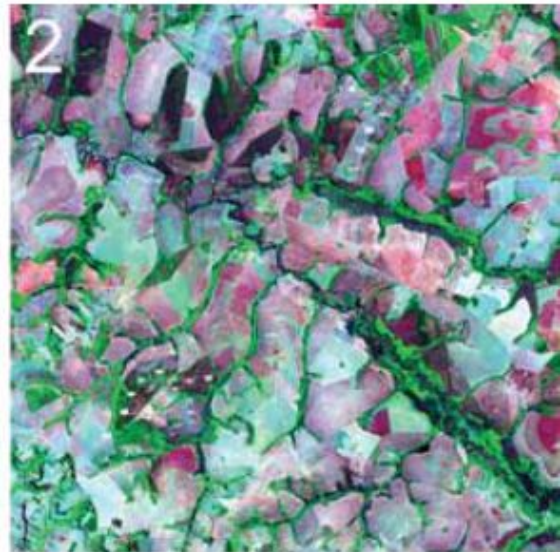


Figura 21: Tipos de classificação com base na densidade de drenagem
(extraído de IBGE, 2008)



Figura 22: Tipos de classificação com base no aprofundamento das incisões (extraído de IBGE, 2008).

6 MATERIAS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho se deu ao longo de cinco etapas concomitantes ao mapeamento e elaboração de perfis: revisão bibliográfica, pré-processamento, campanha de campo, integração de resultados e elaboração do relatório e considerações finais.

6.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa apoiou-se no levantamento bibliográfico da área de estudo, com a revisão de artigos acadêmicos, dissertações de mestrado, teses de doutorados, livros, relatórios técnicos e mapas com nota explicativa, concomitante com o desenvolvimento das demais etapas, e mapas geológicos em escala 1:1.000.000 (CPRM, 1995) e 1:50.000 (CPRM, 2014) fornecidos pelo Serviço Geológico Brasileiro. A revisão bibliográfica foi distribuída em dois tópicos principais: síntese bibliográfica, que buscou abordar o contexto geológico, geotectônico e o geomorfológico da região, e o referencial teórico, onde se fez um levantamento literário sobre o estudo de lineamentos estruturais e de geologia estrutural.

6.2 PRÉ-PROCESSAMENTO

A partir da revisão bibliográfica, um banco de dados fora montado, composto por metadados georreferenciados de fotografias aéreas, Modelos Digitais de Terreno (MDT's), redes hidrográficas do território brasileiro, vias de acesso de estradas e rodovias da região e mapas geológicos do Estado de Santa Catarina.

O banco de dados compõe registros de fotogrametria e imagens aéreas do Modelo Digital de Terreno (MDT) da região de Botuverá, obtidas à partir do levantamento das folhas SG-22-Z-D-I-2 (Botuverá) e SG-22-Z-D-I-4 (Aguti), fornecidas pela Secretaria do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS-SC) (<https://sigsc.sc.gov.br/>). Os metadados da rede hidrográfica brasileira foram concedidos pela Agência Nacional das Águas (ANA) através do portal (<https://metadados.snirh.gov.br>), já as de vias de acesso de estradas e rodovias foram

obtidas pelo portal OpenStreetMap através do site (<https://www.openstreetmap.org>). Já os metadados dos mapas geológicos de Santa Catarina (CPRM) foram obtidos juntamente com os mapas publicados (CPRM, 1998; 2014).

Com o banco de dados estruturado e pronto para ser trabalhado em SIG (Sistemas de Informações Geográficas), utilizou-se o *software* QGIS® (versão 3.3.36) para o pré-processamento de dados, que constitui na aplicação de filtros, criação de um mosaico de imagens de MDT e definição de bases cartográficas para a geração dos produtos cartográficos preliminares. Esta etapa também possibilitou a criação de subprodutos como mapas preliminares para a campanha de campo e um mapa de lineamentos feito a partir de aplicação de sombreamento sob o MDT com duas direções de iluminação, em 315° (NW-SE) e 45° (NE-SW), ambas com ângulo de caimento de 45°, para realçar as cristas e vales e possibilitar a fotointerpretação de lineamentos estruturais, definidos em positivos, associados a cristas e cumes, e em negativos, associados a vales e drenagens. Para definir se há a ocorrência de um *trend* principal que acompanha os lineamentos, utilizou-se a ferramenta de diagramas de roseta para caracterizar as direções preferenciais.

6.3 CAMPANHA DE CAMPO

A partir dos mapas preliminares, o trabalho de campo baseou-se em traçar dois perfis, um para cada área de estudo, de modo a obter uma direção de corte discordante às das estruturas ocorrentes em afloramentos. O primeiro perfil, na área da Cachoeira Encantada, iniciou-se na própria Cachoeira, estendeu-se pela rua OR-03 e finalizou no Museu do Imigrante, próximo à entrada do parque das grutas Botuverá. O segundo perfil, da Barra do Areia, começou na saída da SC-486 para a rua Praia Vermelha e seguiu às margens da barra do Rio Itajaí-Mirim. A campanha buscou identificar, descrever e medir estruturas em escala de afloramento (mesoestruturas) a partir de croquis geológicos elaborados com caderneta de campo, bússola geológica de Brunton e GPS.

6.4 INTEGRAÇÃO DE RESULTADOS

Com a aquisição dos dados brutos de campo, iniciou-se a etapa de integração de resultados provindos do processamento. Os dados que resultaram em produtos da etapa de pré-processamento também foram introduzidos no banco de dados a fim de fomentá-lo. As medidas registradas em campo foram organizadas na forma de planilha em programa Excel Office®, a fim de definir qual grupo cada estrutura pertence e de cada perfil. Com a devida categorização das estruturas, usou-se o programa Stereonet® (<https://www.rickallmendinger.net/stereonet>, Allmendinger, 2024) para gerar as redes estereográficas de estruturas geológicas.

Após o processamento de dados e a confecção dos diagramas, foi realizado um estudo comparativo quanto à orientação das macros e mesoestruturas de acordo com sua direção e/ou orientação espacial. Com base na comparação de direções preferenciais, determinou-se o grau de influência entre as estruturas para confecção dos produtos cartográficos finais. Estes serão elaborados junto com os perfis estruturais das duas áreas, além de croquis geológicos, com o uso do programa CorelDRAW® (versão 2017), resultando na interpretação morfoestrutural da área.

6.5 ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, com a integração de todos os dados e a elaboração de mapas, diagramas de roseta, redes estereográficas e perfis, realizou-se a análise descritiva, bem como a identificação das morfoestruturas da região, e, dessa forma, pode-se definir se realmente há ou não uma correlação e um grau de influência das mesoestruturas sobre as macroestruturas.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 ANÁLISE DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS

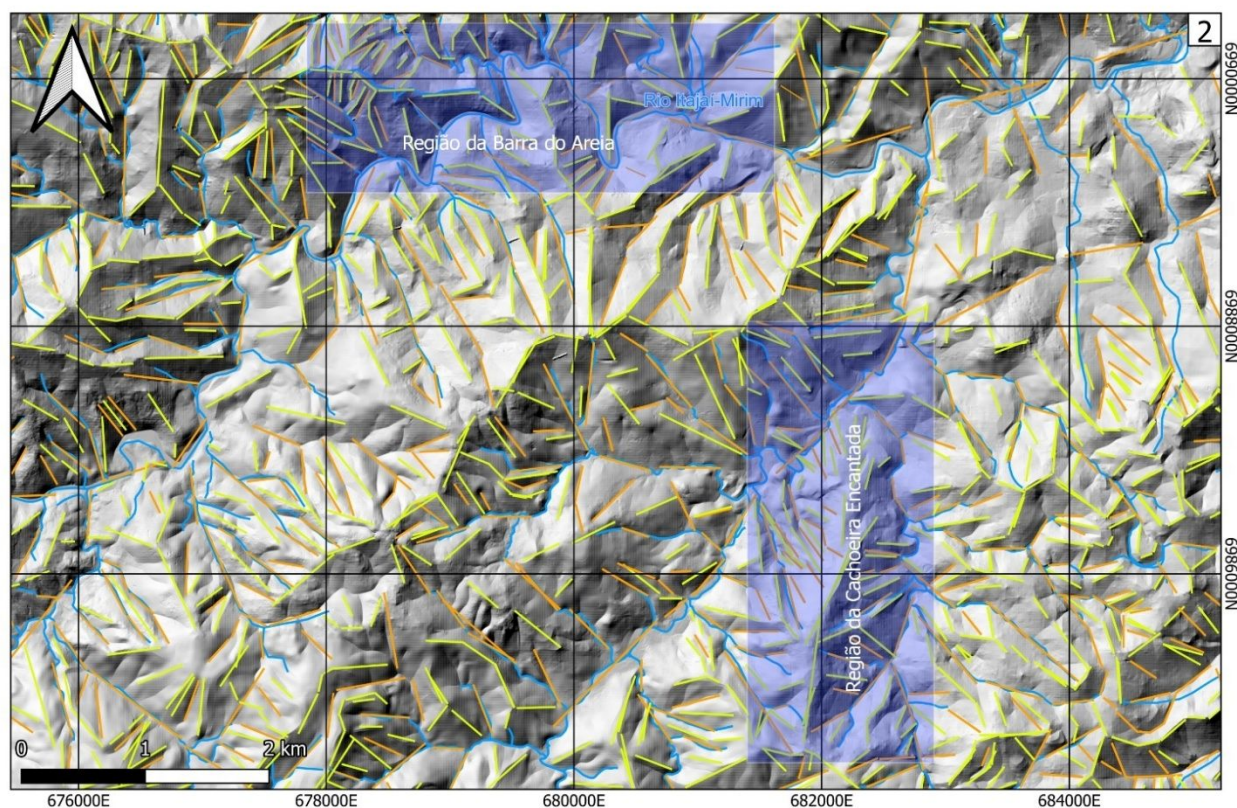
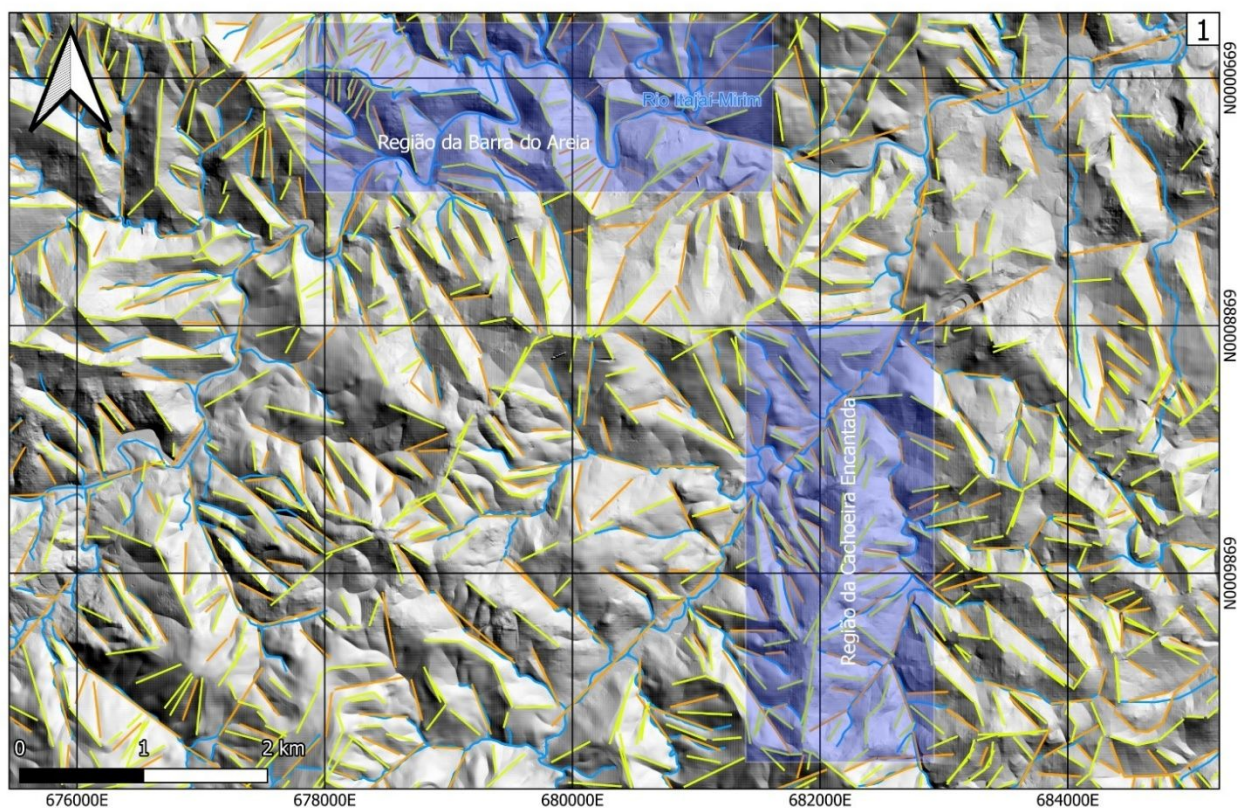
Foram analisados lineamentos positivos, expressos no relevo através de cumes e cristas, e lineamentos negativos, caracterizados por incisões em vales e sulcos de drenagens. Em ambas as áreas analisadas neste trabalho (Cachoeira Encantada e Barra do Areia) foram observadas duas direções preferencias de ocorrência de lineamentos: NE-SW e NW-SE (Figura 23).

Na região da Cachoeira Encantada foram definidos 475 lineamentos estruturais na zona de influência da área, sendo 257 positivos e 218 negativos, com comprimento variando de 60 metros até alguns de 900 metros. Apesar das diferentes dimensões dos lineamentos, o diagrama de roseta foi feito com base na frequência da direção dos lineamentos. Os lineamentos positivos apresentam ocorrência em diversas direções, contudo é notável a frequência de lineamentos com direcionamento para N40-50E (com 45% da frequência) e para N50W (33 % dos lineamentos), indicando duas direções preferenciais, além de uma terceira direção E-W (cerca de 10%) subordinada (Figura 24a). Com relação aos lineamentos negativos, esta região apresenta dois *trends*, um principal e um subordinado. O *trend* N40W é estreito e bastante persistente, perfazendo 68% dos lineamentos, enquanto o segundo *trend* apresenta orientação geral W-E (podendo variar entre N70E e N80W), é menos estreito e perfaz cerca de 25% dos lineamentos. Nota-se que o *trend* regional (lineamento em vermelho) indica duas direções preferenciais de acordo com os lineamentos positivos e negativos (Figura 24b).

Já na região da Barra do Areia, foram identificados 397 lineamentos estruturais, sendo 221 positivos e 176 negativos, com comprimento variando também de 60 até 900 metros de extensão, tal qual os lineamentos da Cachoeira Encantada. A análise de frequência dos lineamentos positivos (Figura 25a) também mostrou orientações para todas as direções, contudo o *trend* direcionado entre N30-40E apresentou uma maior frequência (cerca de 48%), seguido de uma direção secundária N30W com uma frequência 17% dos lineamentos, além de uma terceira direção subordinada para N70E

(Figura 24b). Os lineamentos negativos desta região também apresentaram diferentes orientações, devido o *trend* direcional na direção N20W (Figura 25b).

MAPA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS COM SOMBREAMENTOS EM 45° E 315°



Legenda

■ Áreas de estudo
 — Lineamento Positivo
 — Lineamento Negativo
 — Hidrografia

Sistema de Referência de Coordenadas: SIRGAS 2000 UTM 22S

Escala do mapa: 1:25.000

Base de dados fornecidos pela SDS-SC e ANA.

Mapa 1: mapa de lineamentos com sombreamento de 45°

Mapa 2: mapa de lineamentos com sombreamento de 315°

Figura 23: Mapas de lineamentos estruturais na região com base no relevo sombreado.

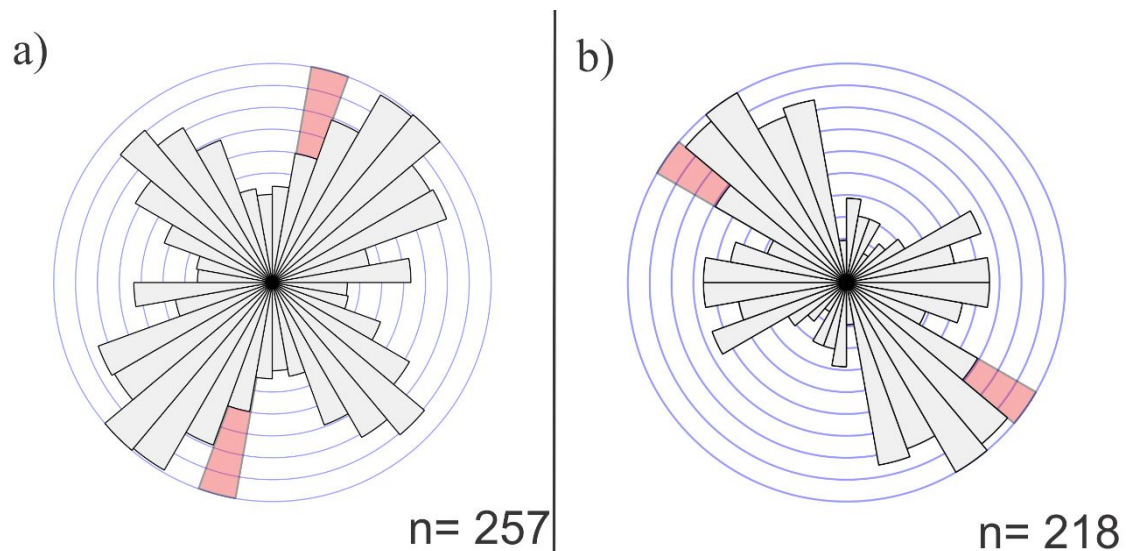


Figura 24: Lineamentos da região da Cachoeira Encantada

(a) Diagrama de roseta dos lineamentos positivos e (b) dos lineamentos negativos da região da Cachoeira Encantada. O lineamento em vermelho representa o trend regional.

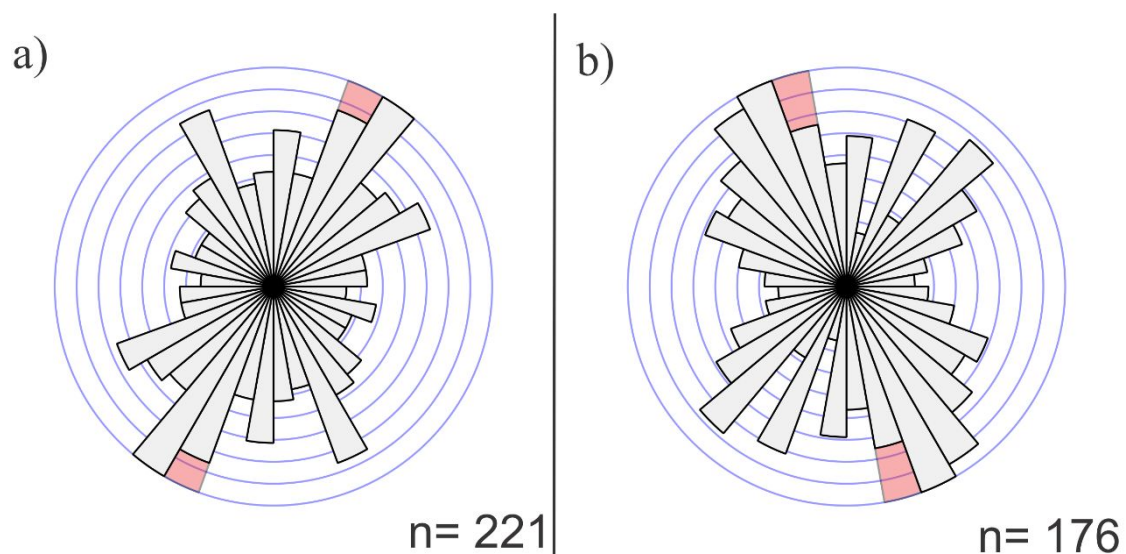


Figura 25: Lineamentos da região da Barra do Areia

a) Diagrama de roseta dos lineamentos positivos e (b) Lineamentos negativos da região da Barra do Areia. O lineamento em vermelho representa o trend regional.

7.2 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

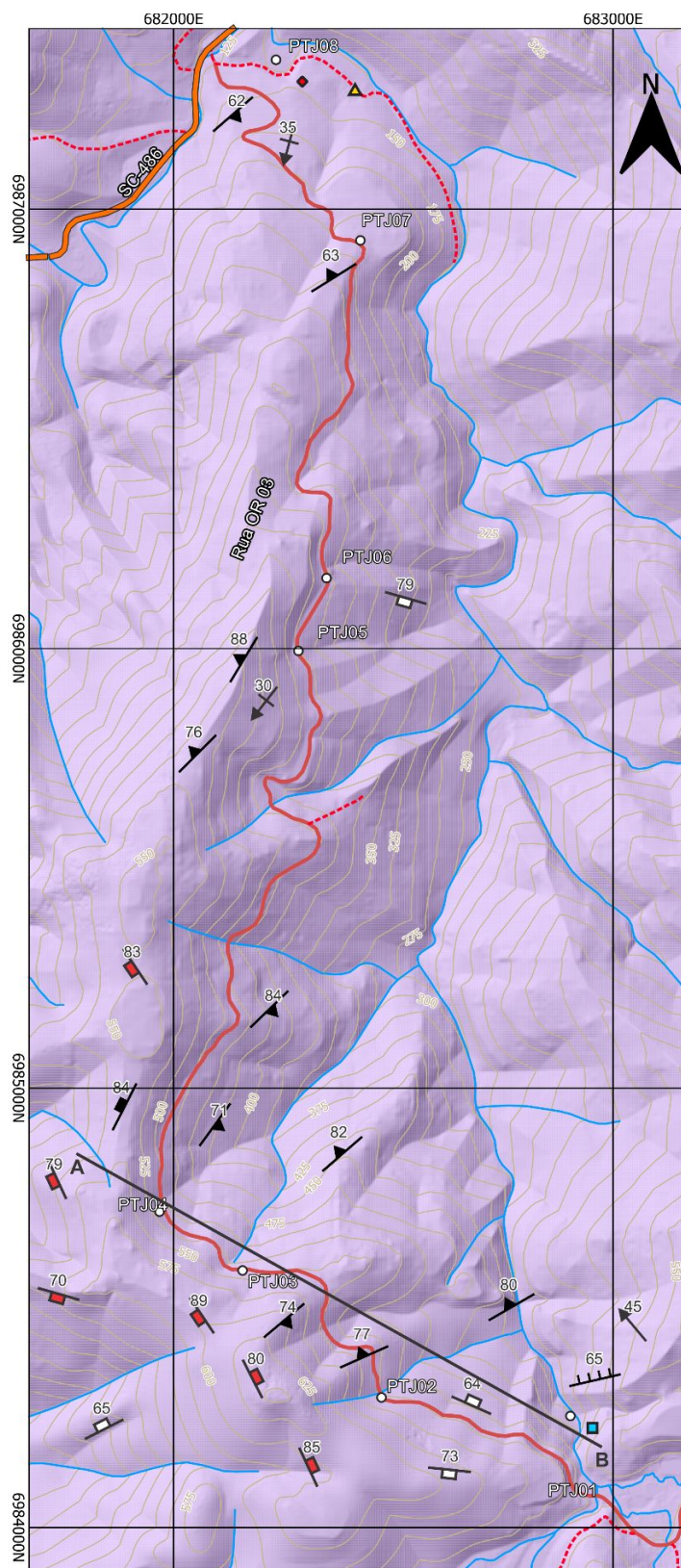
7.2.1 Região da Cachoeira Encantada

Nesta região foi cartografado um mapa onde se realizou um perfil geológico de 1,5 quilômetro de extensão, que partiu da base da própria cachoeira e seguiu pela estrada de acesso em direção ao Parque das Grutas (Figura 26). Na base da cachoeira

ocorre uma excelente exposição do tipo escarpa e leito rochoso em curso d'água. Ao longo da estrada também foram encontradas boas exposições em cortes de estrada, no geral transversais às estruturas observadas.

A geologia desta região é constituída predominantemente por metapsamitos intercalados com níveis de quartzitos. Esta intercalação se dá na forma de níveis com espessuras que podem variar desde uma laminação reliquiar regular e repetitiva de níveis milimétricas (Figura 27a) até níveis eventuais com espessuras decimétricas (Figura 27b). Também ocorrem níveis de espessuras variadas, podendo chegar até cerca de 10-20 metros, contendo xistos pelíticos (Figura 27c). O contato entre os níveis é, em geral, abrupto e marcado pelo aumento na quantidade de cristais de mica observados (Figura 27d).

A xistosidade está bem desenvolvida e marcada pelo alinhamento dos cristais milimétricos de micas (muscovita e biotita). O quartzo está presente na forma de cristais granoblásticos equigranulares finos (Figura 27e). Nos níveis de xistos pelíticos, o teor e a granulometria dos cristais de micas são maiores em comparação aos metapsamitos, dando a estas rochas um destacado brilho submetálico de cor cinza escuro, além da ocorrência de níveis ricos em porfiroblastos rotados de granadas com cristais chegando até aproximadamente 1 cm de tamanho (Figura 27f).



MAPA GEOLÓGICO E DE ESTRUTURAS DA REGIÃO DA CACHOEIRA ENCANTADA

LEGENDA

Elementos cartográficos

- Cachoeira Encantada
- ▲ Parque das Grutas de Botuverá
- ◆ Museu do Imigrante
- Hidrografia
- Curva de nível
- Pontos investigados

Estradas

- SC-486
- Rua OR 03
- Vias de acesso

Litologia

- Metapsamitos, quartzitos e xistos pelíticos com granada

Estruturas

- ▲ Foliação plano axial S3
- ✂ Eixo de dobra D3
- Fraturamento plano axial F3
- Clivagem de fraturamento F4
- Falha normal oblíqua F5
- Estria de falha
- Fratura F5

0 500 1.000 m
1:10.000

Sistema de Referência de Coordenadas: SIRGAS2000 UTM 22S
Escala do mapa: 1:10.000
MDT com sombreamento em 315° e inclinação de 45°
Equidistância das curvas de nível: 25 metros
Base de dados montados fornecidos pela ANA, CPRM, SDS-SC e Openstreetmap

Perfil geológico:

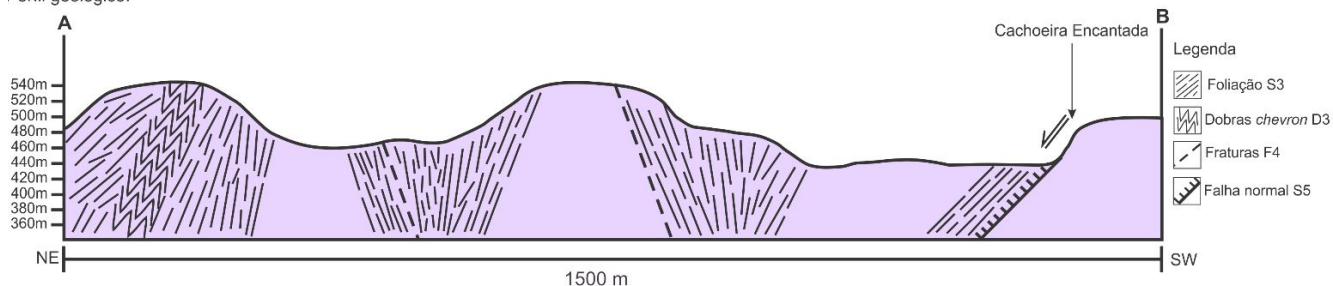


Figura 26: Mapa de estruturas geológicas e perfil da região da Cachoeira Encantada

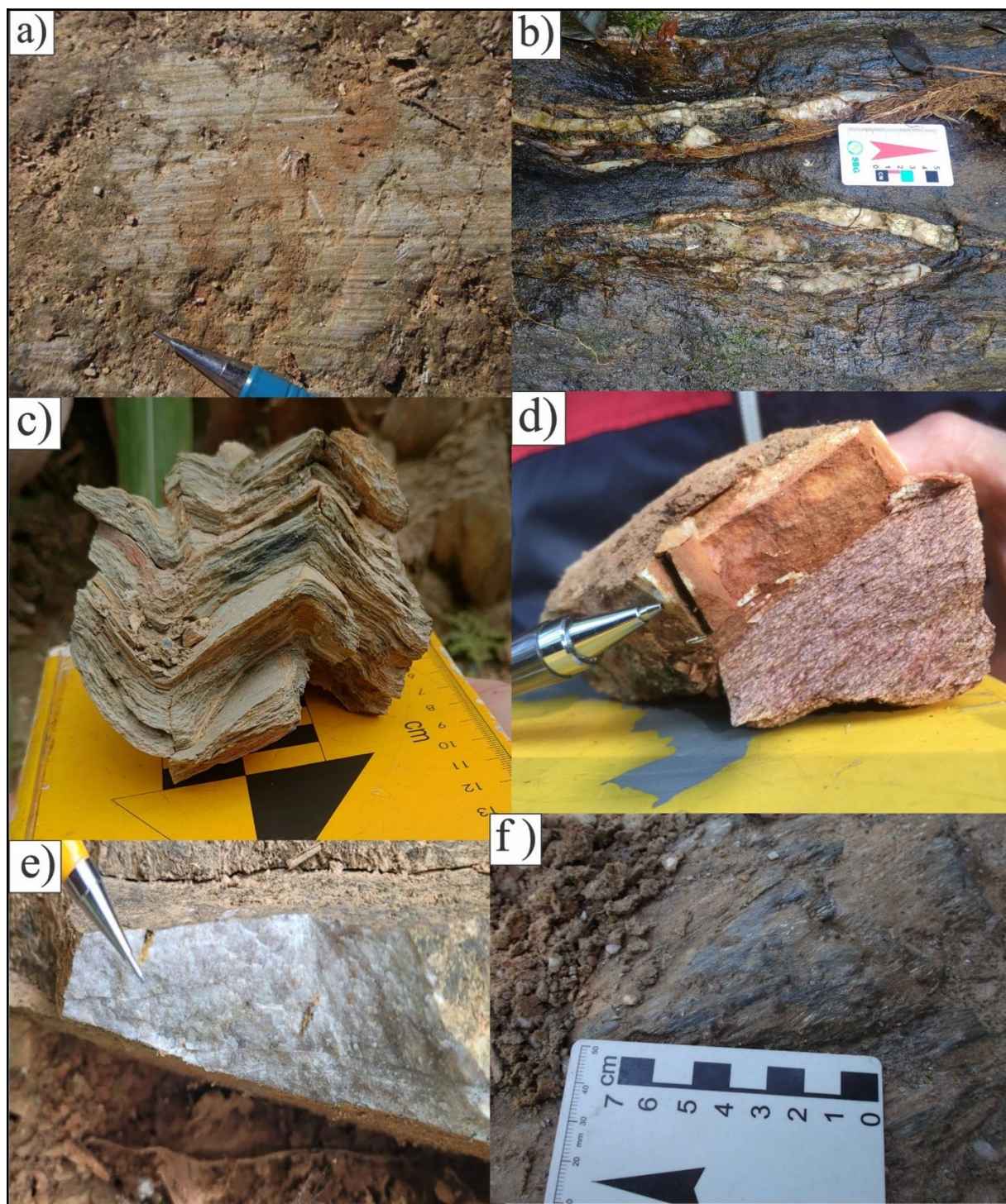


Figura 27: Geologia da região da Cachoeira Encantada

- a) Laminação reliquiar milimétrica em metapsamitos e quartzitos; b) Lentes de quartzito alternando com xisto; c) Xisto pelítico; d) Contato abrupto entre o quartzito com o metapsamito; e) Quartzito na textura granoblástica; f) Xisto pelítico com granada.

Ao analisar as estruturas geológicas presentes nos afloramentos e cortes transversais desta região, observou-se a ocorrência de uma foliação e de clivagens de orientação geral NE-SW. Estas estruturas apresentam mergulho em alto-ângulo a subvertical para SE e, com maior frequência, para NW. Em cortes de orientação favorável é possível verificar que estas estruturas foram geradas através da formação de uma foliação S_3 , que pode ter evoluído para um fraturamento do plano axial S_3 em mesodobras normais a normais inclinadas em *Chevron*, com caimento fraco a moderado (Figura 28). Estas dobras apresentam eixos com orientação NE-SW e caimento para SW (Figura 29). Nos flancos destas dobras é possível observar uma laminação reliquiar S_0 paralela a um plano de xistosidade.

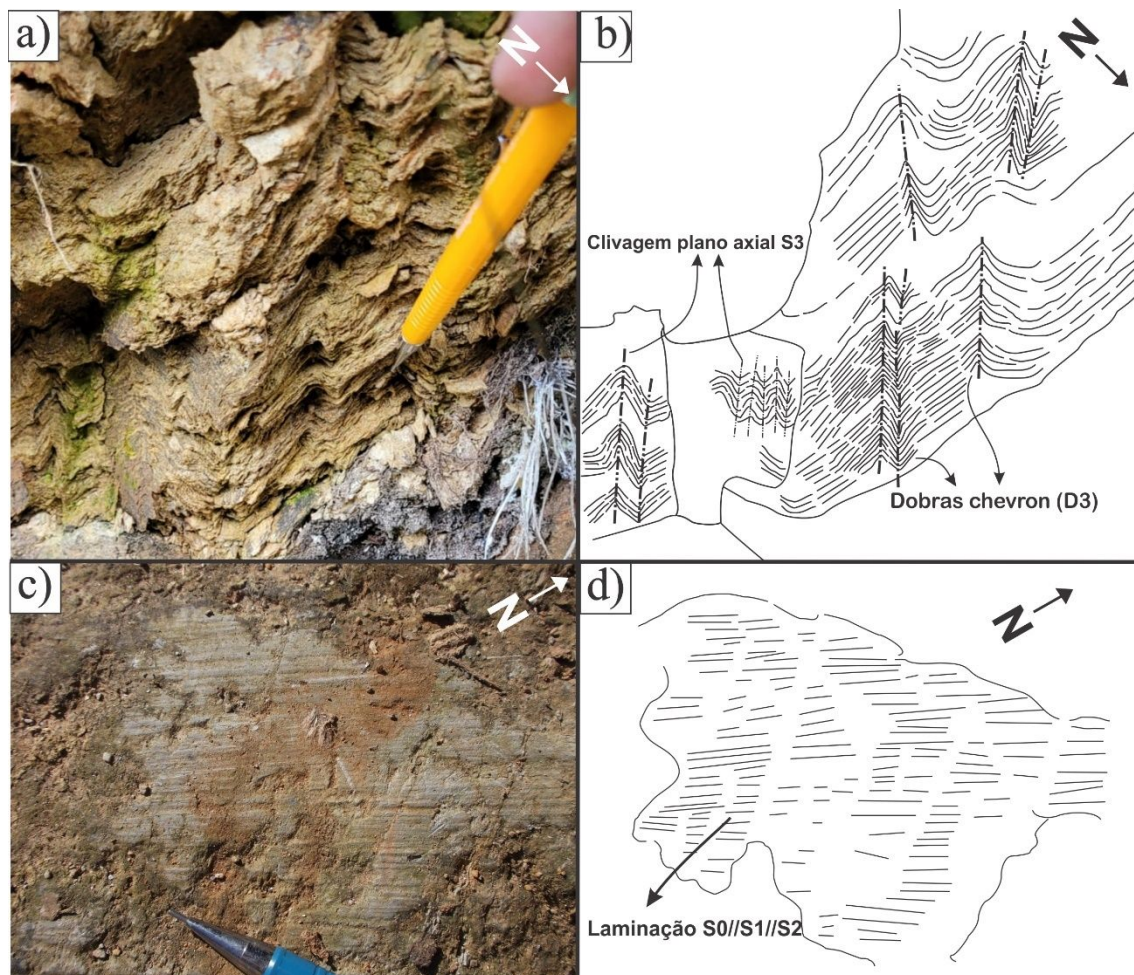


Figura 28: Estruturas geológicas da região da Cachoeira Encantada

- a) Dobras Chevron D_3 com clivagem no plano axial S_3 , no PTJ08; b) Croqui da imagem a) evidenciando as estruturas; c) Lajeado exibindo laminação S_0 paralela à S_1 e S_2 no PTJ06; d) Croqui da imagem c) destacando a S_0 .

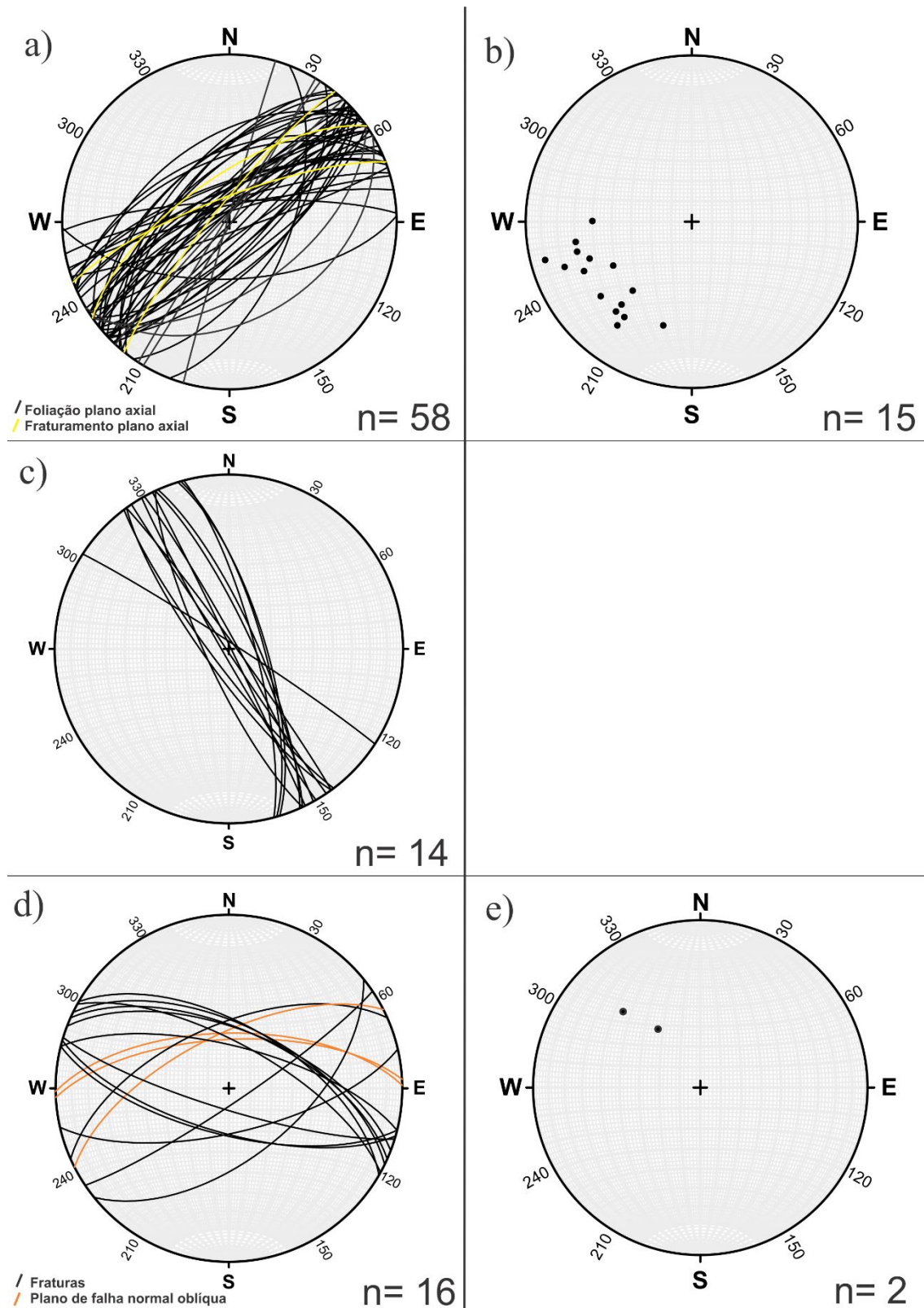


Figura 29: Redes estereográficas de estruturas da região da Cachoeira da Encantada

- a) Estruturas S3 NE-SW: Foliação plano axial S3 em preto e fraturamento do plano axial em amarelo;
 (b) Eixo das dobras por crenulação S3; (c) Clivagem do fraturamento NW-SE;
 d) Fraturas e planos de falha E-W F5; e) Estria de falha F5 com caimento para NW.

Outra estrutura regularmente observada é um fraturamento vertical de direção NW-SE formado através do fraturamento que afeta a foliação da rocha. No geral, estas estruturas são menos comuns que aquela de direção NE-SW, porém podem apresentar persistência significativa em alguns afloramentos, chegando a espaçamentos de até 50 cm entre as fraturas (Figura 30).

Uma característica comum nos afloramentos rochosos de metapsamitos e quartzitos desta área é a formação de lajes com extremidades em “cunha” (ortogonais) nos locais interseção entre as fraturas de direção NE-SW com as fraturas de direção NW-SE (Figura 30b).

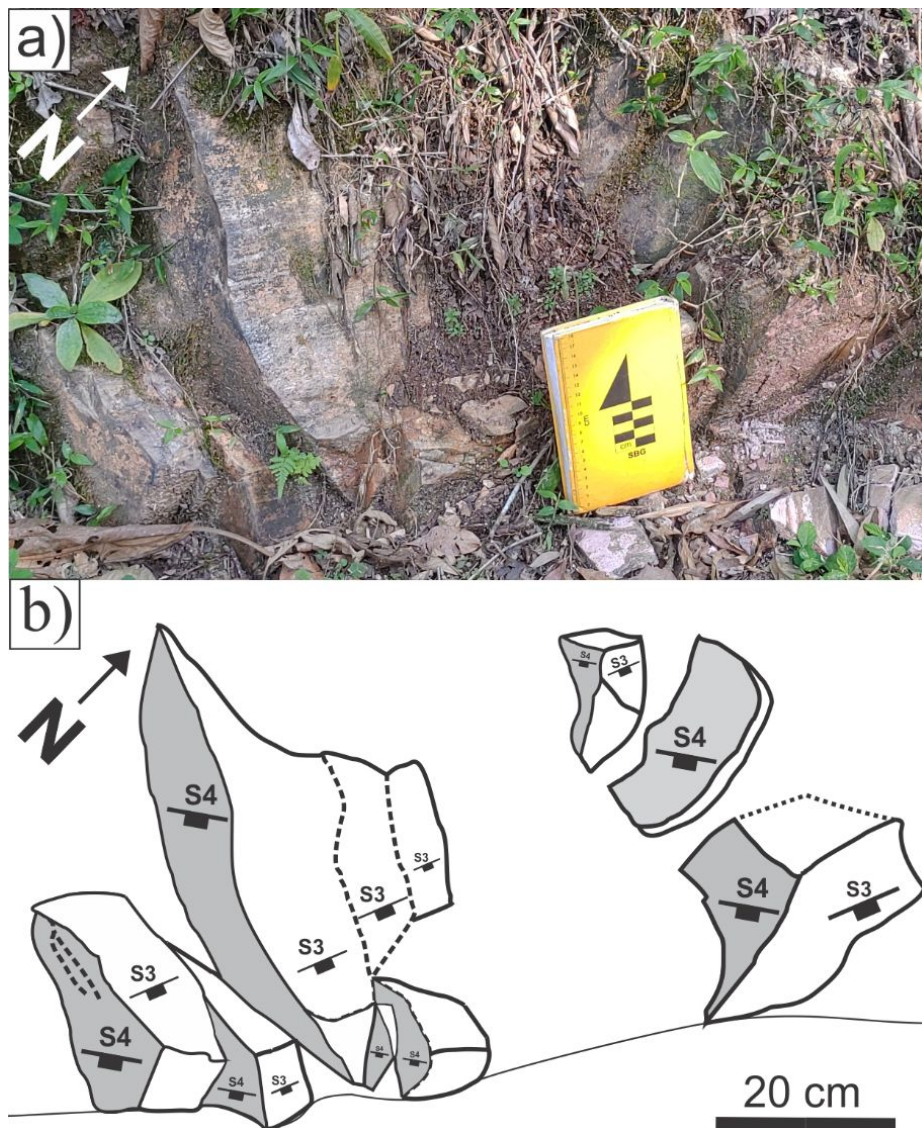


Figura 30: Formação de lajes em cunha entre as fraturas S3 e S4 do PTJ03.

Uma terceira direção de fraturamento, com menor persistência em relação às anteriores, também foi observada nos afloramentos. As fraturas desta classe apresentam

orientação geral E-W com mergulhos de médio a alto ângulo e caimentos variando para WNW-ESE e ENE-WSW (Figura 31a e 31b). Na exposição rochosa da Cachoeira Encantada foi possível constatar que os dois patamares principais que formam a queda são gerados por fraturas de orientação aproximada E-W (Figura 31c e 31d). Nas paredes formadas pelo desnível entre os patamares (quedas d'água) são observadas estrias de falha com caimento para NW, e a formação de degraus de falha normais. Tais características permitem concluir que o desnível topográfico observado na Cachoeira Encantada está associado a atuação de um sistema de falhas transtrativas de direção geral E-W.

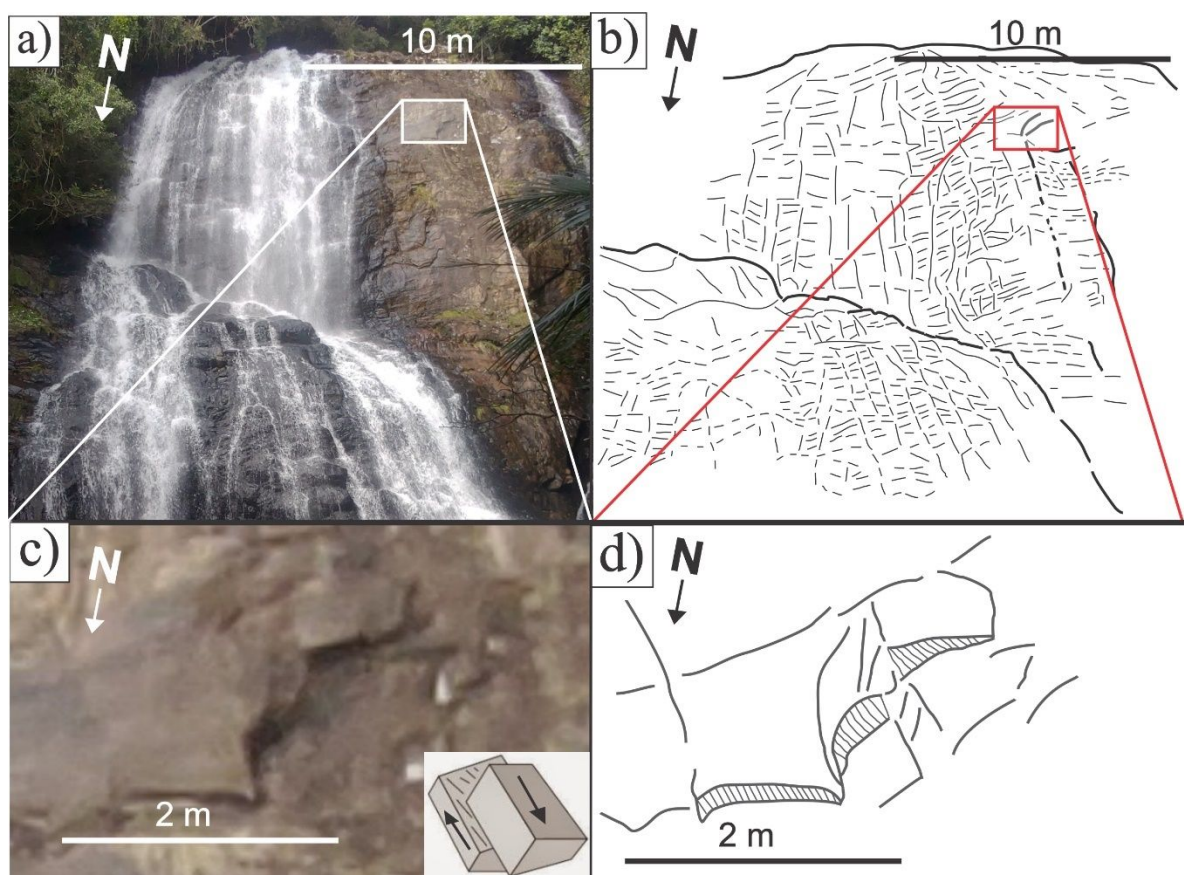


Figura 31: Fraturas e falhas na Cachoeira Encantada

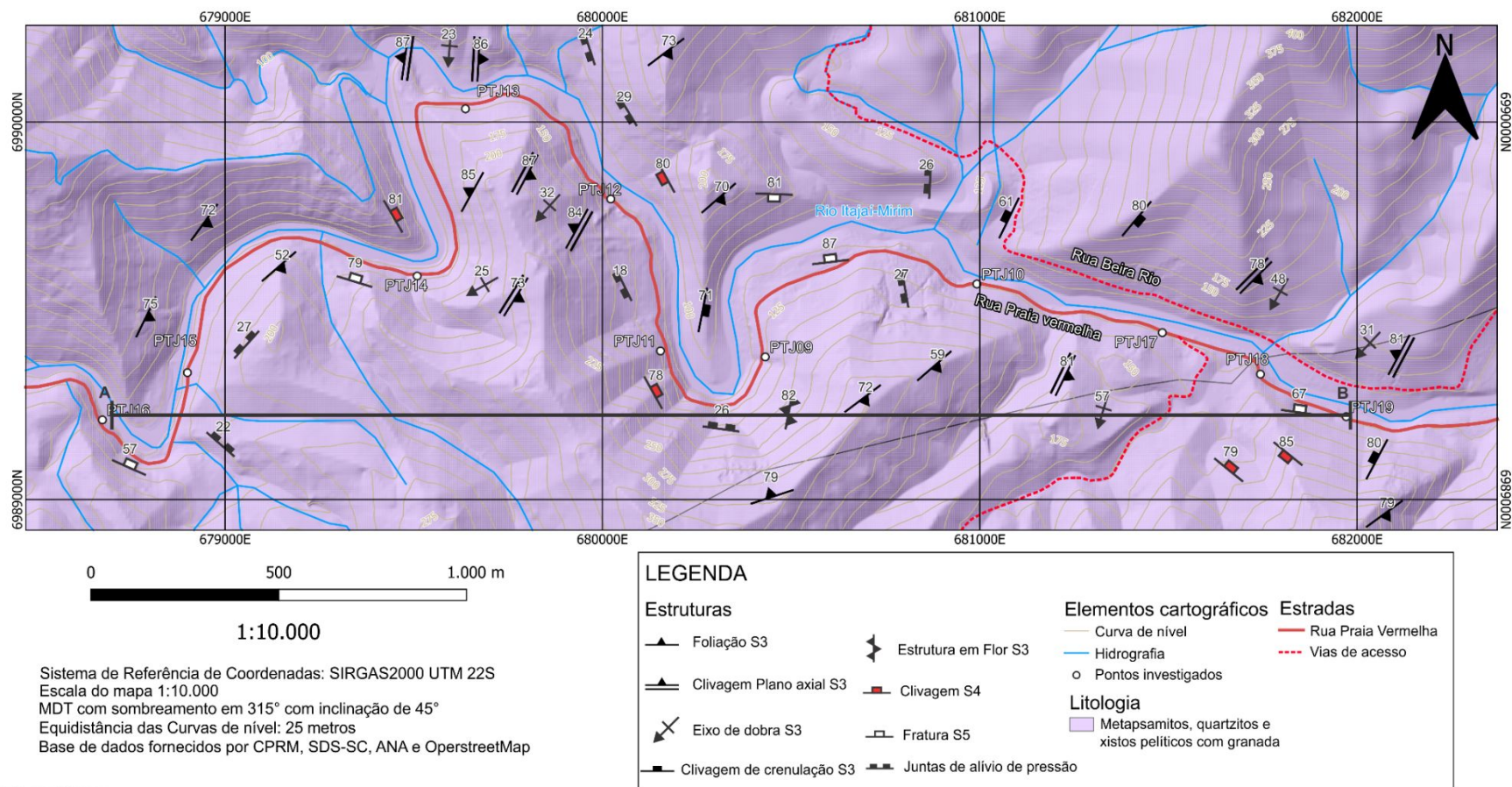
a) Cachoeira do arco-íris logo acima do PTJ01; b) Croqui da foto a) evidenciando o plano de falha de rejeito do bloco. c) zoom no degrau de falha transtrativa na cachoeira, junto a um croqui esquemático do movimento dos blocos e d) Croqui esquemático do degrau de falha.

7.2.2 Região da Barra do Areia

Nesta região foi realizado um perfil de 3,5 km sentido E-W ao longo do início da estrada que conecta a região do Ribeirão do Ouro a Barra do Areia. Este trecho da estrada tem orientação geral E-W e apresenta uma grande sinuosidade devido ao fato de ter sido construída nas encostas que acompanham o vale do rio Itajaí-Mirim. Esta característica permitiu a observação de afloramentos com diferentes direções de corte, favorecendo a identificação de estruturas geológicas (Figura 32).

Estes afloramentos são constituídos principalmente por filitos grafitosos e metapsamitos, e eventualmente por quartzitos. Estas variedades litológicas ocorrem intercaladas, constituindo níveis contínuos com espessuras que podem variar de metros a algumas dezenas de metros. (Figura 33a). Os filitos grafitosos apresentam brilho sedoso típico e estrutura xistosa desenvolvida pelos cristais finos de mica orientados. A grafita ocorre ao longo de níveis milimétricos discretos ou preenchendo fraturas. Os metapsamitos também apresentam foliação desenvolvida por cristas lepidoblásticas de mica, além de apresentar uma grande quantidade de cristais granoblásticos finos de quartzo (Figura 33b). Em ambas as litologias é observada uma laminação reliquiar constituída pela intercalação de níveis milimétricos contínuos ricos em micas com níveis mais quartzosos (Figura 33c). Nos filitos grafitosos, esta laminação também pode apresentar níveis com grandes teores de grafita. Os quartzitos são maciços e constituídos por cristais granoblásticos finos a médios de quartzo. Eventualmente foram observados cristais milimétricos euédricos de pirita em teores modestos e dispostos ao longo de níveis milimétrico

MAPA DE ESTRUTURAS REGISTRADAS NA REGIÃO DA BARRA DO AREIA



Perfil geológico:

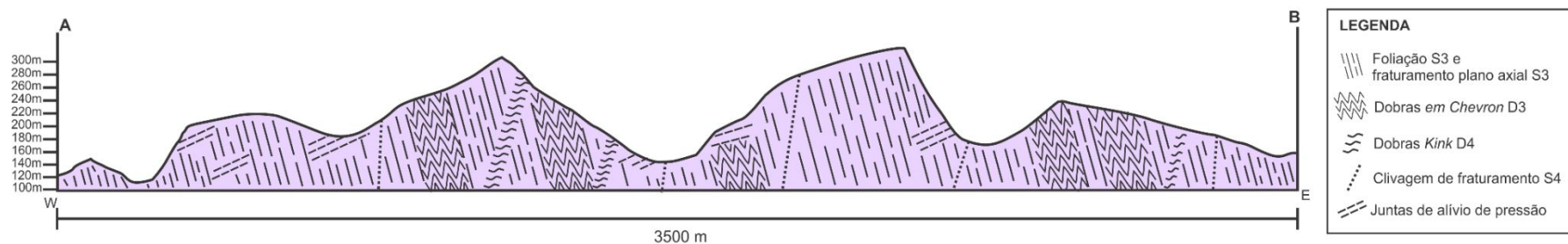


Figura 32: Mapa de estruturas geológicas e perfil da região da Barra do Areia.

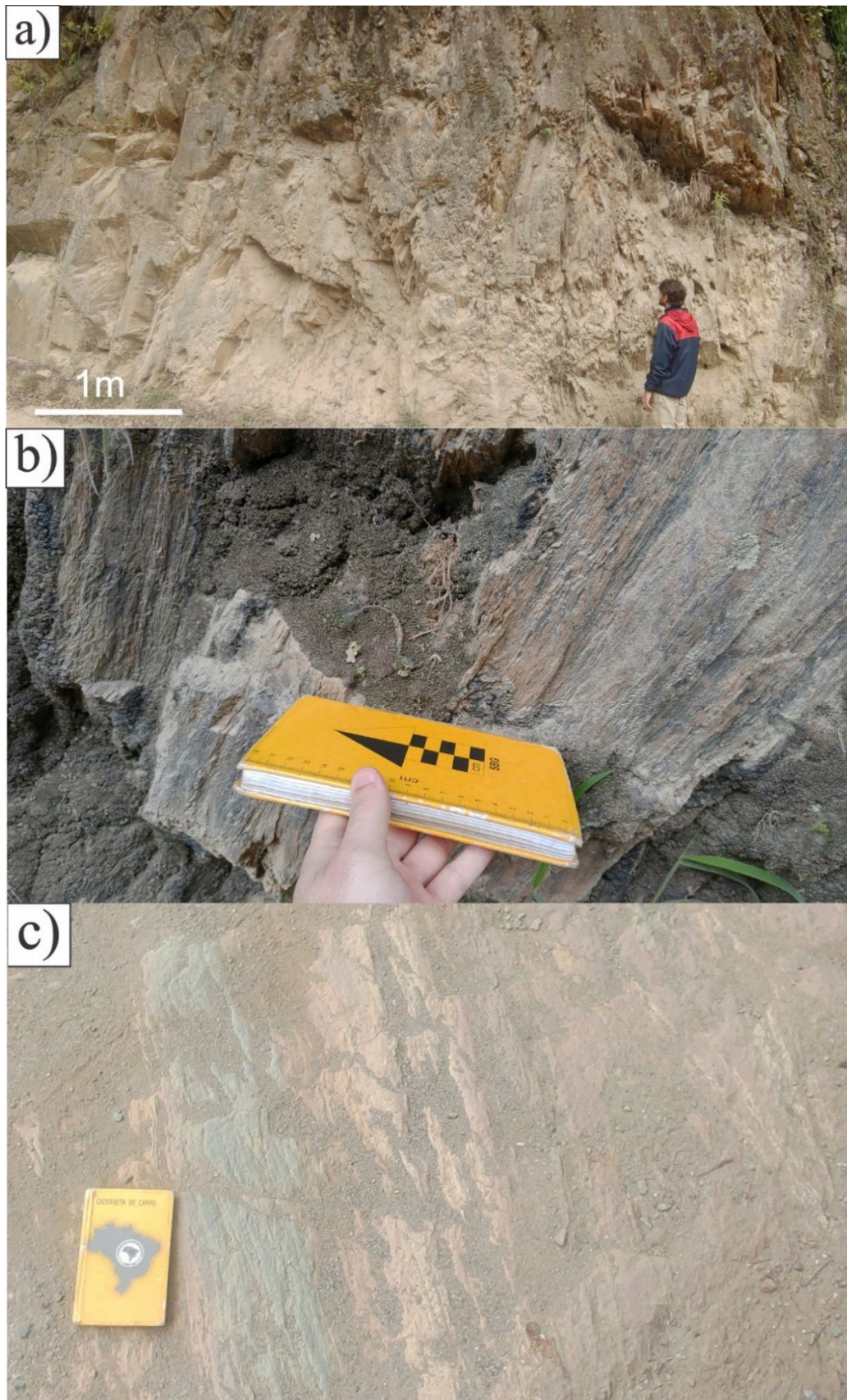


Figura 33: Litologias da área da região da Barra do Areia
 a) Filitos grafitoso (PTJ15)s; b) metapsamitos lepidoblásticos com cristais granoblásticos de quartzo (PTJ13) e c) metapsamitos com estruturas reliquias S_0 de acamamento sedimentar (PTJ10).

Ao longo dos afloramentos de cortes de estrada estudados nesta região, a estrutura mais comum encontrada trata-se de uma foliação S_3 , com orientação geral NE-SW e mergulhos predominantemente para SE e secundariamente para NW. A foliação apresenta diferentes estruturas originadas de um mesmo evento deformacional, indicado pelas foliações que ora evoluem para uma clivagem de crenulação S_3 ou para um fraturamento plano axial S_3 de alto ângulo (Figura 34).

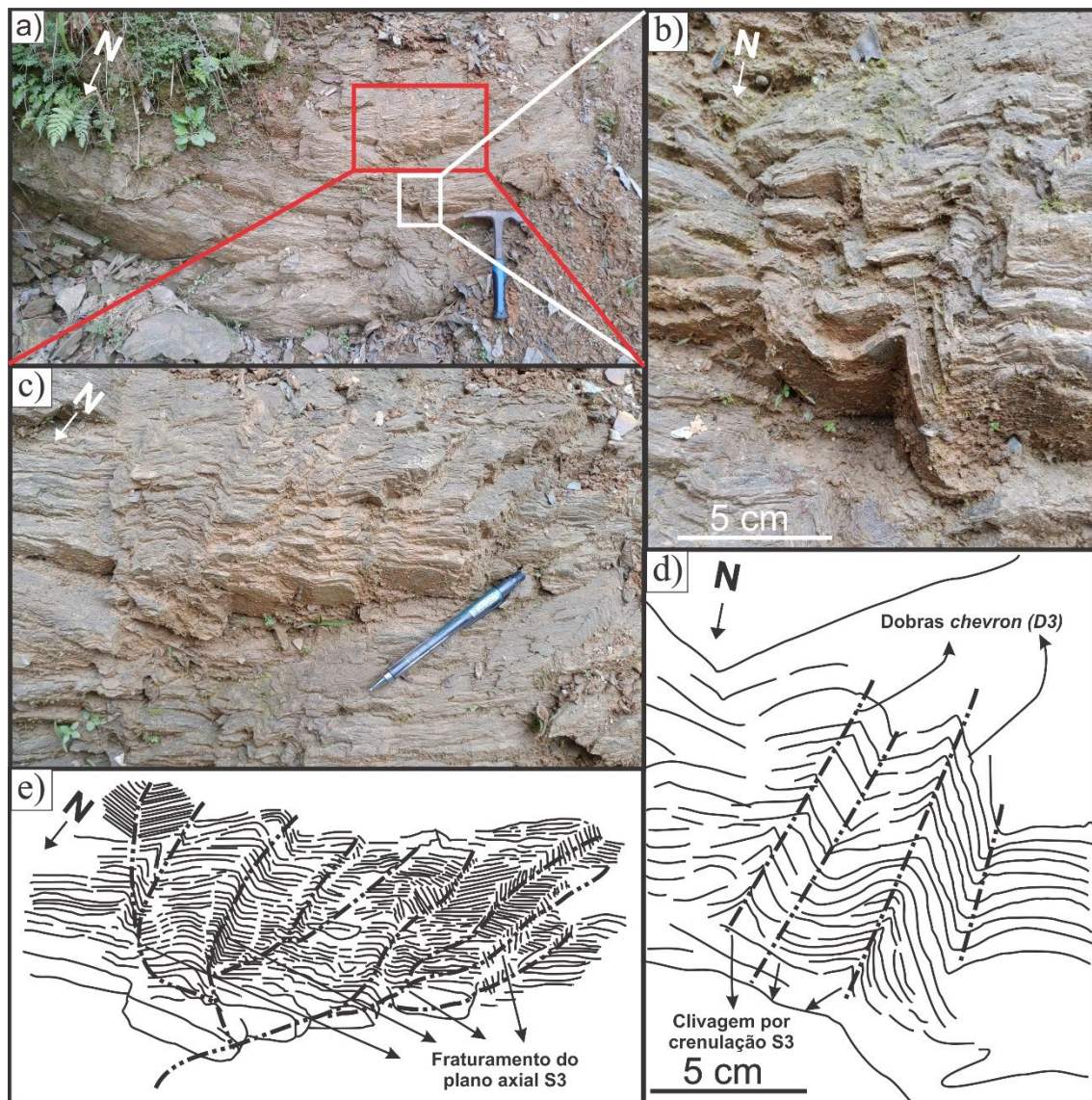


Figura 34: Afloramentos dos cortes de estrada da região da Barra do Areia
a) Estruturas S_3 com trend NE-SW no PTJ09; b) Mesodobras normais em *Chevron* com clivagem de crenulação; c) Estrutura em flor formada a partir do fraturamento plano axial da S_3 ; d) Croqui da imagem 33b); Croqui da imagem 33c).

É possível verificar que esta estrutura é gerada a partir do desenvolvimento de foliação ou fraturamento/clivagem plano axial em mesodobras normais a normais inclinadas com caimento fraco a moderado do tipo *Chevron* (Figuras 34b e 34d). Estas dobras apresentam eixos com orientação NE-SW e caimento para SW (Figuras 35a e 35b). À semelhança da região da Cachoeira Encantada, também é possível observar a laminação reliquiar preservada no flanco destas dobras. Acima das dobras normais há a ocorrência de uma estrutura em flor, a qual os planos de fratura alinham-se de acordo com as clivagens de fraturamento no plano axial (Figuras 34c e 34e), gerando uma estrutura com direção NE-SW e caimento para SE, como mostram as Figuras 35a) e 35c).

Uma segunda direção de fraturamento vertical, com direção NW-SE (Figura 35d), foi observada de maneira menos frequente, porém com maior consistência em suas direções. Esta desenvolve-se por fraturamento/clivagem plano axial em mesodobras do tipo *Kinks* que afetam a foliação da rocha (Figura 36). As dobras *Kink* ocorrem em pares (Ramsay, 1967; Fossen, 2016), são cilíndricas, normais, abertas e com caimento do plano de fratura para SW (Figuras 35d, 36c e 36d).

Seguindo o mesmo padrão de ocorrências, foram identificadas fraturas subverticais de direção aproximada W-E. Não foram observados indicadores de falha nestes planos (Figura 35e). Essas fraturas apresentam uma constante variação entre as direções ENE-WSW e WNW-ESE. As fraturas de direção WNW-ESE apresentam um ângulo de caimento entre 55° e 40°, enquanto as fraturas com *trend* possuem um caimento acima de 75°.

Ainda, uma direção “inérita” de fraturas sub-horizontais de persistência considerável foi medida ao longo dos afloramentos. São interpretadas como juntas de alívio de pressão (Figuras 36 e 37). Essas estruturas não foram definidas como parte de um evento deformacional, mas estão mais associadas com as quebras nos planos de fraqueza da rocha. Por apresentar baixo ângulo de caimento, estas juntas podem apresentar um plano de fratura sem caimento, contudo, há uma vergência para rompimentos em fraturas com caimento para W (Figura 35f).

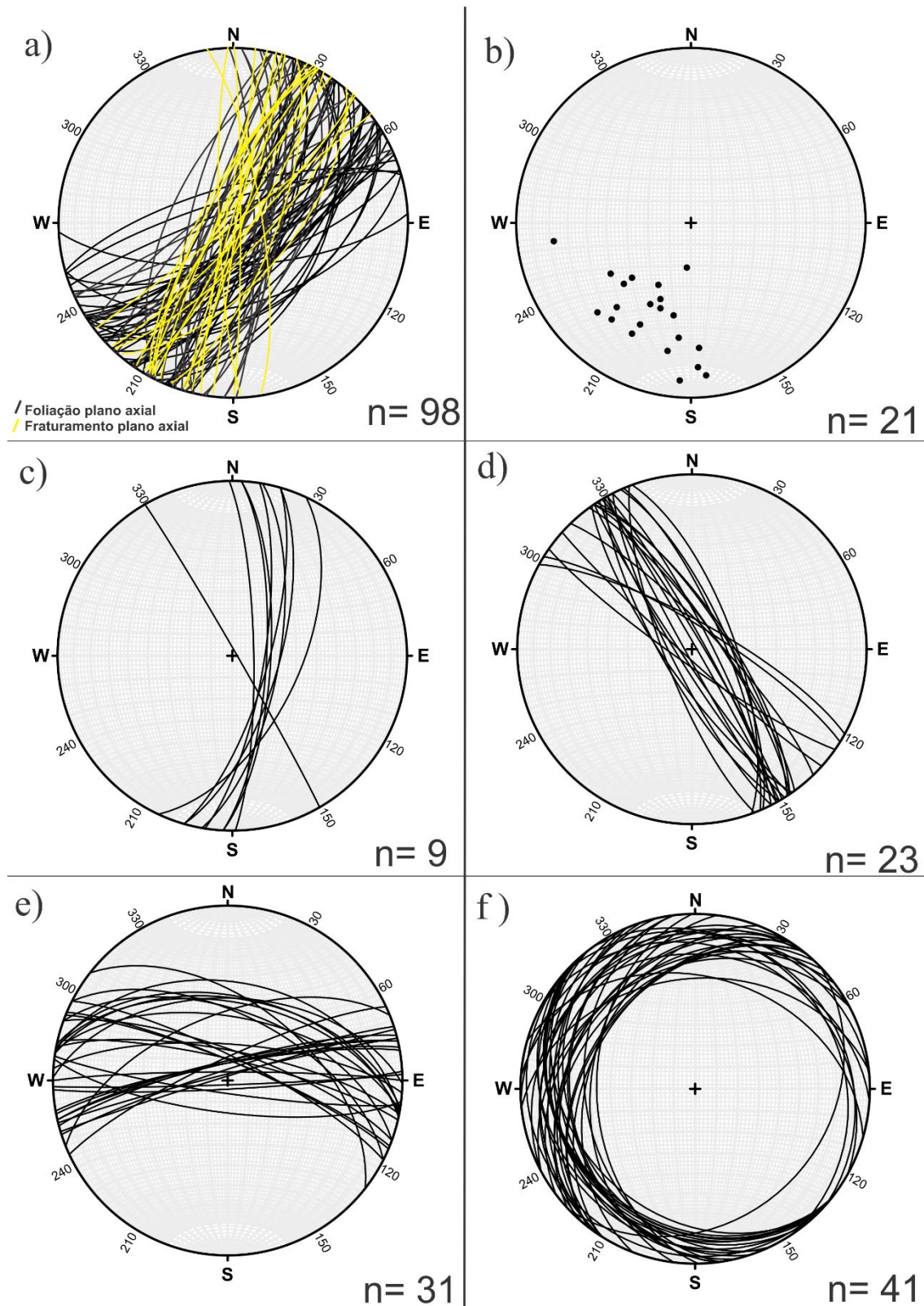


Figura 35: Estereonetes de estruturas da região da Barra do Areia

a) Estruturas NE-SW: Foliação plano axial S_3 em preto e fraturamento plano axial S_3 em amarelo; b) Eixo de dobra *Chevron* S_3 com caimento para SW; c) Estrutura em flor do ponto PTJ09 com fraturamento plano axial caído para SE; d) Fraturas F4 NW-SE subverticais; e) Fraturas F5 E-W; f) Juntas de alívio de pressão de baixo ângulo com caimento para W;

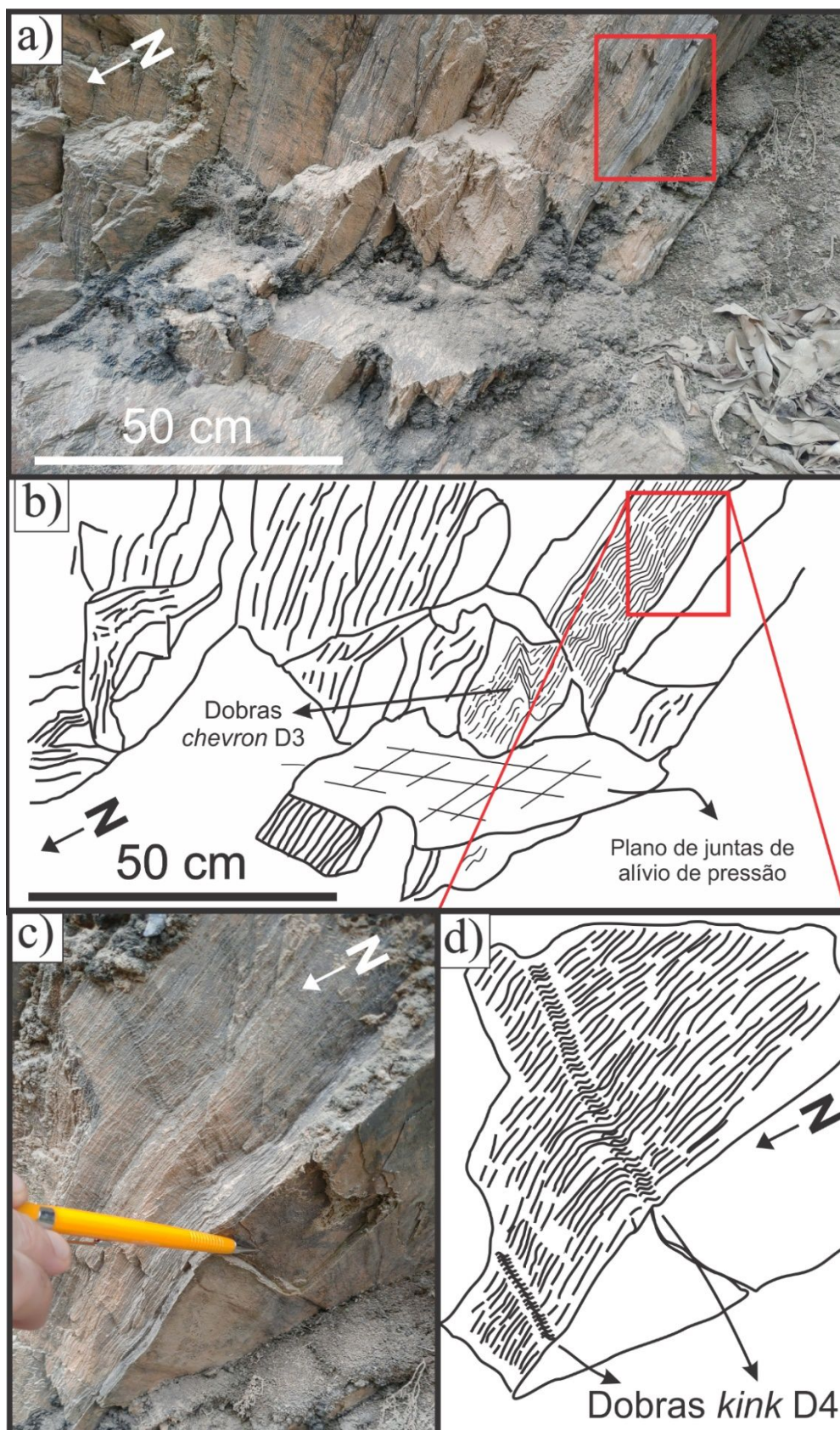


Figura 36: Afloramentos da região da Barra do Areia

a) Afloramento exibindo estruturas metamórficas; b) Croqui da *Figura 35a* ressaltando as estruturas de dobras *Chevron D₃* e *Kink D₄*, acima de um plano de fratura de juntas de alívio de pressão; c) Zoom do afloramento para as dobras *Kink*; d) Croqui esquemático da *Figura 35c* com realce nas dobras *Kink*.

Devido a interseção entre as direções de fraturamento NE-SW, NW-SE e as juntas de alívio serem ortogonais entre si, ocorre a formação de padrão regular de lajedos com pontas em cunha nos afloramentos desta região (Figura 37). Estas feições apresentam um corte tridimensional das estruturas, o que indica a direção de caimento de cada uma.

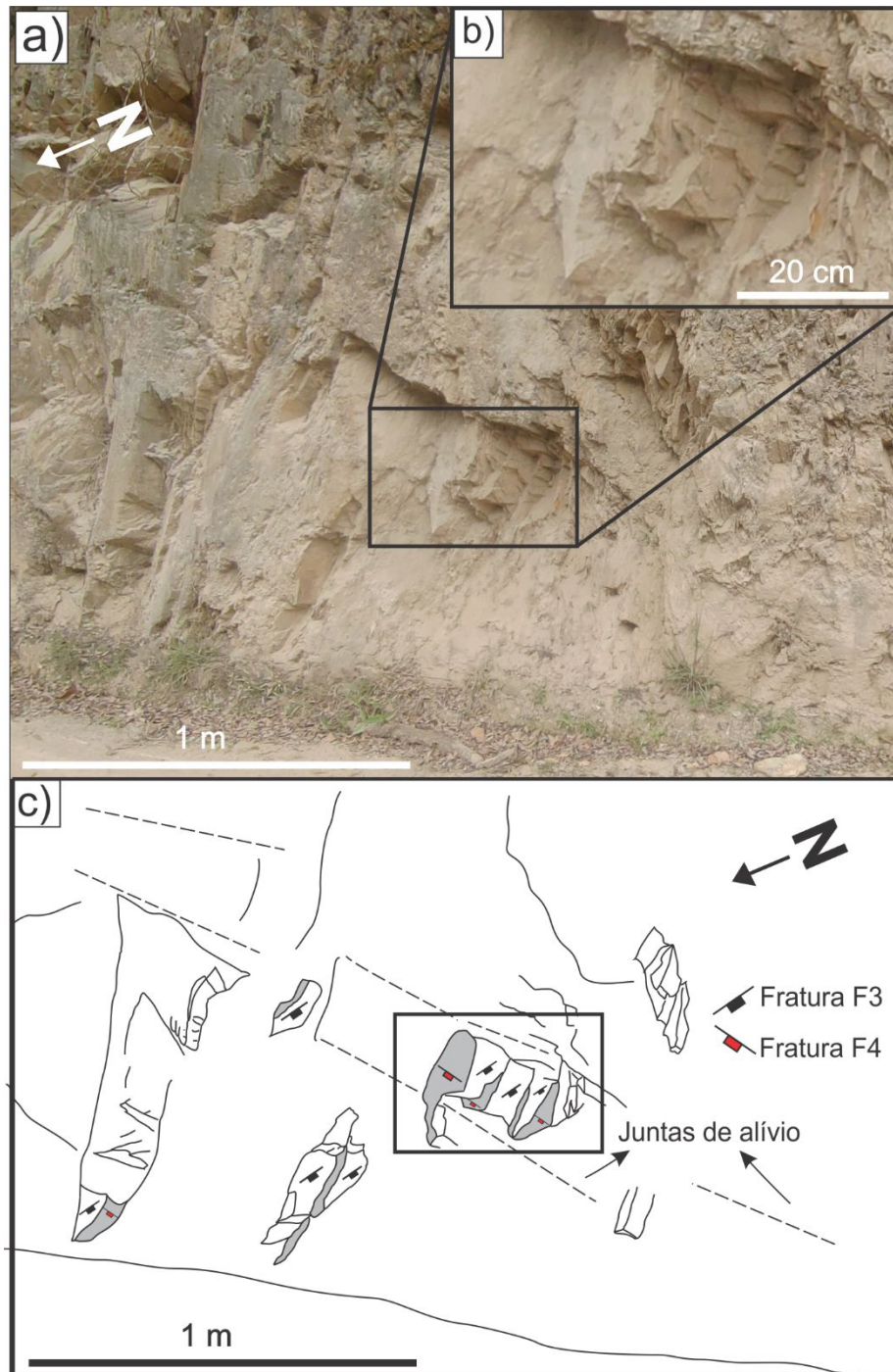


Figura 37: Formação de lajedos e pontas de cunha com corte tridimensional
a) Afloramento de filitos com grafita, exibindo rochas com aspecto de "cunha";
b) Zoom nas feições de cunha onde se cruzam ortogonalmente as fraturas F3 e F4;
c) Croqui da Figura 36a, com realce nas duas superfícies perpendiculares entre si devido ao cruzamento das fraturas S3 e S4, junto ao acamamento de juntas de alívio de pressão, ocorrência no PTJ15.

7.3 ESTUDO COMPARATIVO DE MACRO E MESOESTRUTURAS

Na região da Cachoeira Encantada as morfoestruturas mais evidentes estão expressas em lineamentos, positivos de direção N40-50E (fig. 24a) apresentam direção semelhante às estruturas S3 de foliação plano axial e fraturamento plano axial de alto ângulo (fig. 29a), juntamente com os eixos de dobras D3 (fig. 29b). As mesoestruturas medidas para NW-SE (fig. 29c), interpretadas como fraturas, apresentam mesma direção de propagação dos lineamentos positivos com direção N50-40W (fig. 24a) e lineamentos negativos de direção N40W (fig. 24b). Já as estruturas de direções de cunho E-W ((fig. 29d e 29e), apesar de representadas em menor frequência, condizem com os lineamentos positivos e negativos (fig. 24) que vertem para o mesmo sentido.

Na região da Barra do Areia, as mesoestruturas categorizadas como foliações planos axiais (fig. 35a), fraturamento dos planos axiais (fig. 35a) e estruturas em flor (fig. 35c), junto aos eixos de dobra (fig. 35b), apresentam direção preferencial para NE-SW, pareando com os lineamentos positivos vertendo para N30-40E (fig. 25a) e negativos, de direção N50E (figura 25b). As mesoestruturas de direção NW-SE, caracterizadas em fraturas e eventualmente em dobras *kink* (fig. 35d), apresentam direção preferencial semelhante aos lineamentos positivos (N30W) (fig. 25a) e negativos (N20W) (fig. 25b) da região. Diferente da região da Cachoeira Encantada, não há ocorrências de lineamentos estruturais com direção para E-W, entretanto ocorrem fraturas nas mesoestruturas com esta direção preferencial (fig. 35e). Ocorrem na região da barra da areia estruturas inéditas, interpretadas como juntas de alívio de pressão, que apresentam fraturas de baixo ângulo (fig. 35f), com vergência para caimento em E nos afloramentos expostos da região.

8 CONCLUSÕES

A ocorrência de diferentes estruturas em cada perfil indica uma variação de esforços ao longo da região. As foliações plano-axiais S_3 foram a estrutura de maior frequência, causando grande influência para os lineamentos positivos com direção NE-SW, representada principalmente pelos topos de morros de topo aguçado. A região da Barra do Areia apresentou maior ocorrência de dobras em *Chevron* D_3 , fraturamento plano-axial S_3 e estruturas em flor, o que pode ser um indicativo que esta área estava mais próxima da zona dúctil durante a fase de deformação D_3 . Portanto, pode-se associar lineamentos positivos para NE-SW de ambas as áreas com as foliações S_3 , enquanto os fraturamentos F_3 estão relacionados com os lineamentos negativos de mesma direção.

Os planos de fratura subvertical F_4 apresentam a mesma direção preferencial NW-SE que os lineamentos negativos e alguns lineamentos positivos, o que indica relacionar as estruturas da fase deformacional S_4 com a ocorrência preferencial de vales e drenagens, mas que há alguns lineamentos positivos definidos pela direção NW-SE destas fraturas. Da mesma forma, as dobras *Kink* estão relacionadas a um evento de cisalhamento transpressivo, outro indicativo de formação de planos de falhas na fase D_4 .

Os lineamentos negativos para E-W condizem com a direção das fraturas E-W, que, na Cachoeira Encantada apresenta indicadores cinemáticos de uma falha normal. Estas fraturas ainda não possuem uma fase de deformação definida, entretanto, podem também ser a reativação de um plano de fraqueza de fases deformacionais pretéritas. Por último, as estruturas caracterizadas como juntas de alívio de pressão (planos de fratura de baixo ângulo) permanecem sem uma fase de deformação associada

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, classifica-se a região de estudo como um Modelado de Dissecção Estrutural com morros aguçados, em que apresenta densidade fina de drenagens e aprofundamento das incisões muito forte, tornando-o de classe DEa45.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se então a evidência de um forte grau de controle das mesoestruturas sobre as macroestruturas, uma vez que as mesoestruturas definem os planos preferenciais de fraqueza, que moldam o relevo com morros com topos aguçados e sulcos de drenagens com direções preferenciais de acordo com o posicionamento delas. As direções de corte paralelas a NE-SW e NW-SE são direções que apresentam estruturas rúpteis de alto ângulo que podem afetar a estabilidade de encostas rochosas conforme aumenta a declividade. Assim, ressalta-se a necessidade de estudos de cunho geológico e geotécnico para a região, uma vez que a identificação de planos de fratura de alto ângulo pode ajudar a desenvolver o trabalho de contenção de rompimento de encostas.

10 REFERÊNCIAS

- Ab'Sáber, A. N. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. Vol. 1. Ateliê editorial, 2003.
- Allmendinger, R. W. (2024). Rick Allmendinger's stuff: Stereonet 11. Disponível em: (<https://www.rickallmendinger.net/stereonet>). Acesso em [29/07/2024]
- Almeida, F. F. M. D. (1951). Contribuição à geomorfologia da região oriental de Santa Catarina. *Boletim Paulista de Geografia*, (10), 3-32.
- Almeida, F. F. M. D. (1967). *Origem e evolução da plataforma brasileira*. DNPM.
- Almeida, F. F. M. D. (1977). O cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de geociências*, 7(4), 349-364.
- Almeida, F. F. M. D., Hasui, Y., de Brito Neves, B. B., & Fuck, R. A. (1981). Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17(1-2), 1-29.
- ANA, (Agência Nacional de Águas). Cursos d'Água. [S.l.]: SNIRH, [2012]. Disponível em: (<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/5dd8982f-afe3-4bf0-88d1-73fd53bc196c>). Acesso em: [20/10/2023].
- Andrades Filho, C. D. O., & Fonseca, L. M. G. (2009). Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM. *XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 3151-3158. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais; AMBIENTAIS, Estudos. Manual técnico de geomorfologia. 2009.
- Basei, M. A. S. (1985). *O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Basei, M. A. S., Siga Júnior, O., & Vasconcellos, J. P. B. C. (1987). Geometria e cronologia dos dobramentos superpostos no Grupo Brusque, SC. *Atas*.
- Basei, M. A. S. (1990). Grupo Brusque: uma evolução monocíclica. *Anais*, 6, 2649-57.
- Basei, M., Siga, O., Masquelin, H., Harara, O., Reis Neto, J., & Preciozzi, F. (2000). The Dom Feliciano belt (Brazil-Uruguay) and its fore land (Rio de la Plata Craton):

framework, tectonic evolution and correlations with similar terranes of southwestern Africa.

Basei, M. A. S., Pacheco, A., Nutman, A., Dunyi, L., & Sato, K. (2010a). *Polycyclic evolution of the Camboriu Complex, Northeastern Santa Catarina State, South Brazil. In Proceedings.*

Basei, M. A. S., Neves, B. B. B., Junior, O. S., Babinski, M., Pimentel, M. M., Tassinari, C. C. G., ... & Cordani, U. G. (2010b). Contribution of SHRIMP U–Pb zircon geochronology to unravelling the evolution of Brazilian Neoproterozoic fold belts. *Precambrian Research*, 183(1), 112-144.

Basei, M. A. S., Pacheco, A., Nutman, A., Dunyi, L., & Sato, K. (2010c). Polycyclic evolution of the Camboriu Complex, Northeastern Santa Catarina State, South Brazil. *In Proceedings.*

Basei, M. A. S., Neto, M. C., Castro, N. D., Nutman, A. P., Wemmer, K., Yamamoto, M. T., ... & Passarelli, C. R. (2011). Tectonic evolution of the Brusque Group, Dom Feliciano belt, Santa Catarina, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 32(4), 324-350.

Basei, M. A. S., Frimmel, H. E., Campos Neto, M. D. C., de Araujo, C. E. G., de Castro, N. A., & Passarelli, C. R. (2018). The tectonic history of the southern Adamastor Ocean based on a correlation of the Kaoko and Dom Feliciano belts. *Geology of Southwest Gondwana*, 63-85.

Basei, M. A. S., Passarelli, C. R., Hueck, M., Siga Júnior, O., Fernandes, M. Q., & Castro, N. (2020). Geocronologia e Tectônica do Grupo Brusque - Cinturão Dom Feliciano. In *Geocronologia e evolução tectônica do Continente Sul-Americano: a contribuição de Umberto Giuseppe Cordani* (p. 305-333).

Caldasso, A. L. D. S., Krebs, A. S. J., Siçva, M. A. S. D., Camozzato, E., & Ramgrab, G. E. (1995). *Botuverá: folha SG. 22-ZDI-2*. CPRM.

Campos, R. S. D., Philipp, R. P., Massonne, H. J., Chemale Jr, F., & Theye, T. (2012). Petrology and isotope geology of mafic to ultramafic metavolcanic rocks of the Brusque Metamorphic Complex, southern Brazil. *International Geology Review*, 54(6), 686-713.

Campos, R. S. D., & Philipp, R. P. (2021). O complexo Brusque e o cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina. *Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2021. p. 61-76.*

Campos, R. S. D., & Philipp, R. P. (2021). O complexo Brusque e o cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina. *Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2021. p. 61-76.*

Catarina, SDS-SC. Secretaria do Desenvolvimento Sustentável de Santa. <https://sigsc.sc.gov.br/download>. Acesso em [20/10/2023]

Cosgrove, J. W. (1976). The formation of crenulation cleavage. *Journal of the Geological Society*, 132(2), 155-178.

Davis, G. H., Reynolds, S. J., & Kluth, C. F. (1996). Structural geology of rocks and regions, Jhon Wiley & Sons. Inc. New York.

do Brasil, CPRM-Serviço Geológico. "Mapa geológico do estado de Santa Catarina." (2014).

Féres¹, W. M. L. (2017). Lineamentos estruturais da porção sul da Serra do Caparaó, ES/MG.

Fernandes, L. A. D., Tommasi, A., & Porcher, C. C. (1992). Deformation patterns in the southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. *Journal of South American Earth Sciences*, 5(1), 77-96.

Ferreira, A. C., & Almeida, T. I. R. D. (1989). Tectônica transcorrente e imagens TM-Landsat aplicadas à prospecção de fluorita e barita em Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geociências*, 19(2), 207-223.

Fossen, H. (2012). Geologia estrutural. *São Paulo: Oficina dos textos*. Tradução de 204-205.

Gregory, A. F., & Moore, H.D. (1975). *The role of remote sensing in mineral exploration. Especial reference to ERTS-1.*

Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A. C., Campos Neto, M. D. C., Silva, L. D., Trouw, R. A. J., & Janasi, V. D. A. (2004). Província mantiqueira. *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, 203-235.

Hills, E. S. (1963). *Elements of structural geology*. Chapman and Hall LTD & Science paperbacks.

Hobbs, W. H. (1904). Lineaments of the Atlantic border region. *Bulletin of the Geological Society of America*, 15(1), 483-506.

Howarth, R. J. (1996). History of the stereographic projection and its early use in geology. *Terra Nova*, 8(6), 499-513.

Lisle, R. J., & Leyshon, P. R. (2004). Técnicas de projeção estereográfica para geólogos e engenheiros civis. Cambridge University Press, 2004. Tradução de Fernando Jacques Althoff. Editora UFSC, 2018.

Liu, C. C. (1984). Análise estrutural de lineamentos em imagens de sensoramento remoto: aplicação ao Estado do Rio de Janeiro.

O'leary, D. W., Friedman, J. D., & Pohn, H. A. (1976). Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin*, 87(10), 1463-1469.

Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K., & Passchier, C. W. (2011). The transpressional connection between Dom Feliciano and Kaoko belts at 580–550 Ma. *International Journal of Earth Sciences*, 100, 379-390.

Passarelli, C. R., Basei, M. A. S., & Campos Neto, M. D. C. (1993). Caracterização geométrica e cinemática da Zona de Cisalhamento Major Gercino e sua importância na compartimentação dos terrenos Pré-Cambrianos de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geociências*, 23(3), 234-41.

Passarelli, C. R., Basei, M. A., Wemmer, K., Siga, O., & Oyhantcabal, P. (2011). Major shear zones of southern Brazil and Uruguay: escape tectonics in the eastern border of Rio de La plata and Paranapanema cratons during the Western Gondwana amalgamation. *International Journal of Earth Sciences*, 100, 391-414.

Pelech, A. S., de Almeida Nunes, B. T., Gatto, L. C. S., & Botelho, R. G. M. (2019). Considerações sobre o mapeamento geomorfológico do território brasileiro: algumas abordagens na representação regional. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 20(3).

Percival, J. J., Konopásek, J., Eiesland, R., Sláma, J., de Campos, R. S., Battisti, M. A., & de Fátima Bitencourt, M. (2021). Pre-orogenic connection of the foreland domains of

the Kaoko–Dom Feliciano–Gariep orogenic system. *Precambrian Research*, 354, 106060.

Percival, J. J., Konopásek, J., Anczkiewicz, R., Ganerød, M., Sláma, J., de Campos, R. S., & Bitencourt, M. D. F. (2022). Tectono-Metamorphic Evolution of the Northern Dom Feliciano Belt Foreland, Santa Catarina, Brazil: Implications for Models of Subduction-Driven Orogenesis. *Tectonics*, 41(2), e2021TC007014.

Philipp, R. P., & Machado, R. (2001). Suítes graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: petrografia, tectônica e aspectos petrogenéticos. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(3), 257-266.

Philipp, R. P., Mallmann, G., de Fátima Bitencourt, M., de Souza, E. R., de Souza, M. M., de Liz, J. D., ... & Prado, M. (2004). Caracterização litológica e evolução metamórfica da porção leste do Complexo Metamórfico Brusque, Santa Catarina. *Brazilian Journal of Geology*, 34(1), 21-34.

Ramsay J. G. (1967) Folding and fracturing of rocks. McGrawHill, New York, 568pp.

Ramsay, J. G., Huber, M. I., & Lisle, R. J. (1983). *The techniques of modern structural geology: Folds and fractures* (Vol. 2). Academic press.

Ramsay, J. G., & Huber, M. I. (1987). Modern structural geology. *Folds and Fractures*, 2, 309-700.

Roldan, L. F., Machado, R., Steiner, S. dos S., & Warren, L. V. (2010). Análise de lineamentos estruturais no Domo de Lages (SC) com uso de imagens de satélite e mapas de relevo sombreado. *Geologia USP. Série Científica*, 10(2), 57-72.

Saalmann, K., Gerdes, A., Lahaye, Y., Hartmann, L. A., Remus, M. V. D., & Läufer, A. (2011). Multiple accretion at the eastern margin of the Rio de la Plata craton: the prolonged Brasiliano orogeny in southernmost Brazil. *International Journal of Earth Sciences*, 100, 355-378.

Sander, B., & Sander, B. (1930). Umformung und Umwandlung der Gesteine. *Gefügekunde der Gesteine: Mit Besonderer Berücksichtigung der Tektonite*, 113-118.

Sander, A. (1992). Petrologia e Litoquímica de uma parcela da Seqüência Vulcano-Sedimentar do Complexo Metamórfico Brusque na região do Ribeirão do Ouro, SC. *Phd Thesys, Universidade Federal do Rio Grande do Sul*.

Şengör, A. C. (1991). Plate tectonics and orogenic research after 25 years: Synopsis of a Tethyan perspective. *Tectonophysics*, 187(1-3), 315-344.

Schmidt, W. (1925). *Die Stereographische Projektion und ihre Anwendung in der Geologie. Geologische Rundschau*, 16, 161-176

Silva, L. C. D., McNaughton, N. J., Armstrong, R., Hartmann, L. A., & Fletcher, I. R. (2005). The Neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon-based U–Pb geochronologic subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens. *Precambrian Research*, 136(3-4), 203-240.

Souza, E. R. D., Morales, L. F. G., & Philipp, R. P. (2000). Evolução estrutural e metamórfica do Complexo Metamórfico Brusque na folha Camboriú (SG-22-2-D-II-2/III-1), Santa Catarina. *Salão de Iniciação Científica (12.: 2000: Porto Alegre). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2000*.

Valeriano, M. D. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA.

Wulff, G. (1902). 1. Untersuchungen im Gebiete der optischen Eigenschaften isomorpher Krystalle. *Zeitschrift für Kristallographie-Crystalline Materials*, 36(1-6), 1-28.