

João Pedro de Souza Oliveira

**Análise Estrutural de Rochas do Grupo Mount
Barren no *Fitzgerald River National Park* – Austrália
Ocidental**



Trabalho Final de Curso

(Geologia)

Rio de Janeiro
Dezembro/2015

João Pedro de Souza Oliveira

Análise Estrutural de Rochas do Grupo Mount Barren no *Fitzgerald River National Park* – Austrália Ocidental

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores: Renata da Silva Schmitt e
Eric Tohver

OLIVEIRA, João Pedro de Souza

Análise Estrutural de Rochas do Mount Barren Group no *Fitzgerald River National Park* - Austrália Ocidental / João Pedro de Souza Oliveira - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2015.

XV, 111 p.: il.; 30 cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2015.

Orientadores: Renata da Silva Schmitt e Eric Tohver

1. Geologia Estrutural. 2. Orógeno Albany-Fraser. 3. Grupo Mount Barren – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Renata da Silva Schmitt. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Análise Estrutural de Rochas do Mount Barren Group no Fitzgerald River National Park - Austrália Ocidental

João Pedro de Souza Oliveira

Análise Estrutural de Rochas do Grupo Mount Barren no *Fitzgerald River National Park* – Austrália Ocidental

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores: Renata da Silva Schmitt e Eric Tohver

Aprovada em: __/__/____

Por:

Orientadora: Renata da Silva Schmitt (UFRJ)

Rudolph Allard Johannes Trouw (UFRJ)

Everton Marques Bongiolo (UFRJ)

Agradecimentos

Agradeço a minha orientadora Renata Schmitt, pelos conhecimentos, apoio e confiança passados durante essa etapa, e especialmente pelo incentivo a colaborar ao conhecimento geológico.

Agradeço também aos cientistas da University of Western Australia: A geóloga e doutoranda Elisabeth Scibiorski, pelo apoio durante e após o campo; Meu co-orientador Eric Tohver, pela paciência, apoio incondicional para o projeto, e por, juntamente à professora Myra Keep, me posto em contato com a complexa e bela geologia do sudoeste australiano.

Obrigado aos meus companheiros de campo e aventuras Eric Bernard e Vitor Garcia, colaboradores fundamentais para o projeto, e, sobretudo, meus amigos.

Agradeço ao projeto “Revisão do Mapa Geológico do Gondwana” (13850-Cooperação CENPES/PETROBRAS- UFRJ) e seus pesquisadores, pela disponibilidade do laboratório e ajuda nos momentos que precisei.

Agradeço ao Cnpq por financiar o projeto e meus estudos na Austrália, uma experiência e oportunidade inesquecível, que me concedeu, além dos valiosos conhecimentos em geologia, uma família de amigos que guardarei para sempre.

Obrigado aos meus professores, colegas e amigos da UFRJ, que me apoiaram durante todos esses anos e acompanharam e contribuíram para meu crescimento profissional e pessoal, em especial os estudantes do Diretório Acadêmico Joel Valença, que contagiam com sua paixão pela geologia.

Agradeço finalmente a meus pais e irmã, meus guias, e companheiros de vida e aventuras, sejam onde for.

Sumário

Resumo	i
Abstract	iii
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	xv
1 – Introdução.....	1
1.1 – Objetivos.....	2
1.2 – Localização.....	2
2 – Geologia Regional.....	4
2.1 – O Continente Australiano.....	4
2.2 – Orógeno Albany-Fraser.....	7
2.2.1 – 1ª fase tectonotermal.....	12
2.2.2 – 2ª fase tectonotermal.....	15
2.3 – Bacia Barren e o Grupo Mount Barren.....	16
2.3.1 – Trabalhos prévios em geologia estrutural na área.....	19
2.3.2 – Geologia estrutural do Grupo Mount Barren.....	23
2.3.3 – Metamorfismo no Grupo Mount Barren.....	30
3 – Material e Métodos.....	31
4 – Resultados.....	33
4.1- Descrição das Unidades Geológicas.....	33
4.1.1 – Quartzito Kundip.....	33
4.1.2 – Xisto Kybulup.....	35
4.1.3 – Cobertura sedimentar fanerozóica.....	38
4.2 – Geologia Estrutural.....	40
4.2.1 – Estruturas Primárias.....	40
4.2.1.1 – Foliação S0.....	40

4.2.2 – Estruturas Secundárias.....	40
4.2.2.1 - Primeira fase de deformação – D1.....	40
- Dobra F1.....	41
- Foliação S1.....	56
4.2.2.2 - Segunda fase de deformação – D2.....	58
- Dobra F2.....	58
- Foliação S2.....	79
4.2.2.3 - Terceira fase de deformação – D3.....	85
- Dobra F3.....	85
- Foliação S3.....	89
4.2.3 – Outras Estruturas.....	91
4.2.3.1 – Relacionadas à Orogenia Albany-Fraser.....	91
4.2.3.2 – Não relacionadas à Orogenia Albany-Fraser.....	93
5 – Discussão.....	94
5.1 – Padrão de interferência D ₁ -D ₂ -D ₃	94
5.2 – Variações geométricas.....	96
5.3 – Mecanismos de dobramento e regimes de tensão.....	97
5.4 – Correlação das fases deformacionais com trabalhos anteriores.....	98
6 – Considerações Finais e Recomendações.....	104
7 – Referências Bibliográficas.....	105

Resumo

De Souza Oliveira, João Pedro. **Análise Estrutural de Rochas do Mount Barren Group no *Fitzgerald River National Park* - Austrália Ocidental**. 2015. XV, 111p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2015.

Na costa sudoeste australiana, a cerca de 390 km da metrópole Perth, existe uma faixa móvel produto da colagem de um antigo cráton hoje na Antártica com o cráton arqueano Yilgarn (hoje no oeste da Austrália), o orógeno Albany-Fraser. Esse cinturão móvel tem idade Paleo a Mesoproterozóica e está relacionado ao amalgamento do supercontinente Rodínia. O Grupo Mount Barren, alvo deste trabalho, é uma unidade litoestratigráfica da bacia Barren, que foi depositada e empurrada sobre o cráton arqueano, e hoje está em sua maior parte erodida, com limitadas regiões de afloramento contínuo. Na literatura, o grupo Mount Barren faz parte de um cinturão de dobramentos associado a empurrões, de alinhamento SW-NE. Os sedimentos teriam sido empurrados para NW, sobre o cráton Yilgarn, mas o rejeito desse deslocamento é desconhecido. Este trabalho tem como objetivo estudar as estruturas deformacionais produzidas nos eventos tectônicos do Albany-Fraser, a fim de entender melhor a evolução do cinturão de dobramentos. Na área de estudos são reconhecidas 3 fases de deformação que produziram dois tipos principais de estruturas cada uma, além de outras estruturas, principalmente rúpteis, que não foram situadas na história evolutiva das deformações. A primeira fase de deformação identificada produziu dobras F1 cerradas a isoclinais com eixo caindo moderadamente para SW, e a clivagem

espaçada plano axial S1. Essa fase dobrou a superfície de acamamento sedimentar S0, e está relacionada a regimes de tectônica tangencial, com predominância de cisalhamento simples. A segunda fase de deformação gerou as estruturas mais evidentes e difusas na área de estudos, as dobras F2, fechadas a apertadas, com plano axial vertical e eixo coplanar ao de F1, com caimento em ângulo baixo para SW. A clivagem S2 também é produto da segunda fase, ocorre como uma clivagem contínua nas camadas de competência alta e como uma clivagem de crenulação gradacional nas de competência baixa. As estruturas formadas na segunda fase foram formadas em um regime de cisalhamento puro, em uma compressão normal ao plano axial de F2, SE-NW. As dobras F3 e a clivagem S3 são as estruturas menos expressivas, e foram geradas na terceira fase de deformação. As dobras F3 são abertas e têm superfície axial sub vertical orientado SE-NW. S3 consiste em uma clivagem de crenulação gradacional fraca de zonas espaçadas. As estruturas deformacionais mapeadas são correlacionadas às identificadas por Wetherley (1998) em sua tese de doutorado. Dos 9 dobramentos e clivagens descritos pelo autor, 6 equivalem aos deste trabalho, e foram compilados em uma tabela que resume as deformações na área mapeadas pelos diferentes cientistas ao longo dos anos.

Abstract

De Souza Oliveira, João Pedro. **Structural Analysis of Mount Barren Group Rocks in the Fitzgerald River National Park – Western Australia**. 2015. XV, 111p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2015.

Along the southwestern coast of Australia, around 390km from the city Perth, lies a mobile belt product of the collision between the Archean Yilgarn craton and Antarctica, known as the Albany-Fraser orogen. It dates from the Paleo to Mesoproterozoic, and is related to the amalgamation of supercontinent Rodinia. The Mount Barren Group, target of this study, is a unit of the Barren Basin, which was deposited and thrust over the Archean craton. Today it is mostly eroded, thus very hard to map in regional scales because of the lack of continuous outcrop. Most studies agree that the Mount Barren Group is part of a SW-NE aligned fold and thrust belt, with a NW directed displacement over the Yilgarn craton, but total reject is unknown. This study has the objective of investigating folds and cleavages associated with the tectonic events that developed the Albany-Fraser, in order to better understand the evolution of the mobile belts deformation history. The analysis of the rocks in the area revealed 3 different deformation phases, each with two associated structures, plus other (mainly brittle) structures that were not situated within the deformation history. The first deformation phase produced tight to isoclinal F1 folds, with SW moderately plunging axis, and the axial planar S1 spaced cleavage. F1 folds the sedimentary bedding plane S0, and is related to tangential tectonic regimes, with predominance of simple shear. The second

phase formed the most pervasive and evident structures in the study area, the upright, mainly close to tight F2 folds, which have its axis coplanar to F1's, plunging SW in a low angle. The S2 cleavage is also a product of phase 2, occurs as a continuous cleavage in competent rocks and as a gradational crenulation cleavage in less competent rocks. Structures generating in the second phase were formed under a pure shear dominated compressive regime, oriented SE-NW, normal to the F2 axial surface. F3 folds and S3 cleavage are the weakest developed structures that appear in the area, and are consequence of the third deformation phase. F3 folds are open with a sub vertical axial surface oriented SE-NW. S3 cleavage is evident as a gradational crenulation cleavage with spaced domains. The deformations identified in this study are correlated with the ones identified in the PhD thesis by Wetherley (1998). Six of the Nine folds and cleavages identified by the author were recognized in this study, all compiled into a table that correlates structures mapped by all authors in the area.

Lista de figuras:

- Figura 1.1** Mapa esquemático de localização da área de estudo. Estão representados os seguintes elementos: As cidades de Perth, Hopetoun e Bremer Bay; O Fitzgerald River National Park (Polígono verde); As principais rodovias da região (Linhas amarelas). p.3
- Figura 2.1** Mapa geotectônico simplificado da Austrália (Cawood & Korsch, 2008). O mapa mostra as unidades litoestratigráficas dos éons Arqueano, Proterozóico e Fanerozóico, assim como os principais elementos tectonoestruturais no WAC, NAC e SAC. Abreviações: AF – Avoca Fault; DF – Darling Fault; MF – Moyston Fault; THZ – Torrens Hinge Zone. p.5
- Figura 2.2** Linha do tempo mostrando as idades dos crátons que constituem o continente australiano, seus momentos de quebra, união, e sua posição temporal nos ciclos dos supercontinentes (Cawood & Karsch, 2008). Vale ressaltar que no diagrama não são representados os outros crátons que eram unidos aos acima, apenas os que se encontram em terreno australiano. Abreviações: WA –West Australian Craton; p-Aust – proto-Australian craton; WA+NA –West Australian e North Australian cratons; Maw – Mawson Craton; Great Southern Cont – Great Southern Continent; Kenora – Supercontinente Kenorlândia; G+P – Gondwana e Pangea. p.7
- Figura 2.3** Mapa por Spaggiari et al. (2009) com idades dos elementos crustais da porção leste de Gondwana (Modificado de Fitzsimons, 2003; Tyler, 2005; e Geoscience Australia, 1998). Cores de tons fortes representam regiões com afloramento, tons fracos regiões inferidas. Abreviações: AG, Terre Adélie– King George V Land; BH, Bungar Hills; CC, Coompana Complex (Encoberto pelas bacias Officer e Eucla); CCr, Curnamona Craton; DG, região Denman Glacier; DML, Dronning Maud Land; M-F-W, Complexos Madura, Forrest, e Waigen (Indivisos; Encobertos pelas bacias Gunbarrel, Officer e Eucla); MR, Miller Range; PB, Prydz Bay; SPCM, southern Prince Charles Mountains; SR, Shackleton Range; WI, Windmill Islands. p.9

- Figura 2.4** Mapa geológico simplificado pré-mesozóico do Orógeno Albany Fraser e subdivisões geotectônicas do Yilgarn Craton como proposto por Spaggiari et al. (2009), modificado de Spaggiari et al. (2014a). A localização aproximada do Fitzgerald River National Park está destacada pela estrela amarela. Abreviações: SRF = Stirling Range Formation; MBG = Mount Barren Group; WF = Woodline Formation; MRF = Mount Ragged Formation; CG = Cardup Group; LP = Leeuwin Province; MC = Mullingarra Complex; MG = Moora Group; AFO = Albany–Fraser Orogen; MP = Musgrave Province; PO = Paterson Orogen; N = Northhampton Province. p.11
- Figura 2.5** Diagrama tempo-espaco mostrando as idades dos eventos tectônicos nas províncias do orógeno e na Madura Province. Modificado de Spaggiari et al. (2014). Abreviações: FD = Fly Dam Formation; GCG = Gwynne Creek Gneiss; MM = Malcolm Metamorphics; MBG = Mount Barren Group; MRF = Mount Ragged Formation; SRF = Stirling Range Formation; SDF = Snowys Dam Formation; SG = Salisbury Gneiss; WF = Woodline Formation. p.14
- Figura 2.6a** Projeção estereográfica (rede de Schmidt) com pólos de S4 plotados (esquerda), isolinhas dos dados (direita) (Wetherley, 1998). p.26
- Figura 2.6b** Projeção estereográfica (rede de Schmidt) com eixos de F4 plotados (esquerda), isolinhas dos dados (direita) (Wetherley, 1998). p.26
- Figura 2.7** Projeção estereográfica (rede de Schmidt) com eixos de F4, pólos do plano axial de F4, e pólos de S0 plotados. Na imagem é mostrado também o eixo gerado a partir da média estatística dos dados coletados em campo (Wetherley, 1998). p.28
- Figura 2.8** As seis etapas de desenvolvimento de uma crenulação de clivagem, desenvolvido por Bell & Rubenach (1983). Regiões sombreadas representam grãos de quartzo, linhas representam micas (retirado de Wetherley, 1998). Etapas: A 1 é a clivagem original, sem deformações; As etapas 2 e 3 representam crenulações sobre a clivagem pretérita, não crescimento mineral; Na 4ª etapa já existe a clivagem de crenulação; Na etapa 5 observa-se uma clivagem espaçada, crescimento mineral ocorre p.29

concordante com o plano axial das crenulações (já apagadas pela deformação); Com o prosseguimento do stress, a clivagem espaçada se desenvolve até uma clivagem contínua, aqui mostrada na etapa 6.

Figura 2.9	Projeção estereográfica (rede de Schmidt) com pólos do plano axial (triângulos abertos) e eixo (triângulo preenchido) de F5.	p.30
Figura 4.1a	Veios de cianita dobrados no Quartzito Kundip	p.34
Figura 4.1b	Veios de cianita dobrados e falhadas no Quartzito Kundip. Os afloramentos localizam-se em alturas diferentes na trilha para ascender o East Mount Barren.	p.34
Figuras 4.2a e 4.2b	Estratificação cruzada no Quartzito Kundip. a) Foto original. b) A mesma foto, interpretada, linhas de contorno em preto.	p.35
Figura 4.3	Afloramento do Xisto Kybulup com dobras F2 do tipo Chevron da localidade de Point Ann.	p.36
Figura 4.4	Afloramento do Xisto Kybulup na praia Trigelow. Note as diferenças na coloração e espessura das diferentes camadas. Pode-se ver a intercalação de quartzitos puros e grossos com outros, finos e em camadas mais delgadas. Vale ressaltar que a foto apresenta dobras F2, mas a clivagem S2 não é desenvolvida.	p.37
Figura 4.5	Vista ao longo do afloramento do Xisto Kybulup na localidade de Point Ann. Note na quantidade de veios de quartzo concordantes com a foliação principal.	p.38
Figura 4.6	Conglomerado observado na localidade de Point Ann. Note no arredondamento dos clastos.	p.39
Figura 4.7	Brecha observada na localidade de Point Ann. Em comparação com a figura 4.6, note na diferença em angulosidade e tamanho dos clastos.	p.39
Figura 4.8	Padrão de granodecrescência ascendente observado em conglomerado na localidade de Point Ann.	p.39

- Figura 4.9** Estereograma das medidas do eixo da dobra F1, com isolinhas de densidade. Rede Schmidt de igual área – hemisfério inferior. Eixo médio estatístico: $52 \rightarrow 201^\circ$. $n = 31$. Notar a variação em orientação dos eixos, e a alta densidade de pontos com mergulho em torno dos 40° e 75° . p.42
- Figura 4.10** Dobra F1 em afloramento da praia Trigelow. Pode-se observar a clivagem S1 (destacada em amarelo), truncando o plano de acamamento sedimentar. Essa fotografia é detalhe do afloramento na foto da figura 4.11, apresentada adiante. A foto foi capturada em perspectiva diferente do mesmo afloramento, revelando uma dobra F1 contida no flanco NW da dobra F2. p.44
- Figura 4.11** Dobras F2 em afloramento na praia Trigelow. Note como desse ângulo não é possível ver F1 redobrado. A figura 4.10 é uma foto em perspectiva diferente desse mesmo afloramento, mostrando uma dobra F1 contida no flanco NW da dobra F2 em 4.11. p.46
- Figura 4.12** Fotomosaico de dobras F1 e F3 em afloramento na praia Trigelow. Note no caráter dúctil das estruturas. Nessa foto podem-se observar diferentes geometrias das dobras F1 que estão relacionadas à variação na espessura das camadas e ao material que as compõem. Quando a camada é mais competente, a charneira é arredondada, e quando não é, angulosa/pontiaguda. Observe o dobramento F3 no canto SW do fotomosaico, ela ocorre em quartzitos competentes, e tem geometria de *Kink-Bands*. p.48
- Figura 4.13** Estereograma dos pólos dos planos S0, com isolinhas de densidade. Rede Schmidt de igual área – hemisfério inferior. Eixo estatístico da dobra: $46 \rightarrow 192^\circ$. $n = 145$. A distribuição dos pontos reflete claramente uma dobra de plano axial sub vertical com strike NE-SW, e eixo com caimento moderado para SW, a dobra F1. p.49
- Figura 4.14a** Fotomosaico de imagens Landsat 7 (banco de dados do Google Earth) da região do *East Mount Barren*. Triângulos verdes destacam os pontos visitados durante a etapa de campo. p.50

- Figura 4.14b** Fotomosaico da região do *East Mount Barren*. Triângulos verdes destacam os pontos visitados durante a etapa de campo, linhas amarelas as interpretações. p.50
- Figura 4.14c** Recorte do mapa geológico do *Fitzgerald River National Park* (Anexo I) sobreposto ao Fotomosaico da região do *East Mount Barren*, triângulos verdes destacam os pontos visitados durante a etapa de campo. A legenda é a mesma adotada no mapa compilado: Amarelo – Quartzito Kundip; Laranja – Xisto Kybulup; Verde – Soleira Cowerdup; Vermelho e branco - Brecha. Em vermelho está destacado o traço axial de uma dobra isoclinal F1 sem raiz no Quartzito Kundip, contida dentro da Soleira Cowerdup. Em azul está destacado o traço axial de uma dobra fechada F2 na Soleira Cowerdup. Note a diferença na geometria das duas dobras. p.51
- Figura 4.15** Dobra isoclinal F1 em afloramento às margens da drenagem imediatamente a sudeste da localidade de *Point Ann*. Note a diferença na morfologia da charneira das dobras: A camada de quartzito puro que compõe os flancos mais espessos forma uma charneira arredondada, enquanto o material mais fino assume forma pontiaguda, sem chegar próximo a preservar a espessura original do estrato. A dobra F1 da foto encontra-se contida em um flanco de F2. p.52
- Figura 4.16** Dobra cerrada F1 em afloramento da praia Trigelow. Note a diferença na morfologia das dobras em comparação com a da figura 4.12. Agora a dobra F1 também ocorre em uma camada de quartzito puro, porém não há a intercalação de material mais fino. Nesse caso, as charneiras são arredondadas e as dobras mais abertas. p.54
- Figuras 4.14a e 4.14b** Foto de lâmina delgada de amostra do Xisto Kybulup (Luz transmitida, nicóis paralelos), colhida na localidade de Point Ann. A figura 4.14a é a foto da lâmina, 4.14b, a mesma com interpretação. As manchas de coloração mais clara são impregnações de cola do processo de laminação. Na foto 4.14b estão demarcadas as zonas de clivagem e os micrólitos característicos de clivagens espaçadas zonadas. O corte é paralelo ao p.55

plano axial de F2. Na imagem pode-se observar a clivagem espaçada S0//S1 dobrada F1 em forma de anzol.

- Figuras 4.15a e 4.15b** Foto de lâmina delgada de amostra do Xisto Kybulup (Luz transmitida, nicóis paralelos), colhida na localidade de Point Ann. A figura 4.15a é a foto da lâmina, 4.15b, a mesma com interpretação. Na foto 4.15b estão marcadas as clivagens S0//S1 e S2, o corte da lâmina delgada é perpendicular ao plano axial de F2, vertical. Observa-se um possível dobramento F1 em uma camada delgada de material mais fino sendo dobrado por crenulações S2 relacionadas ao desenvolvimento F2, da segunda fase de dobramento. Vale notar que a geometria das charneiras é heterogênea até em escala microscópica, produzindo os mesmos padrões observados em afloramento: Camadas competentes desenvolvem charneiras mais arredondadas, enquanto as menos competentes, angulosas. p.56
- Figura 4.16** Estereograma dos pólos dos planos S1, com isolinhas de densidade. Rede Schmidt de igual área – hemisfério inferior. Eixo aproximado da dobra: 32→216°. n = 120. A distribuição dos pólos evidencia uma dobra de superfície axial sub vertical de strike NE-SW, e caimento do eixo em ângulo baixo a moderado para SW, a dobra F2. p.57
- Figuras 4.17a e 4.17b** Foto de lâmina delgada de amostra do Xisto Kybulup (Luz transmitida, nicóis paralelos), colhida na localidade de Point Ann. A figura 4.17a é a foto da lâmina, 4.17b, a mesma com interpretação. Em 4.17b estão marcadas as clivagens S0//S1 e as zonas de clivagem e micrólitos característicos de clivagens espaçadas zonadas. O corte da lâmina é paralelo ao plano axial de F2. p.58
- Figura 4.18** Estereograma das medidas do eixo da dobra F2, com isolinhas de densidade. Rede Schmidt de igual área – hemisfério inferior. Eixo médio estatístico: 39→209°. n = 32. Note a variação no ângulo de caimento, consistente dos 15° até 60° para SW. p.59

- Figura 4.19** Dobras F2 em afloramento da praia Trigelow. Note a diferença entre a geometria das charneiras formadas pelas camadas. As camadas mais competentes (Quartzito cinza) desenvolvem charneiras arredondadas, enquanto as menos competentes (já erodidas) desenvolvem charneiras angulosas/pontiagudas. p.61
- Figura 4.20** Dobras F2 em afloramento da praia Trigelow. Aqui as dobras F2 têm charneiras mais arredondadas no conjunto de camadas de quartzito puro. Repare como a clivagem S2 não se desenvolveu nesse conjunto de camadas. p.63
- Figura 4.21** Dobras F2 em afloramento da praia Trigelow. Nesse caso os flancos das dobras são quase verticais, as camadas de material mais fino (escuro) acomodam dobras parasíticas F2, e não há desenvolvimento de clivagem S2 pervasiva visível nessa escala. p.65
- Figura 4.22** Dobras ptigmáticas F2 em veio de quartzo no Xisto Kybulup. Afloramento na localidade de Point Ann. Note como a clivagem S2 (Indicada em azul) não é desenvolvida no veio. p.66
- Figura 4.23** Dobras isoclinais F1 em afloramento na praia Trigelow. O afloramento está visto em planta. Note como desse ângulo não é possível ver F2 redobrando as camadas. p.68
- Figura 4.24** Dobras F1 em afloramento na praia Trigelow. Essa foto é uma perspectiva diferente da apresentada na figura 5.1a. Desse ângulo o dobramento F2 se torna visível, redobrando F1. p.70
- Figura 4.25** Dobra F1 contida em flanco de F2, em afloramento na praia Trigelow. Observe F1 na porção esquerda inferior da foto, ela aparece redobrada por F2. No caso, S2 encontra-se paralela a S0//S1 devido a verticalidade das camadas. p.72

- Figura 4.26** Dobras F2 em afloramento da praia Trigelow. Aqui as dobras são harmônicas, assimétricas, e com geometria em chevron. Nesse local a intercalação entre estratos de material mais fino com os de quartzito mais grosso é homogênea, e pode-se observar o mesmo padrão de variação na geometria das charneiras vistas em F1: Camadas mais competentes desenvolvem charneiras mais arredondadas, e as menos competentes, angulosas. p.74
- Figura 4.27** Dobra F2 em afloramento na praia Trigelow. Nessa foto vale notar a orientação do traço axial de F2 à medida que se passa da camada de material mais fino (escuro) para a de quartzito puro: É possível observar a refração do traço no contato entre as camadas. p.76
- Figura 4.28** Dobra F2 em afloramento na praia Trigelow. Novamente, aqui vale notar a orientação do traço axial de F2 à medida que se passa da camada de material mais fino (escuro) para a de quartzito puro: É possível observar a refração do traço no contato entre as camadas. p.78
- Figura 4.29** Estereograma dos pólos dos planos S2, com isolinhas de densidade. Rede Schmidt de igual área – hemisfério inferior. n = 57. A distribuição dos pontos mostra um ângulo de variação no sentido de mergulho das superfícies, em torno de 40°. p.79
- Figura 4.30a** Dobra F2 em afloramento na praia Trigelow. Observe a clivagem S2 sub-vertical presente nas intercalações de camadas delgadas de quartzito puro e quartzito com material mais fino. p.81
- Figura 4.30b** Dobra F2 em afloramento na praia Trigelow. Observe a clivagem S2 sub-vertical presente nas intercalações de camadas delgadas de quartzito puro e quartzito com material mais fino. Esta foto é uma aproximação da Figura 4.30a. p.83

- Figuras 4.31a e 4.31b** Foto de lâmina delgada de amostra do Xisto Kybulup (Luz transmitida, nicóis paralelos), colhida na localidade de Point Ann. A figura 4.31a é a foto da lâmina, 4.31b, a mesma com interpretação. Na foto 4.31b estão marcadas as clivagens S0//S1 e S2, o corte da lâmina delgada é perpendicular ao plano axial de F2, vertical. Em 4.29b é possível observar a clivagem contínua S2 truncando-se com a clivagem espaçada S0//S1. p.84
- Figuras 4.32a e 4.32b** Foto de lâmina delgada de amostra do Xisto Kybulup (Luz transmitida, nicóis paralelos), colhida na localidade de Point Ann. A figura 4.32a é a foto da lâmina, 4.32b, a mesma com interpretação. Na foto 4.32b estão marcadas as clivagens S0//S1 e S2, o corte da lâmina delgada é perpendicular ao plano axial de F2, vertical. Note na gradação fraca entre as zonas crenuladas definidas por S2. p.85
- Figura 4.33** Dobras F1 e F3 em afloramento na praia Trigelow. Observe como a clivagem S3 não se desenvolve nas camadas de quartzito puro, mas é bem preservada no material mais fino. Repare também em como a camada de quartzito mais competente preserva as dobras F1, que então são redobradas por F3. p.88
- Figura 4.34** Estereograma dos pólos dos planos S3. Rede Schmidt de igual área – hemisfério inferior. $n = 5$. Os pólos representam superfícies sub verticais de strike predominantemente NW-SE. p.89
- Figuras 4.35a e 4.35b** Foto de lâmina delgada de amostra do Xisto Kybulup (Luz transmitida, nicóis paralelos), colhida na localidade de Point Ann. A figura 4.35a é a foto da lâmina, 4.35b, a mesma com interpretação. Na foto 4.35b estão marcadas as clivagens S0//S1//S2 e S3, o corte da lâmina delgada é perpendicular ao plano axial de F2, horizontal. A orientação desse corte permite que se veja as foliações S0, S1 e S2 paralelas, indistintas. Note na gradação fraca entre as zonas crenuladas definidas por S3 e as dobras abertas que compõem a crenulação. p.90

- Figuras 4.36a e 4.36b** Foto de lâmina delgada de amostra do Xisto Kybulup (Luz transmitida, nicóis paralelos), colhida na localidade de Point Ann. A figura 4.36a é a foto da lâmina, 4.36b, a mesma com interpretação. Na foto 4.36b estão marcadas as clivagens S0//S1//S2 e S3, o corte da lâmina delgada é perpendicular ao plano axial de F2, horizontal. A orientação desse corte permite que se veja as foliações S0, S1 e S2 paralelas, indistintas. Note na graduação fraca entre as zonas crenuladas definidas por S3 e as dobras abertas que compõem a crenulação, nesse caso as camadas de quartzito são mais espessas, e a dobra, menos acentuada. p.90
- Figura 4.37** Veios de quartzo em juntas de extensão (Tension Gash Veins) evidenciando movimentação dextral. Observados em afloramento do Quartzito Kundip na região do East Mount Barren. p.92
- Figura 4.38** Acúmulo de cianita observado em afloramento do Quartzito Kundip na região do East Mount Barren. A forma e posição do corpo rompido sugere movimentação relativa dextral p.92
- Figura 4.39** Afloramento no Quartzito Kundip, região do East Mount Barren. Falha normal NW-SE com ressalvos na superfície polida. p.93
- Figura 5.1** Modelo desenvolvido por Ramsay (1967), que classifica padrões de interferência de dobras em três tipos, de acordo com a orientação relativa de suas superfícies axiais e eixos. Retirado de Twiss & Moores (2006). p.95
- Figura 5.2** Modelo esquemático do padrão de interferência de dobras D1-D2-D3. A superfície S0 está em azul, e S2 em amarelo. Note como S0 forma a dobra isoclinal F1, com caimento do eixo em alto ângulo, e então é redobrada por F2, fechada, e com caimento do eixo em ângulo raso (Interferência D1-D2). A superfície S2 mostra a dobra F3, de superfície axial oblíqua às de F1 e F2, e caimento do eixo sub vertical (Interferência D1-D2-D3). p.96
- Figura 5.3** Modelo de formação de dobras com geometria em Chevron através do mecanismo de deslizamento flexural – *Flexural Slip*. Retirado de Twiss & Moores (2006). p.98

Lista de tabelas:

- Tabela 1** Tabela com a estratigrafia resumida da Bacia Barren, modificado de Spaggiari et al. (2014). (a) GSWA 177921, Wingate e Bodorkos (2007); (b) Hall, Jones, e Bodorkos (2008); (c) Asarco Limited (1971); (d) Idade máxima de deposição recalculada; Dawson *et al.* (2002); (e) Vallini *et al.* (2002, 2005); (f) Thom *et al.* (1977b, 1984b); (g) Nelson (1996a,b); (h) Witt (1997, 1998); (i) Rasmussen *et al.* (2002, 2004); (j) Cruse (1991), Muhling e Brakel (1985). p.17
- Tabela 2** Tabela comparando e relacionando temporalmente as deformações mapeadas por Thom (1977), Hollingsworth (1996), Stephens (1996), Witt (1997) e Wetherley (1998). Traduzida e modificada de Wetherley (1998). p.21
- Tabela 3** Tabela comparando e relacionando temporalmente as deformações mapeadas por Thom (1977), Hollingsworth (1996), Stephens (1996), Witt (1997), Wetherley (1998), e as deste trabalho. Traduzida e modificada de Wetherley (1998). p.101

1 - Introdução

O orógeno Albany-Fraser encontra-se ao longo da costa sudoeste australiana, com alinhamento NE-SW, a aproximadamente 390 km de distância da capital do estado de Western Australia, a cidade de Perth. As rochas que compõem esse orógeno tem idades do Paleo ao Mesoproterozóico, e a orogenia está relacionada à amalgamação do supercontinente Rodínia a ca. 1.0-1.1Ga (Clark *et al.*, 2000; Fitzsimons, 2003). Ao longo de décadas, autores propuseram divisões e modelos de evolução tectônica bastante distintos para este cinturão móvel, com hipóteses de que o orógeno teria se formado através da união de terrenos exógenos (Spaggiari *et al.*, 2009), ou de que as unidades tenham evoluído *in-situ*, através de deformação e metamorfismo de crosta arqueana (Spaggiari *et al.*, 2014).

O alvo deste trabalho é o grupo Mount Barren, unidade litoestratigráfica da *Barren Basin*, bacia sedimentar polideformada e metamorfizada em fácies xisto verde inferior até anfíbolito superior, depositada sobre crosta arqueana do *Yilgarn Craton*. As estruturas encontradas no grupo variam muito ao longo de sua região aflorante e evidenciam uma história deformacional complexa, que, devido à limitada exposição e difícil acesso aos afloramentos, é de difícil solução para os autores que se submetem a esse tipo de investigação. A cronologia relativa entre as estruturas deformacionais do grupo Mount Barren é um exercício necessário para desvendar as etapas e regimes a que foram submetidos os sedimentos da unidade.

1.1 - Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é realizar uma análise das estruturas deformacionais (com foco nos dobramentos) do grupo Mount Barren, visando colaborar para o desvendamento da história evolutiva mesoproterozóica do cinturão de dobramentos do orógeno Albany-Fraser – Austrália Ocidental. O enfoque é na análise geométrica e cinemática das estruturas deformaicionais, usando a interpretação de dados estruturais como principal ferramenta, auxiliado por mapeamento geológico de campo, petrografia e fotogeologia. A pesquisa deve agregar mais conhecimento acerca da geologia estrutural da área e relacionar temporalmente as estruturas deformacionais com as já descritas por Wetherley (1998).

1.2 - Localização

A área de estudo está localizada na região de Ravensthorpe, contida no Fitzgerald River National Park, sul do estado de *Western Australia* e sudeste da capital do estado, Perth (Figura 1.1). Há duas pequenas cidades na costa que estão às margens do parque: Bremer Bay, a oeste, e Hopetoun, a leste. Elas podem ser acessadas pelas rodovias estaduais que têm início em Perth e percorrem cerca de 579Km e 528Km até Hopetoun e Bremer Bay, respectivamente.



Figura 1.1 – Mapa esquemático de localização da área de estudo. Estão representados os seguintes elementos: As cidades de Perth, Hopetoun e Bremer Bay; O Fitzgerald River National Park (Polígono verde); As principais rodovias da região (Linhas amarelas).

2 - Geologia Regional

2.1 – O Continente Australiano

A Austrália tem rochas que registram a história da terra desde 4.4 Ga, sua presente forma e posicionamento global é fruto da quebra do Paleocontinente Pangea com deriva para norte da placa australiana causada pela abertura do oceano Antártico. As rochas arqueanas/proterozóicas australianas apresentam importantes jazidas minerais, como as formações ferríferas bandadas (*Hamersly BIFs*), depósitos de classe mundial encontrados no WAC, assim como os depósitos do tipo IOCG (*Iron Oxide Copper Gold*) de Olympic Dam, entre outros (Cawood & Korsch, 2008).

O continente australiano pode ser dividido em dois grandes domínios tectônicos: (i) uma área composta em sua maior parte por rochas pré-cambrianas, que ocupam 2/3 da área exposta em superfície; (ii) Um orógeno acrecionário neoproterozóico a fanerozóico, parte do orógeno Terra Australis (Cawood & Korsch, 2008 – Figura 2.1). A região pré-cambriana é representada por três núcleos cratônicos, são eles os *West, North e South Australian Cratons* – WAC, NAC, SAC, respectivamente (Myers, 1990b; Myers *et al.*, 1996 - Figura 2.1). Esses núcleos são suturados por cinturões orogênicos das eras paleo a mesoproterozóica: Orógeno *Paterson*, produto da colisão entre o WAC e NAC; Orógeno Musgrave, entre o NAC e SAC; e Albany-Fraser, entre WAC e o *Mawson Craton*, representados pelo SAC e sua extensão Antártica (Cawood & Korsch, 2008).

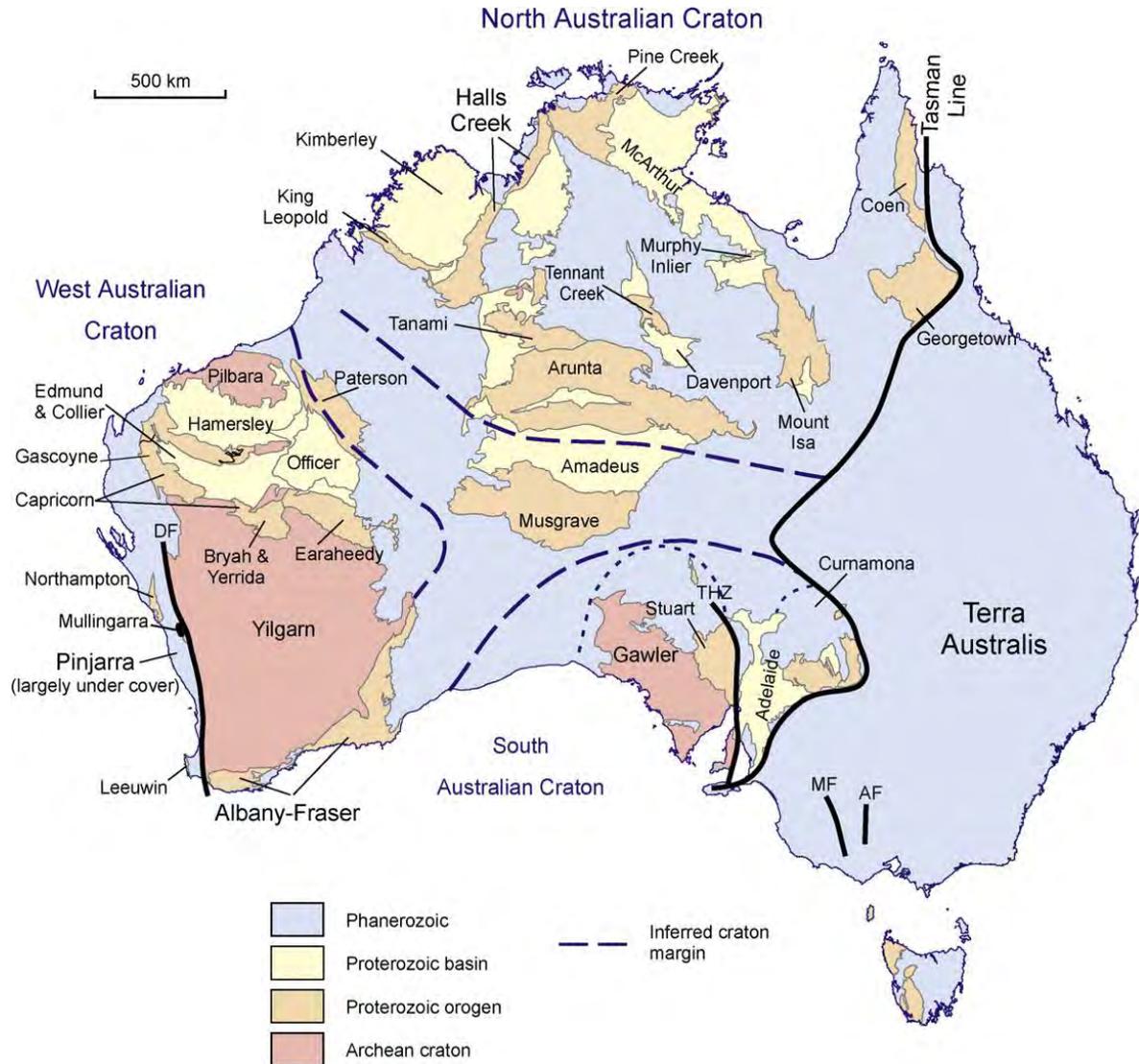


Figura 2.1 – Mapa geotectônico simplificado da Austrália (Cawood & Korsch, 2008). O mapa mostra as unidades litoestratigráficas dos éons Arqueano, Proterozóico e Fanerozóico, assim como os principais elementos tectonoestruturais no WAC, NAC e SAC. Abreviações: AF – Avoca Fault; DF – Darling Fault; MF – Moyston Fault; THZ – Torrens Hinge Zone.

Durante o Paleoproterozóico (2000 Ma) ocorreram as orogenias Glenburgh e Capricorn, que consolidaram o WAC através do amalgamento dos crátons arqueanos Yilgarn e Pilbara (Figura 2.1). É assumido que o NAC e SAC evoluíram como uma única entidade tectônica até aproximadamente 1500 Ma, recebendo o nome de *Diamantina Craton*. Durante 1800–1765 Ma, o *Diamantina Craton* chocou sua margem noroeste com o WAC pela orogenia Yapungku. Em torno de 1500 Ma o continente se rompe em dois terrenos distintos, um correspondente à união entre o WAC e o NAC, e outro ao *Mawson Craton*. Essa quebra aconteceu através dos movimentos de rotação e translação lateral do *Mawson Craton*, o que conseqüentemente provocou convergência e uma nova colisão entre a região correspondente ao WAC e o *Mawson Craton* em 1345–1140 Ma, conhecida como a orogenia Albany–Fraser. O produto dessa união é o continente conhecido como *Great Southern Continent*, que persistiu até a quebra final do supercontinente Pangea (Figura 2.2). Durante o Neoproterozóico, na margem oeste do terreno WAC, desenvolveu-se o orógeno Pinjarra por colisão do tipo *strike-slip* associado à formação do Gondwana. A margem leste do continente preserva o registro neoproterozóico do orógeno Terra Australis, e está relacionado a regimes divergentes (rifes) no paleocontinente Rodínia. Vale ressaltar que a configuração geotectônica dos sistemas orogênicos australianos proterozóicos é motivo de intenso debate, com propostas que sugerem tanto ambiente intracratônico quanto marginal (Etheridge *et al.*, 1987; Myers *et al.*, 1996; Betts *et al.*, 2002; Fraser *et al.*, 2007).

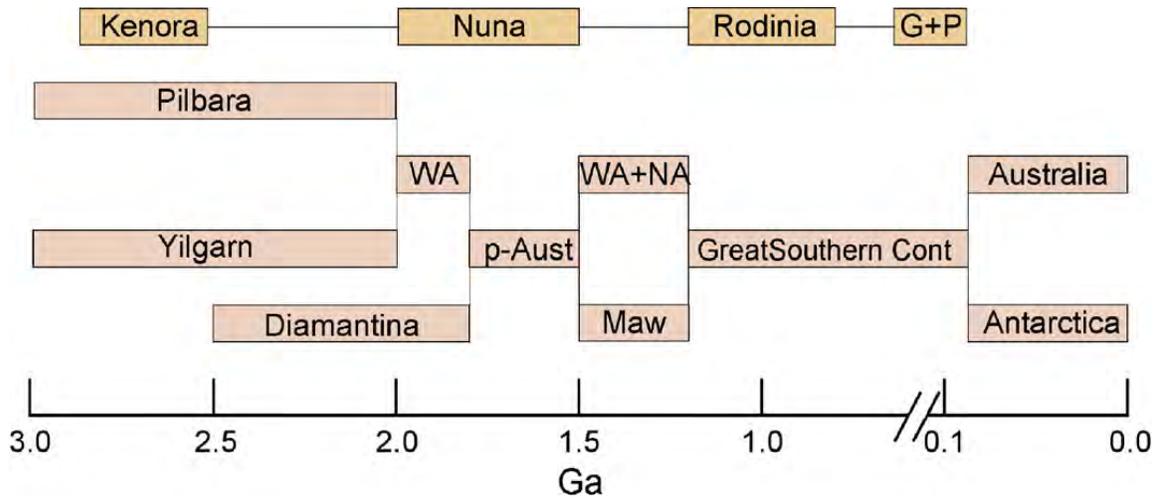


Figura 2.2 – Linha do tempo mostrando as idades dos crátons que constituem o continente australiano, seus momentos de quebra, união, e sua posição temporal nos ciclos dos supercontinentes (Cawood & Karsch, 2008). Vale ressaltar que no diagrama não são representados os outros crátons que eram unidos aos acima, apenas os que se encontram em terreno australiano. Abreviações: WA –West Australian Craton; p-Aust – proto-Australian craton; WA+NA –West Australian e North Australian cratons; Maw – Mawson Craton; Great Southern Cont – Great Southern Continent; Kenora – Supercontinente Kenorlândia; G+P – Gondwana e Pangea.

2.2 – Orógeno Albany – Fraser.

O Orógeno Albany-Fraser situa-se na região sul do estado de *Western Australia* e se estende ao longo das margens sul e sudeste do WAC (Albany e Fraser, respectivamente – Figura 2.3). É possível encontrar extensões do cinturão ao longo da costa de Wilkes Land (Leste da Antártica – Figura 2.3). Interpreta-se que a orogenia seja produto da colisão entre WAC e a porção antártica do cráton Mawson (Myers *et al.*, 1996; Fitzsimons, 2003 - Figura 2.3).

Myers (1990a) dividiu o orógeno Albany-Fraser em quatro domínios litotectônicos: (i) Complexo Biranup, composto por ortognaisses félsicos intercalados com paragnaisses e metagabros, menos representativos; (ii) Complexo Nornalup,

constituído por ortognaisses graníticos e cobertura metassedimentar intrudida por granitos mesoproterozóicos; (iii) Complexo Fraser, composto por granulitos máficos (Produto do metamorfismo de alto grau de metagabros) intrudidos por granitos mesoproterozóicos; (iv) *Northern Foreland*, um terreno para-autóctone separado do orógeno por falhamento rúptil concordante com a orientação da faixa móvel. Os domínios i, ii, e iv ocorrem ao longo da extensão do orógeno, e o Complexo Fraser é restrito ao extremo nordeste do orógeno, com aproximadamente 450 km de extensão (Figura 2.4).

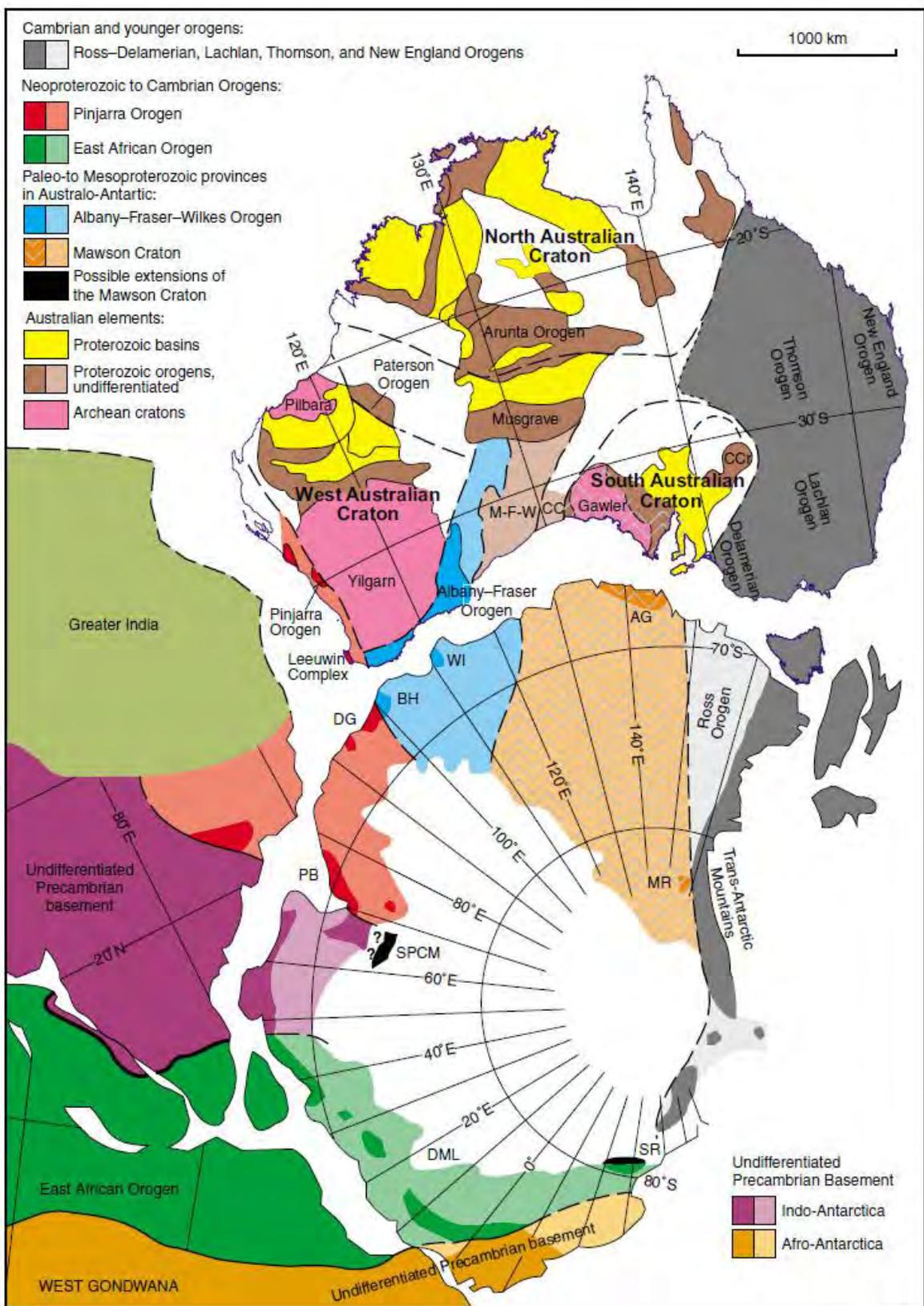


Figura 2.3 – Mapa por Spaggiari et al. (2009) com idades dos elementos crustais da porção leste de Gondwana (Modificado de Fitzsimons, 2003; Tyler, 2005; e Geoscience Australia, 1998). Cores de tons fortes representam regiões com afloramento, tons fracos regiões inferidas. Abreviações: AG, Terre Adélie–King George V Land; BH, Bungar Hills; CC, Coompana Complex (Encoberto pelas bacias Officer e Eucla); CCr, Curnamona Craton; DG, região Denman Glacier; DML, Dronning Maud Land; M-F-W, Complexos Madura, Forrest, e Waigen (Indivisos; Encobertos pelas bacias Gunbarrel, Officer e Eucla); MR, Miller Range; PB, Prydz Bay; SPCM, southern Prince Charles Mountains; SR, Shackleton Range; WI, Windmill Islands.

A divisão clássica apresentada por Myers (1990a) foi feita com base em diferenças encontradas nas assinaturas geofísicas dos domínios (principalmente aeromagnetometria) e seus estilos estruturais (e.g. Beeson *et al.*, 1988; Myers, 1990a; Whitaker, 1992, 1993; Fitzsimons, 2003). A partir de novos dados, Spaggiari *et al.* (2009) propôs uma nova divisão (Figura 2.4): (i) Northern Foreland, um componente para-autóctone, zona de antepaís da orogenia; (ii) Província Kupa Kurl Booya, a unidade que representa o embasamento pré-colisional, internamente dividida nas zonas Biranup, Fraser e Nornalup; (iii) Supersuítas Recherche e Esperance, compostas por corpos intrusivos de ortognaisses tipo-s de composição granítica; (iv) Coberturas paleo a mesoproterozóicas – Bacias Barren, Arid e Ragged (Spaggiari et al., 2014). A primeira das três bacias citadas é a que contém o Grupo Mount Barren, unidade metassedimentar tema deste trabalho.

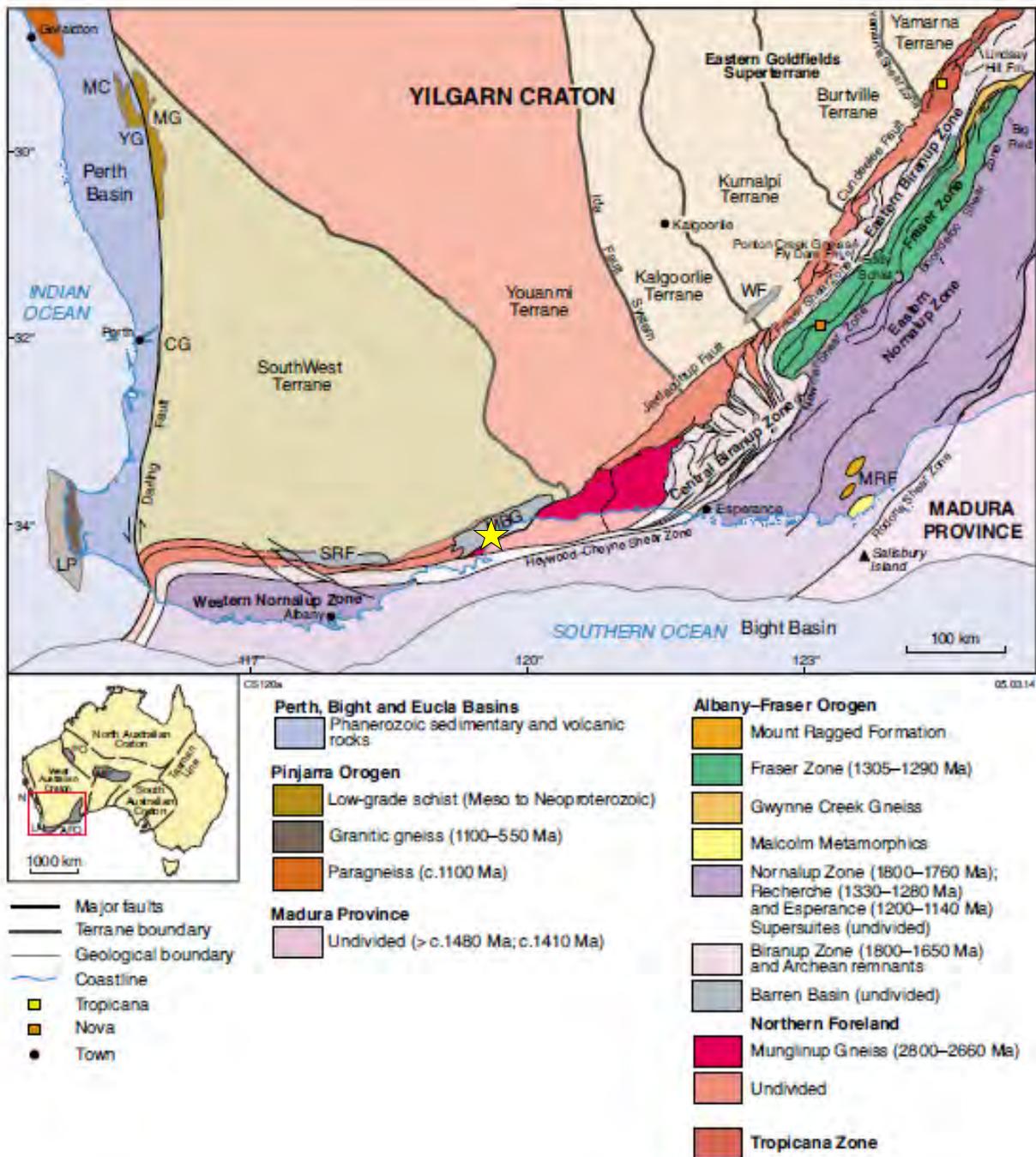


Figura 2.4 - Mapa geológico simplificado pré-mesozóico do Orógeno Albany Fraser e subdivisões geotectônicas do Yilgarn Craton como proposto por Spaggiari et al. (2009), modificado de Spaggiari et al. (2014a). A localização aproximada do Fitzgerald River National Park está destacada pela estrela amarela. Abreviações: SRF = Stirling Range Formation; MBG = Mount Barren Group; WF = Woodline Formation; MRF = Mount Ragged Formation; CG = Cardup Group; LP = Leeuwin Province; MC =

Mullingarra Complex; MG = Moora Group; AFO = Albany–Fraser Orogen; MP = Musgrave Province; PO = Paterson Orogen; N = Northhampton Province.

Com base nas relações encontradas entre os dados geocronológicos, estruturais e petrográficos, Clark *et al.* (2000) dividiram a evolução do Orógeno Albany-Fraser em duas fases distintas de atividade tectonotermal (Figura 2.5). A primeira fase (1345-1260 Ma) é produto da convergência e posterior colisão entre a união WAC+NAC e o *Mawson Craton* (Fitzsimons, 2003), a segunda (1215-1140 Ma) consiste em reativação intracratônica relacionada ao amalgamento do supercontinente Rodínia (Clark *et al.*, 2000; Fitzsimons, 2003). A datação de granitos tipo-S da *Recherche Supersuite* sugere que a colisão entre o WAC e o *Mawson Craton* ocorreu durante a primeira fase da orogenia (Spaggiari *et al.*, 2009 – Figura 2.5).

2.2.1 – 1ª Fase Tectonotermal c. 1345–1260 Ma (Spaggiari *et al.*, 2009)

A primeira fase da orogenia é interpretada como a melhor estimativa para o período de sutura da Província Kepa Kurl Booya à margem sul-sudeste do *Yilgarn Craton*. Essa colagem se deu principalmente através de falhas de empurrão (vergência para noroeste) com posterior intrusão de granitos (Figura 2.5). Durante essa fase, todas as unidades litotectônicas do orógeno sofreram atividade tectonotermal e/ou magmática contemporânea (cf. Myers *et al.*, 1996; Clark *et al.*, 2000; Bodorkos e Clark, 2004).

A convergência entre os continentes correspondentes ao *Mawson Craton* e à união entre o WAC e o NAC se deu, primeiramente, através de subducção para sudeste (Bodorkos & Clark, 2004). Antigamente assumia-se que a Zona Biranup (Figura 2.4) era um terreno exógeno, posicionado entre os continentes por falhas

transcorrentes paralelas ao limite das placas, e amalgamado ao *Mawson Craton* adjacente à *Nornalup Zone* com o prosseguimento da subducção. A acresção do terreno teria induzido o “*step-back*” da subducção em direção ao *Yilgarn Craton* (noroeste). Ocorre então a formação de um arco magmático conhecido como *Fraser Range Metamorphics* (Spaggiari *et al.*, 2009). Novos estudos geocronológicos e geoquímicos de Spaggiari *et al.* (2014) afirmam que os dados disponíveis não suportam a teoria de que as zonas Biranup, Fraser e Nornalup sejam exóticas ou relacionadas a arco de ilha. A teoria proposta é a de que elas teriam evoluído em crosta arqueana do *Yilgarn Craton*, deformada e metamorfizada no evento denominado Orogenia Biranup (1710-1650 Ma, Spaggiari *et al.*, 2011- Figura 2.4). Colisão final e sutura entre os continentes ocorre entre 1300-1280 Ma com empurrões de vergência NW da Zona Nornalup sobre as zonas Biranup e Fraser (Spaggiari *et al.*, 2009), e intrusão dos granitos da Supersuíte Recherche (Clark *et al.*, 1999, 2000; Bodorkos e Clark, 2004). Esse é o momento de maior espessamento crustal e de metamorfismo de alto grau na *Fraser Zone Metamorphics* (Clark *et al.*, 1999).

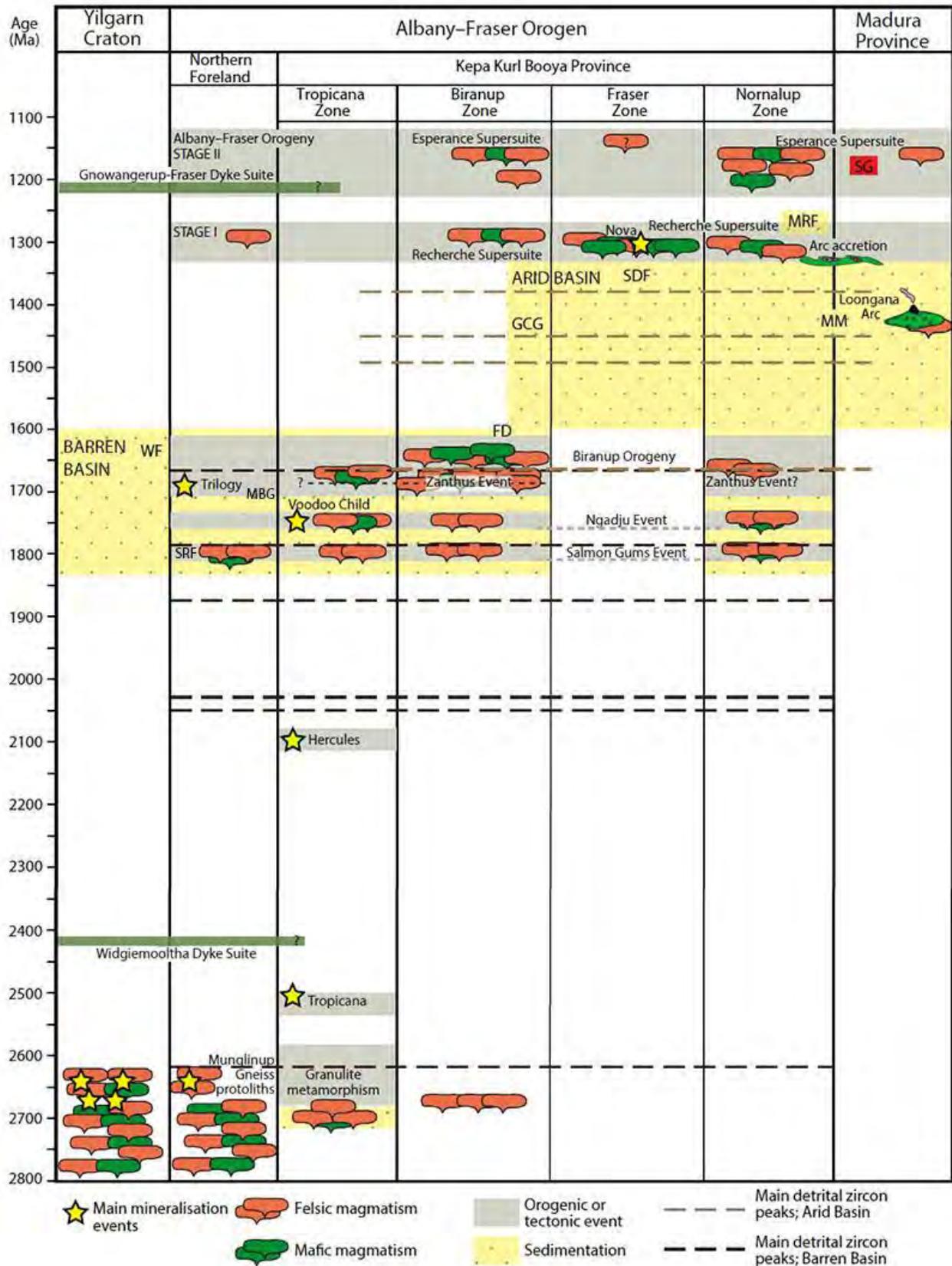


Figura 2.5 – Diagrama tempo-espço mostrando as idades dos eventos tectônicos nas províncias do orógeno e na Madura Province. Modificado de Spaggiari et al. (2014). Abreviações: FD = Fly Dam Formation; GCG = Gwynne Creek Gneiss; MM = Malcolm Metamorphics; MBG = Mount Barren Group; MRF = Mount Ragged Formation; SRF = Stirling Range Formation; SDF = Snowys Dam Formation; SG = Salisbury Gneiss; WF = Woodline Formation.

2.2.2 – 2ª Fase Tectonothermal c. 1215–1140 Ma (Clark *et al.*, 2000; Bodorkos e Clark, 2004).

A segunda fase é caracterizada pelo sucessivo retrabalhamento intracontinental da faixa móvel, com metamorfismo de médio a alto grau (facies anfíbolito a granulito) afetando quase que inteiramente o orógeno, processo que modificou significativamente sua arquitetura crustal.

Inicialmente, as rochas gnaissicas da Biranup Zone e da porção leste da Nornalup Zone sofreram metamorfismo de alta temperatura, entre 1225-1215 Ma (Clark *et al.*, 2000; Bodorkos & Wingate, 2008 – Figura 2.4). Durante a fase 2, metamorfismo de alto grau e deformações associadas ocorreram na extensão quase que total do orógeno. O momento em que o metamorfismo afetou a maior área foi a ca. 1180 Ma, com registros podendo ser encontrados em rochas da Northern Foreland (Grupo Mt Barren, inclusive), zonas Nornalup e Biranup (Spaggiari *et al.*, 2009). Estilos deformacionais se desenvolvem de forma heterogênea em cada região: Gnaisses da *Biranup Zone*, na região de Bremer Bay, são dominados por boudinagem, extensão, e dobramentos com vergência para NW, enquanto a leste predominam zonas de cisalhamento. Mais a leste, os gnaisses da zona Nornalup são dominados por dobramentos com plano axial vertical, contemporâneos às fases deformacionais citadas anteriormente (Bodorkos & Clark, 2004). Em vista desses dados, Spaggiari *et*

al. (2009) sugere que o estilo estrutural, assim como a cinemática das rochas, variam ao longo da faixa móvel e internamente nas unidades.

2.3 – Bacia Barren e o Grupo Mount Barren.

A Bacia Barren é uma bacia sedimentar Paleoproterozóica, polideformada e metamorfozizada pelo 2º evento tectonotermal de escala regional da orogenia Albany-Fraser. Seu preenchimento recobre terrenos do cráton Yilgarn, Northern Foreland, e as zonas Biranup e Nornalup (Muhling & Brakel, 1985; Thom, Lipple & Sanders, 1977b; Thom, Hickman & Chin, 1984b; Hall et al., 2008; Spaggiari et al., 2009, 2011 – Figura 2.4). Apesar de sua provável ampla extensão em área, os estudos na bacia sedimentar são desafiadores devido ao difícil acesso, além da cobertura sedimentar mais recente e regolito, que limitam a exposição das rochas (Spaggiari *et al.*, 2014).

A bacia é dividida nas unidades: Formação Stirling Range, Grupo Mount Barren, Formação Lindsay Hill, Formação Woodline (também conhecida como Sub-bacia Woodline), Formação Fly Dam, e xistos e gnaisses psamíticos a semipelíticos indivisos (Spaggiari & Pawley, 2012 – Tabela 1). Spaggiari *et al.* (2014) interpretam as rochas aflorantes como restos erosionais de uma bacia sedimentar muito maior, que teria evoluído ao longo da margem sul-sudoeste do cráton Yilgarn entre 1815-1600 Ma.

Tabela 1 – Tabela com a estratigrafia resumida da Bacia Barren, modificado de Spaggiari et al. (2014). (a) GSWA 177921, Wingate e Bodorkos (2007); (b) Hall, Jones, e Bodorkos (2008); (c) Asarco Limited (1971); (d) Idade máxima de deposição recalculada; Dawson *et al.* (2002); (e) Vallini *et al.* (2002, 2005); (f) Thom *et al.* (1977b, 1984b); (g) Nelson (1996a,b); (h) Witt (1997, 1998); (i) Rasmussen *et al.* (2002, 2004); (j) Cruse (1991), Muhling e Brakel (1985).

Unidade		Fácies metamórfica	Idade máxima de deposição: Menor Idade (Ma); Menor grupo de idade (Ma)	Idade Mínima	Litologias	Espessura estimada
Formação Fly Dam		Anfibolito a Granulito	1535+-26; ca.1640, 1598+-9; ca.1617	Metamorfismo em 1196+-13 Ma e 1154+-35 Ma	Arenito e lamito intercalados.	Mín. 100m
Formação Lindsey Hill		Xisto Verde superior a Anfibolito	1752+-19; ca. 1798, 1990+-15; ca. 2641	Não determinado	Arenito quartzoso com estratificação cruzada e lamito intercalados.	Não determinado
Formação Woodline		Xisto Verde	(a) 1651+-26; ca. 2031	1o e/ou 2o evento tectonotermal da orogenia Albany-Fraser	(b)(c) Arenito quartzoso, conglomerado seixoso, e siltito.	Mín. 250m
Grupo Mount Barren	Xisto Kybulup	Xisto Verde a Anfibolito	(d) 1751+-19; ca. 1696	(e) 1693+-4 Ma (Deposição)	(f)(h) Lamito, siltito, e raras ocorrências de carbonato.	(f)(h) Mín. 35m
	Quartzito Kundip	Xisto Verde a Anfibolito	(d)(g) 1692+-12; ca. 1766	(d) 2o evento tectonotermal da orogenia Albany-Fraser	(e)(f)(h) Arenito quartzoso, lamito, e conglomerado.	(e)(f)(h) Mín. 13m
	Formação Steere	Xisto Verde	(d) 1990+-16; ca.2016	(d) 2o evento tectonotermal da orogenia Albany-Fraser	(f)(h) Conglomerado (basal), arenito, e calcário dolomítico.	(f)(h) Aprox. 12m
Formação Stirling Range		Xisto Verde Inferior	(i) 2016+-16 (Menor grupo de idade)	(i)1800+-14 Ma (Deposição)	(j) Arenito quartzoso, lamito, e folhelho.	(j) Mín. 1600m

O Grupo Mount Barren aflora na região central do orógeno (Figura 2.4), recobre rochas da *Northern Foreland* (Thom, Lipple & Sanders, 1977b; Thom, Hickman & Chin, 1984b; Witt, 1997), e é dividido em três unidades: Formação Steere, Quartzito Kundip e Xisto Kybulup (Thom & Chin, 1984b; Thom, Hickman & Chin, 1984b - Tabela 1).

A formação Steere é a unidade basal do grupo Mount Barren (Tabela 1), e consiste em uma camada fina de conglomerado polimítico sobreposta por espessas camadas de arenito seixoso e 4m de calcário dolomítico (Thom, Hickman & Chin, 1984b; Thom, Lipple & Sanders, 1977b; Witt, 1997). O quartzito Kundip está acima da formação Steere, e aflora em morros isolados espalhados pela região ou como lajedos em praias específicas. Consiste em camadas espessas de quartzito puro, intercalado com camadas mais delgadas de quartzitos e pelitos que contém acúmulos de cianita e magnetita, e esparsas lentes de metaconglomerado polimítico com predominância de clastos de quartzito (Thom, Hickman & Chin, 1984b; Witt, 1997; Vallini *et al.*, 2005). O xisto Kybulup, unidade superior do Grupo Mount Barren (Tabela 1), é composto por rochas pelíticas e psamíticas em camadas delgadas, de grau metamórfico variado (Spaggiari *et al.*, 2014).

Vale notar que no Quartzito Kundip existe uma intrusão máfica de aproximadamente 300m de espessura, a Soleira Cowerdup. Ela é descrita como sendo um granófiro máfico (Witt, 1997), e apesar de ser predominantemente concordante com as estruturas das rochas adjacentes, corta a estratigrafia regionalmente (Thom & Chin, 1984a; Witt, 1997).

A maioria dos estudos geológicos estruturais realizados no Grupo Mount Barren concorda que este cinturão de dobramentos associado a empurrões possui

deslocamento total desconhecido (Sofoulis, 1958; Thom, Hickman & Chin, 1984b; Myers, 1990a; Witt, 1998). Várias fases de deformação e suas respectivas petrotramas já foram identificadas e descritas, com maior complexidade nas rochas de alto grau a sul - sudeste (Witt, 1998; Wetherley, 1998; Dawson *et al.*, 2003). A datação de anfíbolitos do grupo forneceu idades que evidenciaram um pico de atividade termal a ca. 1205 Ma (Dawson *et al.*, 2003). As idades estão dentro do intervalo de tempo equivalente à fase II da Orogenia Albany-Fraser, logo é assumido que o sistema de empurrões foi formado durante esse período (Spaggiari *et al.*, 2014).

2.3.1 – Trabalhos prévios em geologia estrutural na área.

Os estudos estruturais realizados no Grupo Mount Barren são poucos, antigos e, em sua maioria, disponíveis apenas nos institutos onde foram publicados, na Austrália. Há no total 5 trabalhos de detalhe no grupo, das autorias de Thom (1977), Hollingsworth (1996), Stephens (1996), Witt (1997) e Wetherley (1998). O último dos citados foi consultado para a realização deste estudo, porém os outros não puderam ser acessados. Nele o autor compara e relaciona temporalmente as estruturas deformacionais mapeadas por todos os pesquisadores (Tabela 2). Thom (1977), Stephens (1996) e Witt (1997) descrevem quatro fases de deformação (D_1 até D_4), cada uma com desenvolvimento de dobras (F_1 até F_4), e Hollingsworth (1996), três fases de dobramento (F_1 até F_3); Wetherley (1998) interpreta dois eventos de deformação, D_A e D_B , o primeiro com quatro fases de dobramento associadas (F_1 até F_4), e o segundo, apenas uma fase (F_5). Vale ressaltar que os autores conduziram seus estudos em 3 áreas diferentes: Thom (1977) e Witt (1997) na porção leste da unidade; Hollingsworth (1996), na região de *West Beach* e; Stephens (1996) na área em torno

do *East Mount Barren*. Wetherley (1998) cobriu uma área maior de pesquisa, estudando diferentes exposições do Grupo Mount Barren na maioria de sua extensão aflorante. As diferenças no tamanho da área de estudo e escala das investigações são responsáveis pelas diferenças entre estilos estruturais (Wetherley, 1998): Stephens (1996) e Hollingsworth (1996) realizaram pesquisas de detalhe, enquanto Witt (1997) e Wetherley (1998) estudaram o Grupo Mount Barren em escala regional.

Dentre as diferentes feições geológicas descritas e mapeadas, Witt (1997) interpreta empurrões na base do quartzito Kundip que justificam as repetições da camada (provavelmente associadas ao dobramento F_{B1}), além de *splays* associados à Falha Jerdacuttup (Figura 2.4). Stephens (1996) diz haver uma zona de cisalhamento regional dextral, orientada na direção NE-SW, que o autor interpreta ter tido deslocamento reverso e persistido durante suas fases D_2 e D_3 . As estruturas citadas foram determinadas através do mapeamento de descontinuidades e demais problemas geométricos em fotos aéreas da região (Wetherley *apud* Witt, *pers. comm.* 1995). Wetherley (1998) diz haver um empurrão basal com mergulho para SE na porção oeste do grupo com evidências de transporte para NW sobre o Yilgarn Craton. A foliação milonítica é redobrada por dobras isoclinais com eixo rotacionado, concordante com a lineação de estiramento mineral, redobradas por F_4 . O autor também afirma haver formação de dobras em bainha com eixos paralelos à lineação de estiramento, e que o empurrão é síncrono ao encontrado a norte do *East Mt Barren*.

Tabela 2 – Tabela comparando e relacionando temporalmente as deformações mapeadas por Thom (1977), Hollingsworth (1996), Stephens (1996), Witt (1997) e Wetherley (1998). Traduzida e modificada de Wetherley (1998).

Thom (1977)	Hollingsworth (1996)	Stephens (1996)	Witt (1997)	Wetherley (1998)
Porção E do Grupo Mount Barren	Região de <i>West Beach</i>	<i>East Mt Barren</i> e arredores	Porção E do Grupo Mount Barren	Grupo Mount Barren inteiro
D1 - Dobras observadas em conglomerados e clastos de brecha. Clivagem espaçada com orientação plano axial a vertical, dobrada por F2.		D1 - Clivagem contínua observada apenas em microscópio.	FB1 - Dobras recumbentes isoclinais, vergência desconhecida.	F1 - Dobras isoclinais S1 - Clivagem contínua marcada por micas, visível apenas microscópicamente, desenvolvida localmente.
D2 - Dobras recumbentes apertadas a isoclinais. D3 - Lineação com caimento raso para E, dobras abertas com caimento do eixo para E, transpostas por dobramento F4.	F1 - Dobras recumbentes isoclinais com vergência para N e caimento do eixo para E.	D2 - Cisalhamentos associados ao desenvolvimento de dobras isoclinais F2. As estruturas variam de dimensões cm a km, com clivagem plano axial bem desenvolvida.	FB2 - Dobras apertadas, reviradas, com vergência N e eixos com caimento raso a moderado para E.	F2 - Dobras recumbentes isoclinais com eixos com caimento em ângulo raso para E e W. S2 - Clivagem espaçada plano axial bem desenvolvida.
				F3 - Crenulação de plano axial vertical, eixos com caimento raso para SW, transpostas por F4. Desenvolvida apenas localmente.
D2 - Dobras apertadas a isoclinais, arredondadas a chevron com trend para SW. Eixos com caimento para SW.	F2 - Dobras abertas a apertadas, reviradas, com eixos caindo moderadamente para SW.	D3 - Dobras com plano axial vertical a redobradas, com geometria do tipo Chevron, abertas a apertadas. Vergência das dobras para NW, trend SW, e eixos caindo moderadamente para WSW.	FB3 - Dobras apertadas, reviradas, com vergência NW e eixos com caimento moderado para SW e NE.	F4 - Dobras abertas a apertadas com plano axial vertical e eixos com caimento moderado predominantemente para SW. Fase mais proeminente no Grupo Mount Barren.

<p>D4 - Dobras com plano axial vertical, arredondadas a chevron,. Eixos com caimento moderado para SSW.</p>				<p>S4 - Clivagem de crenulação a espaçada, bem desenvolvida.</p>
	<p>F3 - Dobras abertas, reclinadas, trend dos <i>kinks</i> e caimento dos eixos para SW.</p>			
<p>D2 - Dobras apertadas com eixos caindo para SE. D3 - Dobras abertas com plano axial vertical e eixos com caimento raso para E.</p>		<p>D4 - Dobras suaves a abertas com plano axial vertical e caimento do eixo para SE.</p>	<p>FB4 - Dobras abertas a apertadas, eixos com caimento moderado para SW a SE. Plano Axial das dobras é vertical a sub-vertical.</p>	<p>F5 - Dobras de crenulação a <i>kink</i> com plano axial vertical e eixos caindo para SE. Desenvolvidas apenas local e tardiamente.</p>

2.3.2 - Geologia Estrutural do Grupo Mount Barren

Wetherley (1998) diz que a relação temporal entre as fases de dobramento foi estabelecida com base nos padrões de redobramento e orientação geral dos planos axiais mapeados. As dobras mais evidentes em afloramento têm superfície axial com *strike* SW-NE, e são interpretadas como sendo F_4 . Elas foram escolhidas como referência para estabelecer a posição das outras estruturas deformacionais na história estrutural por ser a mais expressiva na área de estudo. Wetherley (1998) dividiu a evolução das estruturas em duas fases de deformação (D_A e D_B), com 5 dobras associadas (F_{1-5}).

Primeira fase de deformação (D_A)

- Primeira fase de dobramento:

- Dobras F_1 : Observadas apenas localmente nos afloramentos em Point Ann. Elas têm geometria apertada a isoclinal, dobram apenas o plano de acamamento sedimentar (S_0), e podem ser associadas à foliação milonítica. A orientação do plano axial e das superfícies dobradas varia consideravelmente devido a deformações posteriores.
- Foliação S_1 : Observada apenas em testemunhos de sondagem para estudos relacionados à atividade mineradora. Definida por cristais de quartzo, sericita e grafita em alinhamento mineral e intercalados.

- Segunda fase de dobramento:

- Dobras F_2 : Nas rochas pelíticas de baixo grau, são dobras em escala de milímetros a metros, reviradas a recumbentes, e apertadas a isoclinais, com clivagem plano axial bem desenvolvida. Em geral, têm seu plano axial subvertical e com caimento para SW. Nas rochas de alto grau a estrutura é mal preservada e tem caimento do eixo e mergulho do plano axial moderado a alto para SE.
- Zonas de Cisalhamento: Stephens (1996) descreve zonas de cisalhamento contemporâneas a F_2 , de strike WNW-ESE, e mergulhando 60° para SSE. A foliação milonítica contém uma lineação de estiramento mineral bem desenvolvida, com caimento de 50° para SE. O autor sugere que primeiramente houve movimento dextral da zona com posterior reversão, ou que a reversão se deu ao mesmo tempo em que o desenvolvimento das dobras F_2 .
- Foliação S_2 : Dominante nas rochas do Grupo Mount Barren, a foliação é paralela ao plano axial de F_2 , exceto nas charneiras das dobras. Normalmente é encontrada dobrada por F_4 . Nas rochas pelíticas de baixo grau é definida pela intercalação de quartzos e sericitas, melhor observada em camadas micáceas. Nas rochas de alto grau consiste no alinhamento de quartzo e muscovita, comumente crenulada por S_4 . Em quartzitos maciços é preservada através do alinhamento dos grãos da rocha ou como uma clivagem pouco espaçada.

- Terceira fase de dobramento:

- Dobras F_3 : Encontradas em camadas de rochas pelíticas, consistem em estruturas de crenulação de dobras abertas, simétricas, e com superfície axial vertical. Elas dobram o acamamento sedimentar e a foliação S_2 , e são dobradas por F_4 e F_5 . Seus eixos tem caimento para SW, e não apresentam clivagem plano axial.

- Quarta fase de dobramento:

- Dobras F_4 : São as estruturas mais proeminentes no Grupo Mount Barren, se apresentam com orientação e estilo característicos tanto em escala de milímetros quanto de mapa, com clivagem plano axial bem desenvolvida. As dobras são fechadas a apertadas, arredondadas a chevron e verticais a reviradas. Seus eixos tem caimento moderado para SW, e superfície axial tem direção NE-SW e mergulho de alto ângulo para SE e NW (Figuras 2.6a e 2.6b). A geometria geral das dobras varia ao longo do plano axial desde chevrons apertadas no núcleo, até abertas arredondadas à medida que se afasta do centro. Em rochas pelíticas de baixo grau metamórfico, F_4 se apresenta aberta a fechada, nas de alto grau são reclinadas a reviradas, fechadas a apertadas, com caimento do eixo e mergulho do plano axial moderado para SW e em alto ângulo para SE, respectivamente. A clivagem plano axial nas rochas de alto grau chega a ser bem desenvolvida, podendo transpor e obliterar a foliação dobrada S_2 .

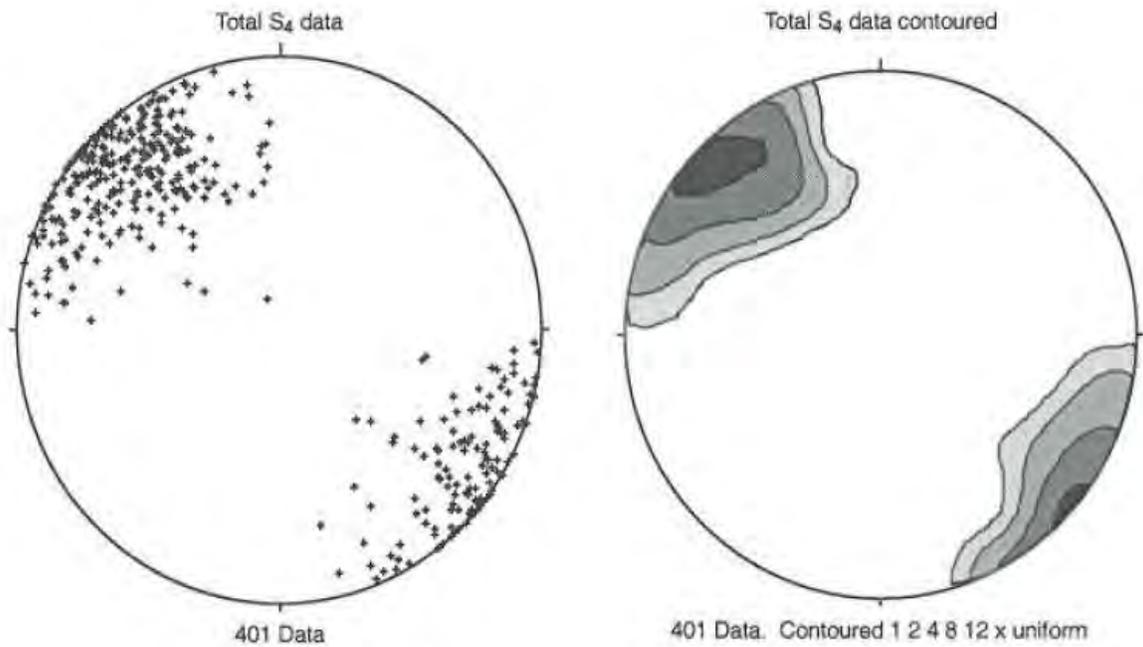


Figura 2.6a – Projeção estereográfica (rede de Schmidt) com pólos de S₄ plotados (esquerda), isolinhas dos dados (direita) (Wetherley, 1998).

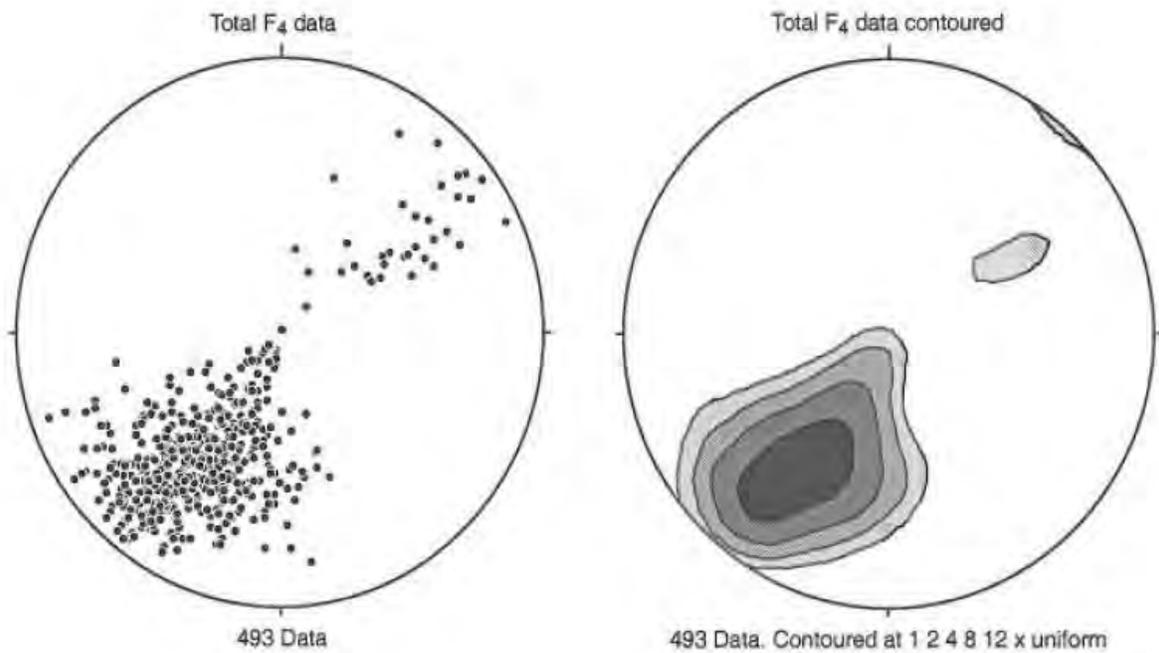


Figura 2.6b – Projeção estereográfica (rede de Schmidt) com eixos de F₄ plotados (esquerda), isolinhas dos dados (direita) (Wetherley, 1998).

Na localidade de *Trigelow Beach*, o quartzito Kundip apresenta-se como camadas delgadas dobradas por F_4 , com ângulo interflanco fechado a isoclinal. Os planos axiais são subverticais e mergulham para NW, os eixos tem caimento de alto ângulo para SW até de baixo ângulo para SW e NE. Medidas de S_0 plotadas em estereograma (Figura 2.7) revelam um eixo de dobra com orientação $23 \rightarrow 218^\circ$, consistente com as medidas em afloramento. A vergência geral das dobras é para NW, consistente com a grande maioria dos afloramentos costeiros do Grupo Mount Barren ao longo da costa da região.

- Foliação S_4 : Consiste em uma clivagem plano axial bem desenvolvida em rochas pelíticas, e menos expressiva em quartzitos. De acordo com a composição das rochas, grau metamórfico e quantidade de *strain* produzida por F_4 , ela varia dos estágios 2 a 6 no modelo de desenvolvimento de clivagem de crenulação criado por Bell & Rubenach (1983) (Figura 2.8).

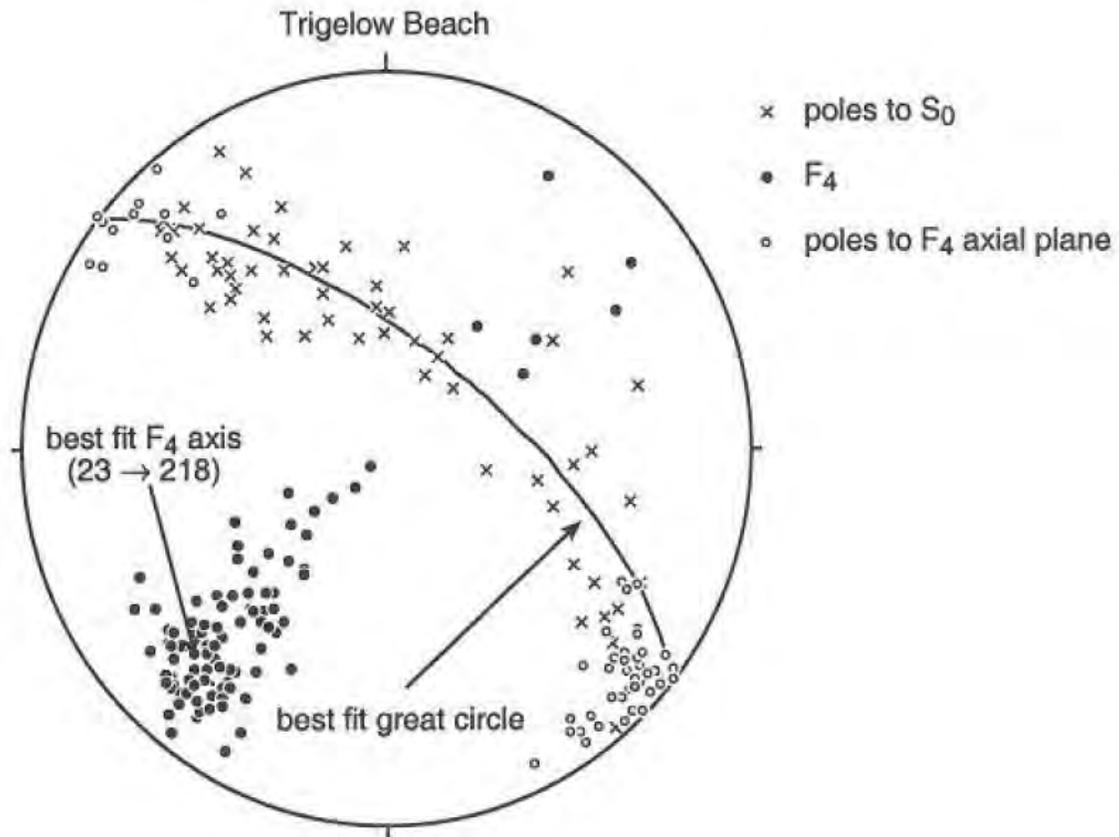


Figura 2.7 – Projeção estereográfica (rede de Schmidt) com eixos de F_4 , pólos do plano axial de F_4 , e pólos de S_0 plotados. Na imagem é mostrado também o eixo gerado a partir da média estatística dos dados coletados em campo (Wetherley, 1998).

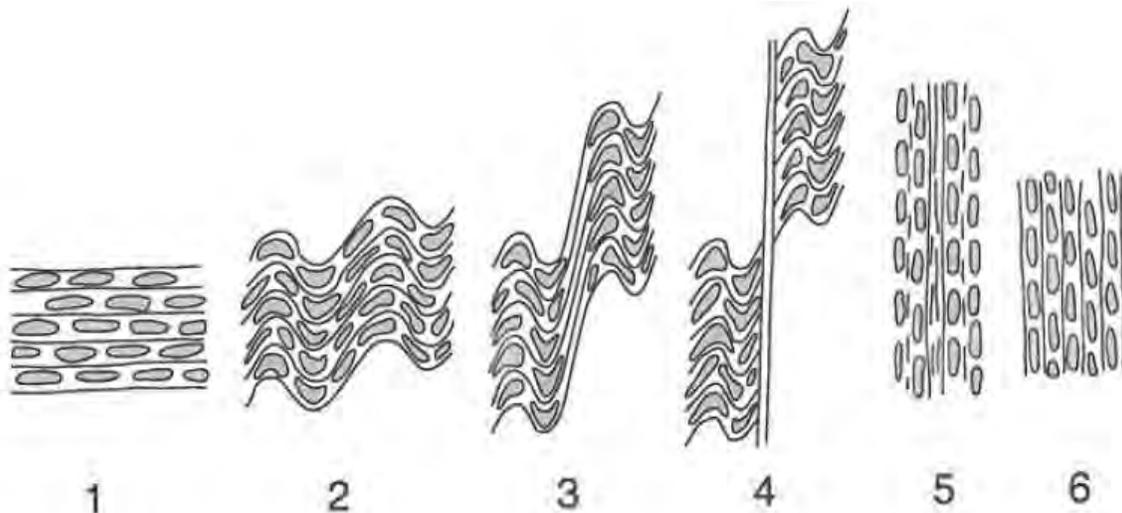


Figura 2.8 – As seis etapas de desenvolvimento de uma crenulação de clivagem, desenvolvido por Bell & Rubenach (1983). Regiões sombreadas representam grãos de quartzo, linhas representam micas (retirado de Wetherley, 1998). Etapas: A 1 é a clivagem original, sem deformações; As etapas 2 e 3 representam crenulações sobre a clivagem pretérita, não crescimento mineral; Na 4ª etapa já existe a clivagem de crenulação; Na etapa 5 observa-se uma clivagem espaçada, crescimento mineral ocorre concordante com o plano axial das crenulações (já apagadas pela deformação); Com o prosseguimento do stress, a clivagem espaçada se desenvolve até uma clivagem contínua, aqui mostrada na etapa 6.

Segunda fase de deformação (D_b)

- Quinta fase de dobramento:

- Dobras F_5 : Ocorrem como crenulações ou *kinks* em escala de centímetros, e com geometria aberta a fechada na escala de quilômetros. Têm plano axial vertical com *strike* NW-SE e eixo com caimento em grau moderado a alto para SE (Figura 2.9).
- Foliação S_5 : A foliação produzida com F_5 é pouco desenvolvida e vista apenas localmente. Aparece como uma clivagem de crenulação pouco expressiva que corta as superfícies S_3 e S_4 .

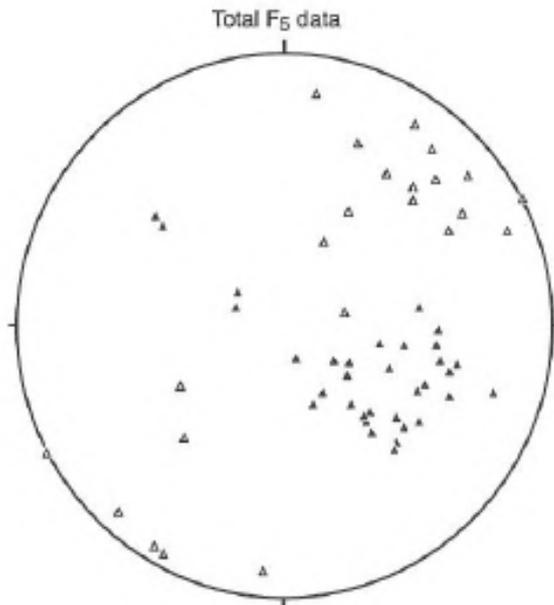


Figura 2.9 – Projeção estereográfica (rede de Schmidt) com pólos do plano axial (triângulos abertos) e eixo (triângulo preenchido) de F5.

2.3.3 – Metamorfismo no Grupo Mount Barren

O Grupo Mount Barren apresenta grau metamórfico variado ao longo de sua extensão: A norte e oeste, o grupo encontra-se metamorfolizado em fácies xisto verde, com assembleias minerais de sericita (~clorita); a sudeste, as condições de temperatura e pressão gradam até fácies anfíbolito, e as rochas apresentam assembleias minerais de cianita e estaurolita, com granada, estaurolita e cianita como minerais correspondentes ao pico metamórfico (Hollingsworth, 1996; Stephens, 1996; Wetherley, 1998). A Soleira Cowerdup apresenta assembleias minerais equivalentes de actinolita, clorita e plagioclásio saussuritizado nas zonas de baixo grau, e granada, hornblenda, plagioclásio e quartzo nas regiões de alto grau (Witt, 1997 e Wetherley, 1998). Witt (1998) e Wetherley (1998), através da análise de dados geotermobarométricos e diagramas de fase P-T específicos das composições de rocha do Grupo Mount Barren, afirmam que as assembleias minerais de maior grau se formaram em temperaturas acima de 600°C e em torno de 8kbar de pressão.

3 – Material e Métodos

Este projeto de monografia foi desenvolvido em duas etapas, uma referente ao trabalho de campo, e outra aos trabalhos de escritório e laboratório.

O trabalho de campo consistiu em uma campanha de sete dias na qual, em cada ponto visitado, foram realizadas descrições litológicas e coletados dados estruturais das rochas, como medidas de acamamento sedimentar, clivagem, planos de falha, lineação, plano axial e eixo de dobra, os planos em notação Dip/Dip, as linhas em Dip→Azimute. Durante a campanha também foi realizada a coleta de amostras para produção de lâminas delgadas.

Os trabalhos de escritório incluem levantamento bibliográfico e o tratamento dos dados obtidos através de diferentes *softwares* apropriados para tal. Foi confeccionado um mapa geológico simplificado do *Fitzgerald River National Park* (Anexo I) no *software* ArcGIS 10.2.2 através da compilação de 3 cartas geológicas 1:250000 e dados de topografia da região, tudo oferecido online pelo serviço geológico do oeste australiano (*Geological Survey of Western Australia – GSWA*). As cartas usadas como base para a produção do mapa foram as mais atuais e na escala de maior detalhe: Bremer Bay (SI 50-12 por Thom & Chin, 1984a), Newdegate (SI 50-8 por Thom, Hickman & Chin, 1984a) e Ravensthorpe (SI 51-5 por Thom, Lipple & Sanders, 1977a). Imagens de satélite de detalhe foram obtidas pelo programa Terra Incognita 236 (Imagens Landsat 7, mesmo banco de dados do Google Earth) e então interpretadas e integradas ao mapa geológico no ArcGIS 10.2.2. As cartas geológicas, por terem sido produzidas antes da década de 1990, são projetadas com DATUMs que hoje não são mais usados, o *Australian Geodetic*

Datum de 1966 e de 1984 (AGD1966 e AGD1984, respectivamente). O mapa geológico produzido nesse trabalho usa o *Geocentric Datum of Australia 1994* (GDA1994), o que criou a necessidade de converter os sistemas de coordenadas dos mapas antigos. Essa conversão foi feita diretamente no ArcGIS com auxílio da ferramenta “*Project*”, disponível através do aplicativo ArcToolbox, no caminho *Data Management Tools>Projections and Transformation>Feature>Project*. Fotografias das estruturas vistas em afloramento durante o campo foram cuidadosamente selecionadas e interpretadas no software CorelDraw X7, e os dados das medidas estruturais levantadas analisados no software OpenStereo 0.1.2f. Foram produzidas 7 lâminas delgadas, que foram confeccionadas e descritas nos laboratórios de laminação e microscopia da UFRJ.

4 – Resultados

4.1 – Descrição das Unidades Geológicas.

A área apresenta poucos afloramentos, divididos em três principais regiões do *Mount Barren Group*: A região do *East Mount Barren* e arredores (limite leste do parque nacional), *Point Ann* (costa sudeste), e a Praia de Trigelow, cerca de 4,5km a sul de *Point Ann*, na costa.

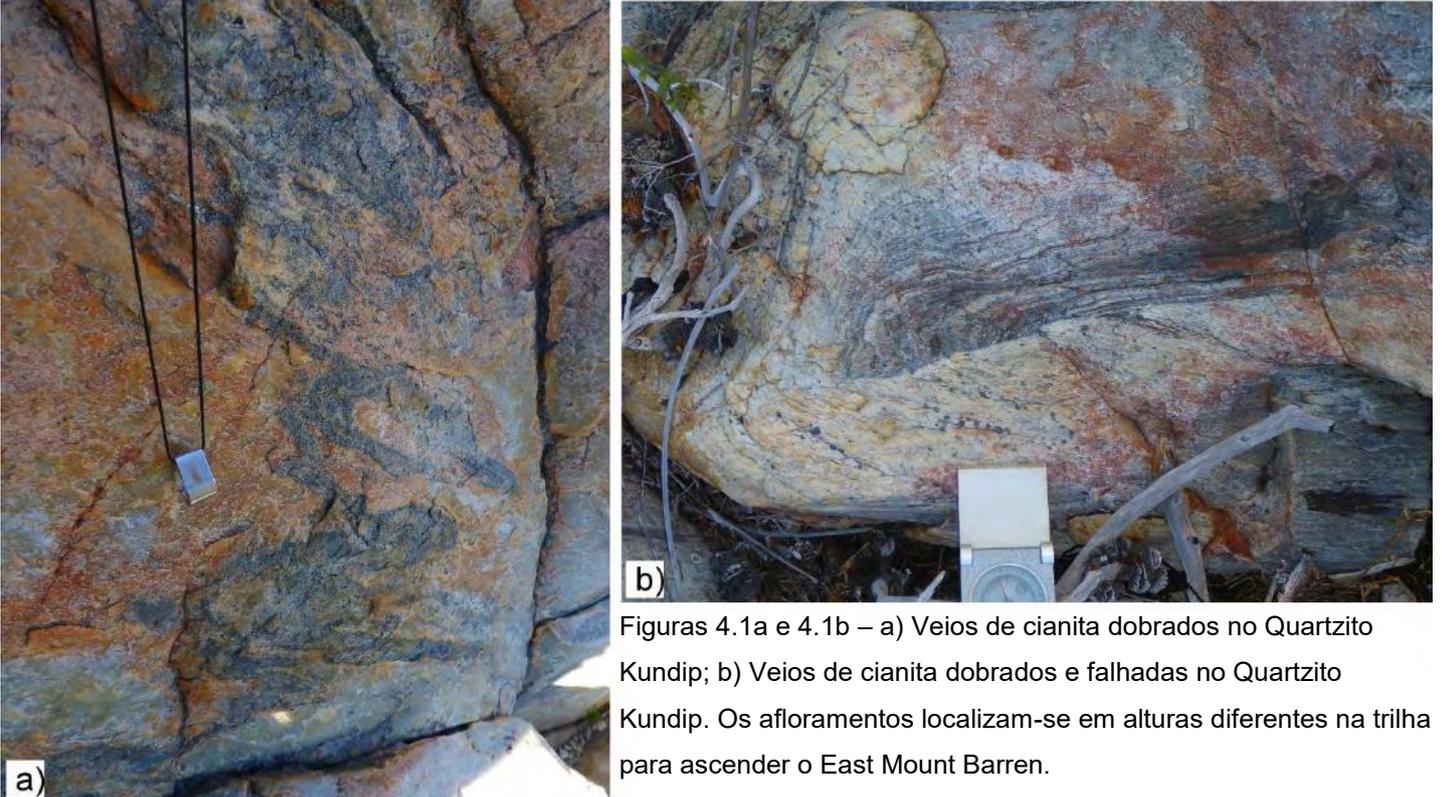
Foram reconhecidas unidades do Grupo Mount Barren mapeadas nos trabalhos de: Thom & Chin (1984a); Thom, Hickman & Chin (1984a); Thom, Lipple & Sanders (1977a), representadas nas cartas geológicas oferecidas pela GSWA das áreas Bremer Bay (SI 50-12), Newdegate (SI 50-8) e Ravensthorpe (SI 51-5), respectivamente.

São descritas aqui as seguintes unidades: Quartzito Kundip, Xisto Kybulup, e cobertura quaternária. No Anexo I, pode-se observar 3 grupos distintos de rocha: (i) O embasamento arqueano do cráton Yilgarn, unidade dominante da borda NW do mapa; (ii) O Grupo Mount Barren, que aflora mais a S e SE da área, próximo à costa, e contém as unidades descritas neste trabalho; (iii) A cobertura de rochas fanerozóicas, agrupadas em uma só unidade por não serem alvo do estudo. Vale notar que no *Fitzgerald River National Park* não afloram rochas da Formação Steere, unidade basal do Grupo Mount Barren.

4.1.1 – Quartzito Kundip.

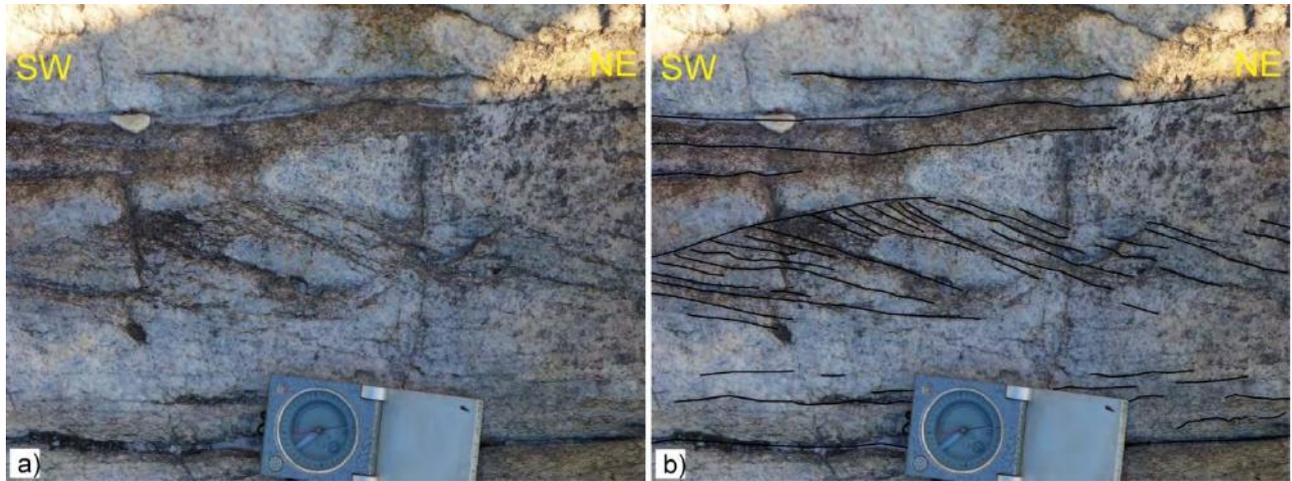
Consiste em um quartzito fortemente recristalizado, puro, de coloração predominantemente branca a amarelada, com ocorrências de veios de cianita

(Figuras 4.1a e 4.1b). Apesar da recristalização, é possível observar estruturas sedimentares primárias, como estratificação cruzada, por exemplo (Figuras 4.2a e 4.2b).



Figuras 4.1a e 4.1b – a) Veios de cianita dobrados no Quartzito Kundip; b) Veios de cianita dobrados e falhadas no Quartzito Kundip. Os afloramentos localizam-se em alturas diferentes na trilha para ascender o East Mount Barren.

O acamamento original (S_0) pode ser reconhecido na variação de granulação entre as camadas, desde níveis finos até grossos. A textura de dissolução por pressão é evidenciada por bandas de cianita metamórfica que se apresentam deformadas tanto de maneira dúctil quanto rúptil, apresentando dobras e falhas (Figura 4.1b). É comum encontrar veios de quartzo pela rocha, que também apresentam-se dobrados. O Quartzito Kundip foi observado em campo nos pontos marcados na região do *East Mount Barren* (Anexo I).



Figuras 4.2a e 4.2b – Estratificação cruzada no Quartzito Kundip. a) Foto original. b) A mesma foto, interpretada, linhas de contorno em preto.

4.1.2 – Xisto Kybulup.

A unidade é principalmente composta por rochas de coloração escura e composição psammítica, em camadas delgadas (Figura 4.3). Nos afloramentos da praia Trigelow, é possível ver intercalação de quartzitos puros, maciços e fortemente recristalizados com as camadas delgadas (Figura 4.4).



Figura 4.3 – Afloramento do Xisto Kybulup com dobras F2 do tipo Chevron da localidade de Point Ann.

As rochas apresentam-se fortemente dobradas (Figura 4.4) e preservam todas as fases de deformação mapeadas. Em nenhum dos afloramentos visitados desta unidade foi possível encontrar minerais metamórficos identificáveis com lupa. Veios de quartzo são muito comuns na localidade de *Point Ann*, ocorrem com comprimento variando de tamanhos decimétricos até 1m, aproximadamente, e espessura chegando até 20cm (Figura 4.5). Em sua maioria, os veios são concordantes com a foliação principal S0//S1. As rochas do Xisto Kybulup foram observadas nas localidades de *Point Ann*, *Trigelow Beach*, e nos afloramentos encontrados às margens da drenagem que corre SE em direção ao mar entre as duas localidades citadas.



Figura 4.4 – Afloramento do Xisto Kybulup na praia Trigelow. Note as diferenças na coloração e espessura das diferentes camadas. Pode-se ver a intercalação de quartzitos puros e grossos com outros, finos e em camadas mais delgadas. Vale ressaltar que a foto apresenta dobras F2, mas a clivagem S2 não é desenvolvida.



Figura 4.5 – Vista ao longo do afloramento do Xisto Kybulup na localidade de Point Ann. Note na quantidade de veios de quartzo concordantes com a foliação principal.

4.1.3 – Cobertura Sedimentar Fanerozóica

Em dois pontos na região de *Point Ann* foram observados conglomerados (Figura 4.6) e brechas (Figura 4.7), em discordância com o Xisto Kybulup. Essas rochas estão expostas em afloramento e como blocos soltos. Em um afloramento de conglomerado é possível observar padrão de granodecrescência ascendente, de tamanho seixo até areia muito grossa, e existe uma camada delgada de areia fina com silte e argila intercalada com estratos de sedimentos mais grossos (Figura 4.8). Essas rochas são parte da unidade Fanerozóica do mapa geológico (Anexo I).



Figura 4.6 – Conglomerado observado na localidade de Point Ann. Note no arredondamento dos clastos.



Figura 4.7 – Brecha observada na localidade de Point Ann. Em comparação com a figura 4.6, note na diferença em angulosidade e tamanho dos clastos.



Figura 4.8 – Padrão de granodecrescência ascendente observado em conglomerado na localidade de Point Ann.

4.2 – Geologia Estrutural

Neste capítulo são descritas estruturas primárias e secundárias, estas últimas formadas pelos esforços tectônicos que geraram o orógeno Albany-Fraser. As Dobras são as estruturas secundárias mais proeminentes na região. Através de uma análise destas estruturas, ordenou-se aqui todas as estruturas em 3 fases de deformação (D1, D2, D3).

4.2.1 – Estruturas Primárias.

4.2.1.1 – Foliação S0

A principal foliação primária identificada é o acamamento sedimentar (S_0). Este é preservado na variação em composição dos estratos e pela presença de estruturas sedimentares (Figuras 4.2a e 4.2b).

S_0 se encontra dobrada por todas as fases de deformação. A foliação S_0 em geral é encontrada paralela à clivagem S_1 . Quando os planos não estão paralelos, as foliações são vistas truncando-se umas com as outras.

4.2.2 – Estruturas Secundárias.

4.2.2.1 - Primeira fase de deformação – D_1

A primeira fase de deformação identificada produziu duas estruturas, as dobras F_1 e a clivagem plano axial S_1 . As estruturas desta fase são deformadas pelas fases D_2 e D_3 .

Dobra F1

Macroscopia

As dobras F1 são fechadas a isoclinais, com superfície axial vertical e caimento médio estatístico do eixo de 52° → 201° (Figura 4.9). Elas são vistas dobrando o plano de acamamento sedimentar (S0), e dobradas por F2 (Figuras 4.10 e 4.11) e F3 (Figura 4.12).

Quando analisados em estereograma, observa-se variação na orientação dos eixos de F1, de aproximadamente 150° até 230° em azimute, e caimento concentrado em torno dos 40° ou 75° . O estereograma dos pólos de S0 (Figura 4.13) mostra um padrão de distribuição que reflete a dobra F1: O eixo que se tira é compatível com os da figura 4.9, além da orientação da superfície axial em SW-NE.

Elas ocorrem simétricas e assimétricas, e podem ser observadas em escala microscópica, mesoscópica, e até regional (Figuras 4.14a, b, c). A evidência regional de F1 é observada na figura 4.11c, recorte do Anexo I. Nele pode-se observar uma camada do Quartzito Kundip como uma dobra isoclinal, sem raíz, contida na Soleira Cowerdup, que por sua vez é dobrada regionalmente por F2 (Figura 4.14c).

Observa-se variação na geometria das charneiras e no ângulo de abertura entre os flancos. As camadas mais competentes desenvolvem charneiras mais arredondadas, enquanto as camadas menos competentes acomodam a deformação em charneiras angulosas, pontiagudas, por vezes assemelhando-se a forma em cúspide (Figuras 4.15 e 4.16).

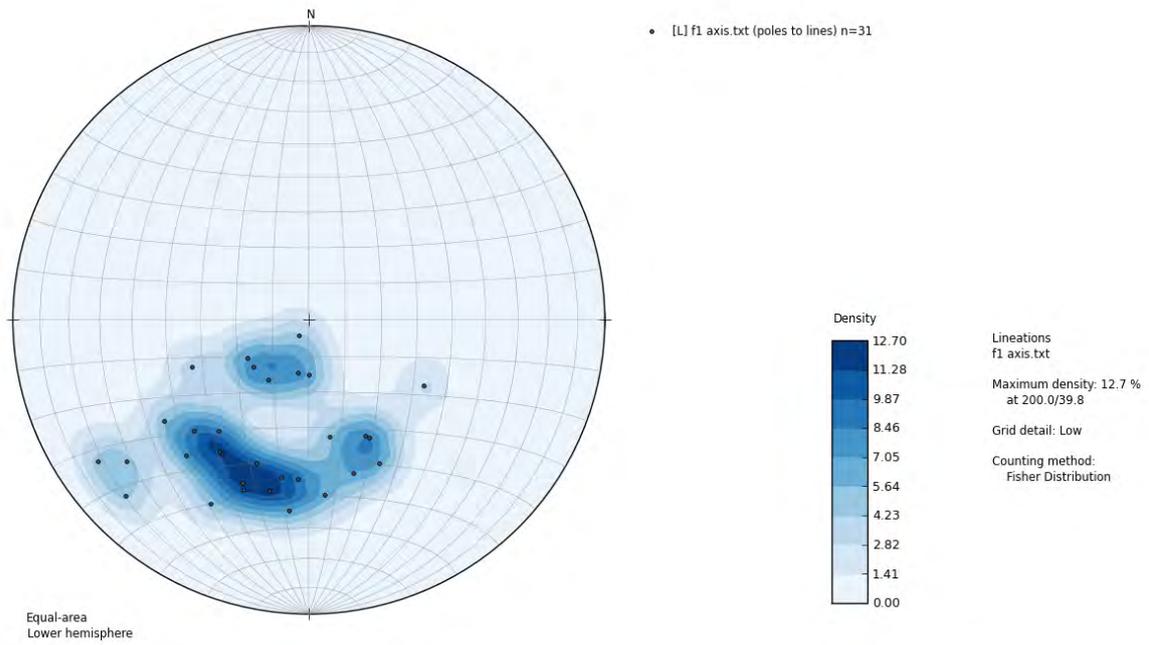


Figura 4.9 – Estereograma das medidas do eixo da dobra F1, com isolinhas de densidade. Rede Schmidt de igual área – hemisfério inferior. Eixo médio estatístico: $52 \rightarrow 201^\circ$. $n = 31$. Notar a variação em orientação dos eixos, e a alta densidade de pontos com mergulho em torno dos 40° e 75° .

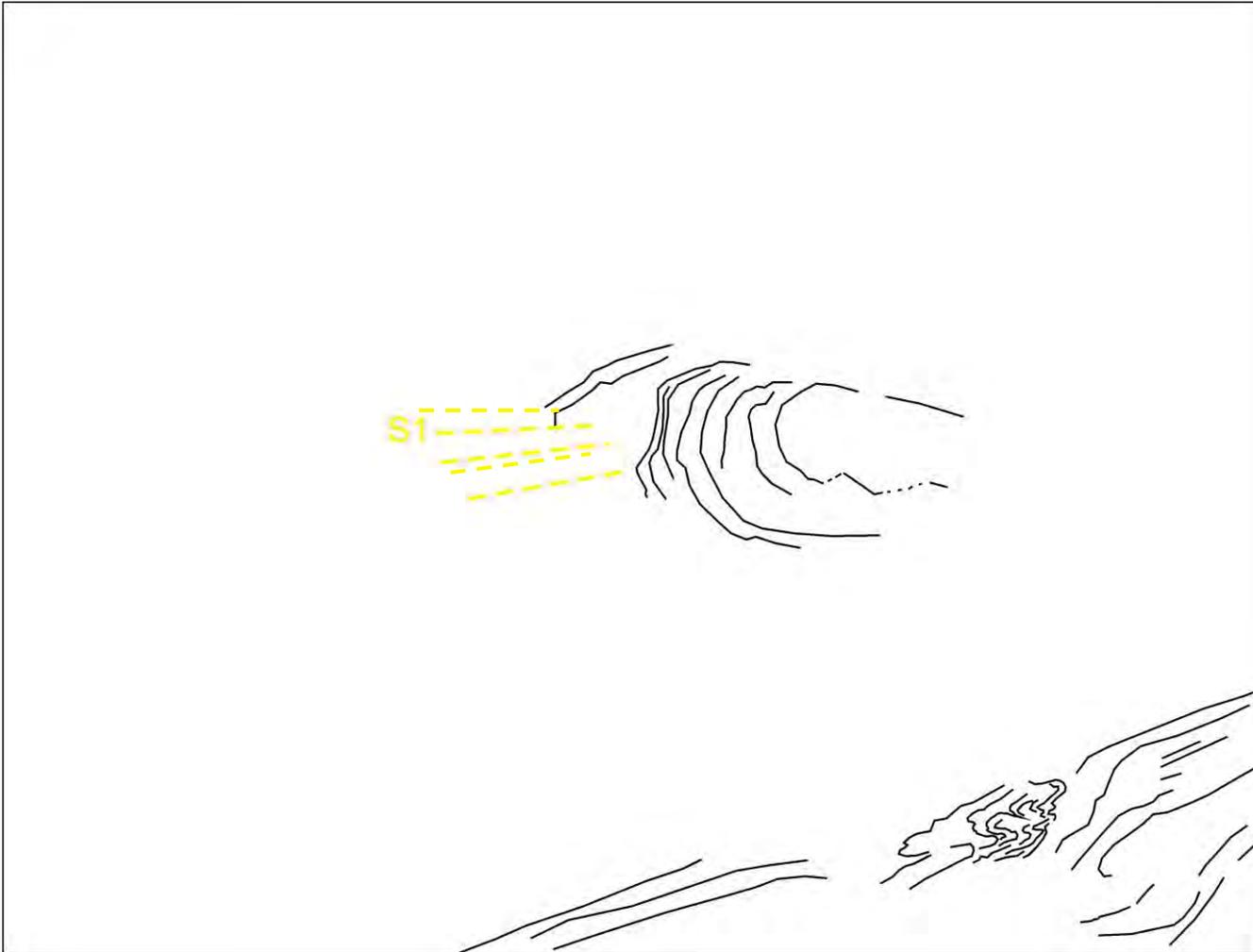




Figura 4.10 – Dobra F1 em afloramento da praia Trigelow. Pode-se observar a clivagem S1 (destacada em amarelo), truncando o plano de acamamento sedimentar. Essa fotografia é detalhe do afloramento na foto da figura 4.11, apresentada adiante. A foto foi capturada em perspectiva diferente do mesmo afloramento, revelando uma dobra F1 contida no flanco NW da dobra F2.

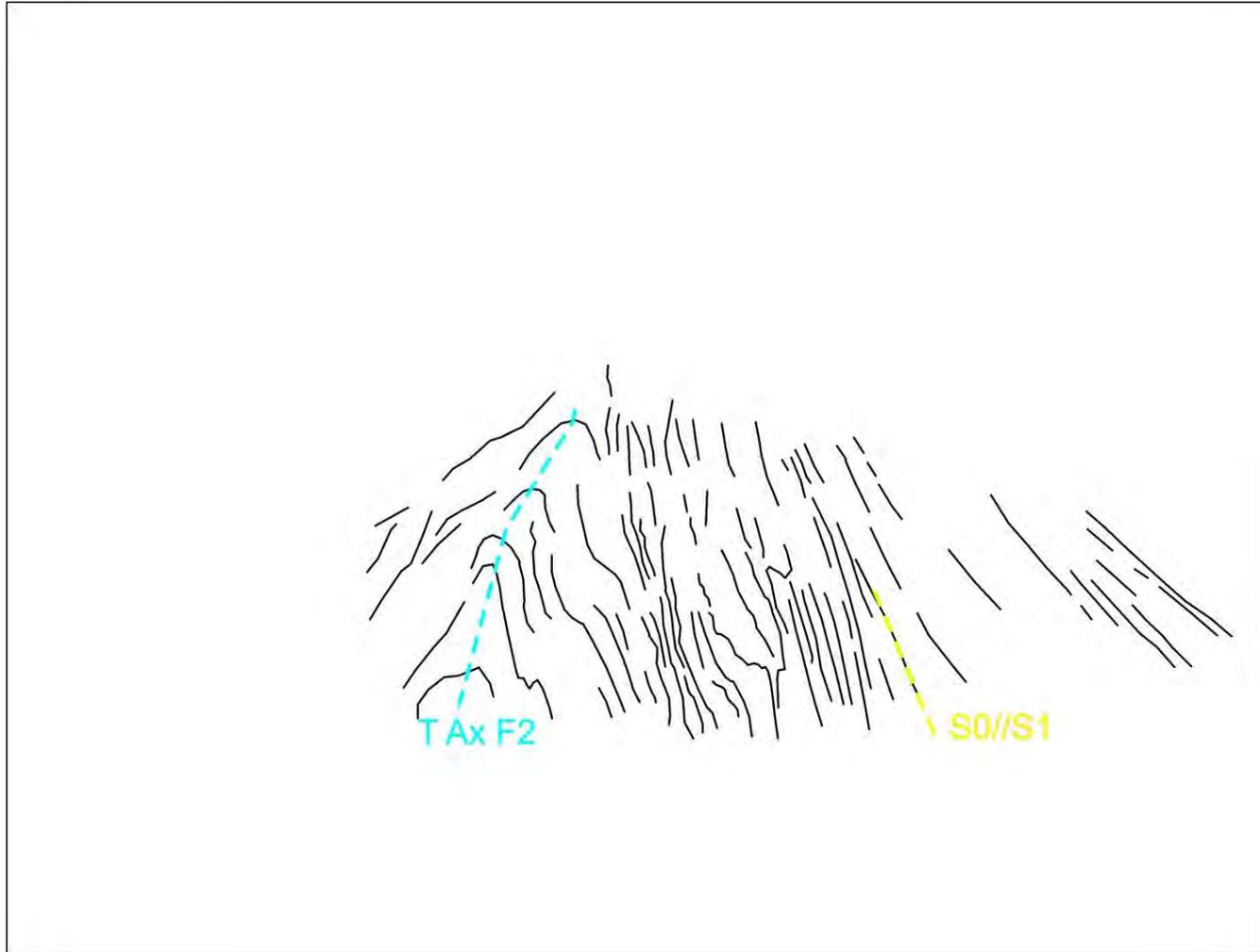




Figura 4.11 - Dobras F2 em afloramento na praia Trigelow. Note como desse ângulo não é possível ver F1 redobrado. A figura 4.10 é uma foto em perspectiva diferente desse mesmo afloramento, mostrando uma dobra F1 contida no flanco NW da dobra F2 em 4.11.

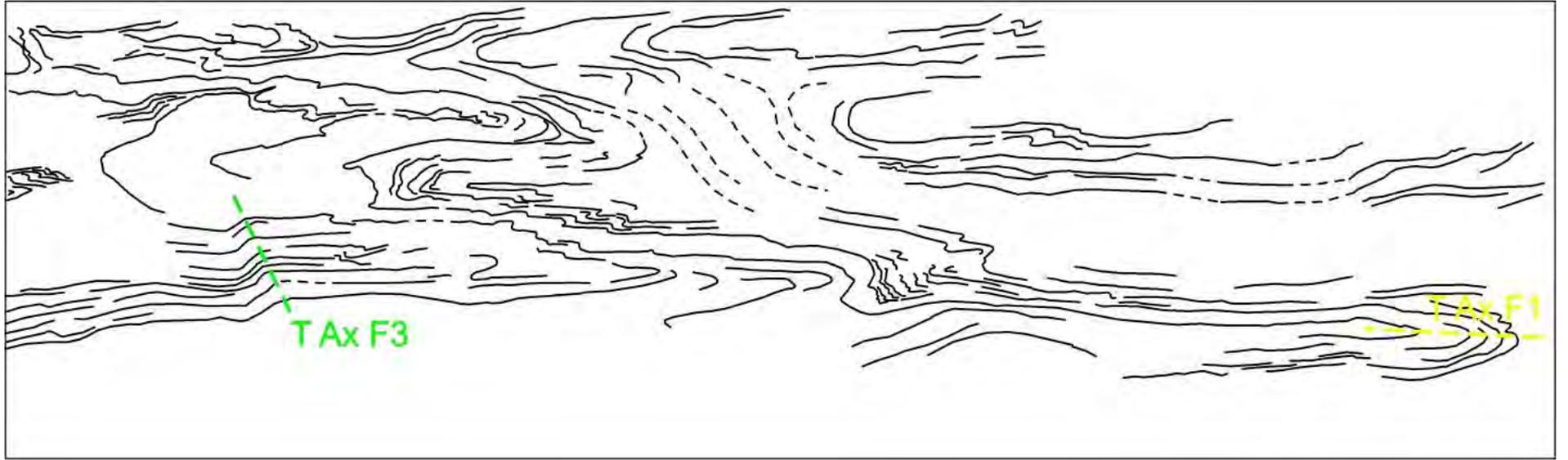




Figura 4.12 – Fotomosaico de dobras F1 e F3 em afloramento na praia Trigelow. Note no caráter dúctil das estruturas. Nessa foto podem-se observar diferentes geometrias das dobras F1 que estão relacionadas à variação na espessura das camadas e ao material que as compõem. Quando a camada é mais competente, a charneira é arredondada, e quando não é, angulosa/pontiaguda. Observe o dobramento F3 no canto SW do fotomosaico, ela ocorre em quartzitos competentes, e tem geometria de *Kink-Bands*.

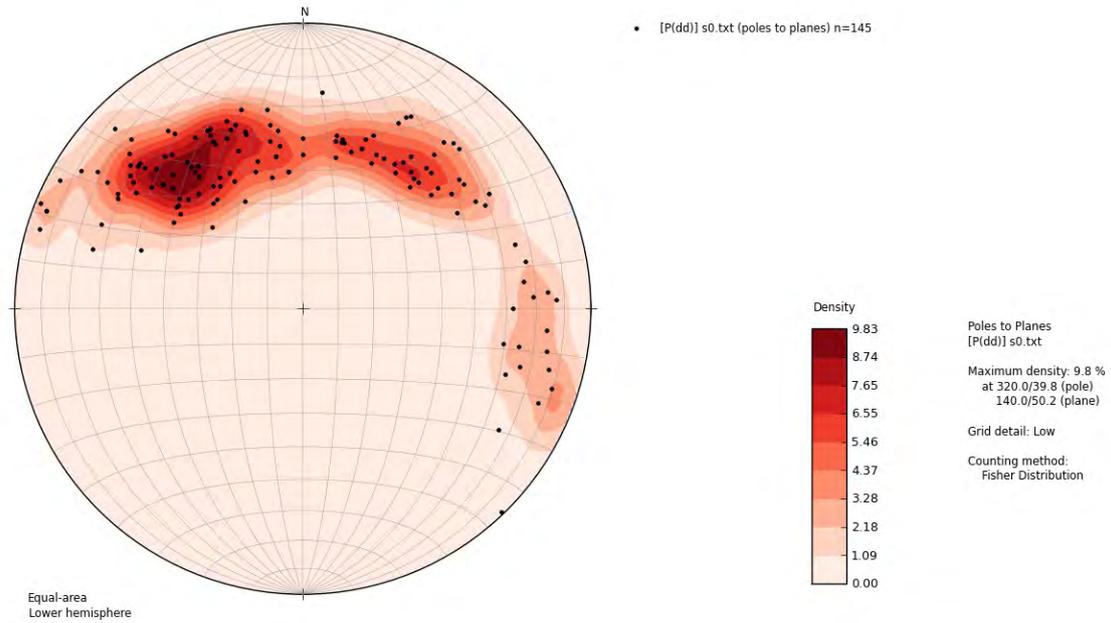


Figura 4.13 – Estereograma dos pólos dos planos S0, com isolinhas de densidade. Rede Schmidt de igual área – hemisfério inferior. Eixo estatístico da dobra: $46 \rightarrow 192^\circ$. $n = 145$. A distribuição dos pontos reflete claramente uma dobra de plano axial sub vertical com strike NE-SW, e eixo com caimento moderado para SW, a dobra F1.

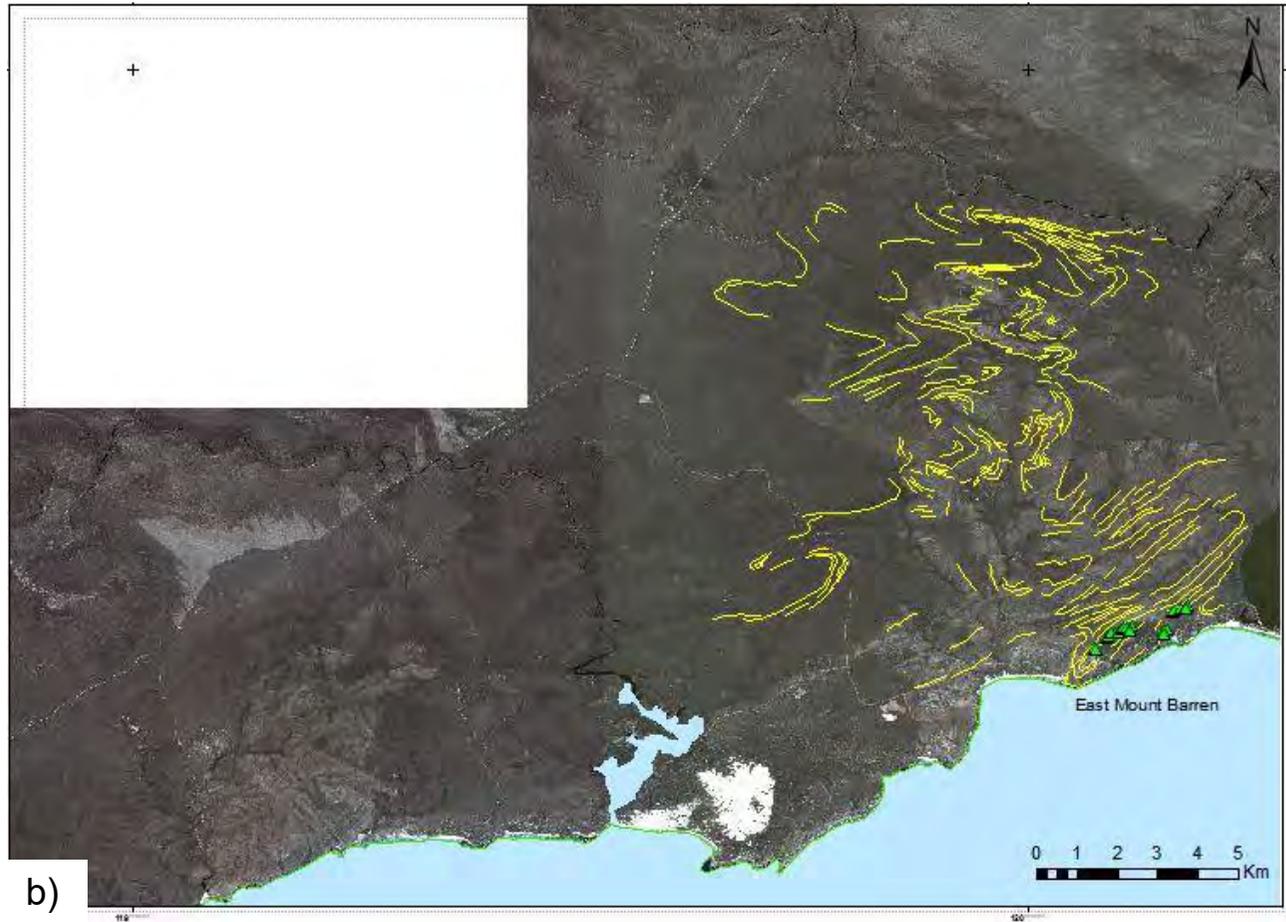


Figura 4.14b - Fotomosaico da região do *East Mount Barren*. Triângulos verdes destacam os pontos visitados durante a etapa de campo, linhas amarelas as interpretações.

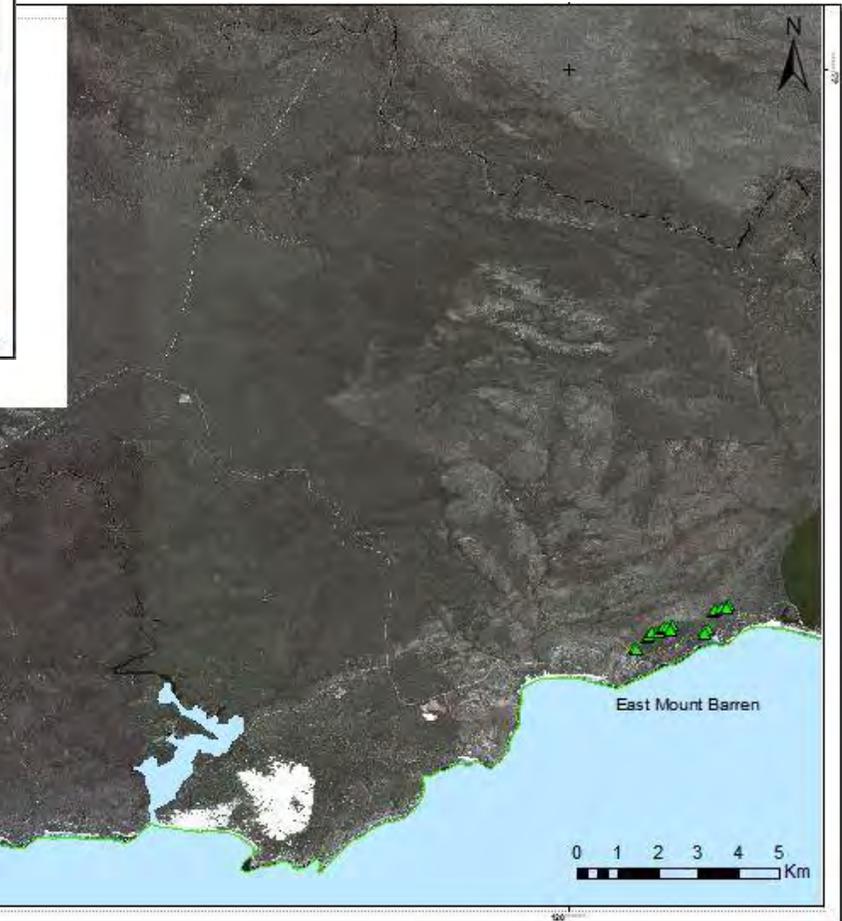


Figura 4.14a - Fotomosaico de imagens Landsat 7 (banco de dados do Google Earth) da região do *East Mount Barren*. Triângulos verdes destacam os pontos visitados durante a etapa de campo.

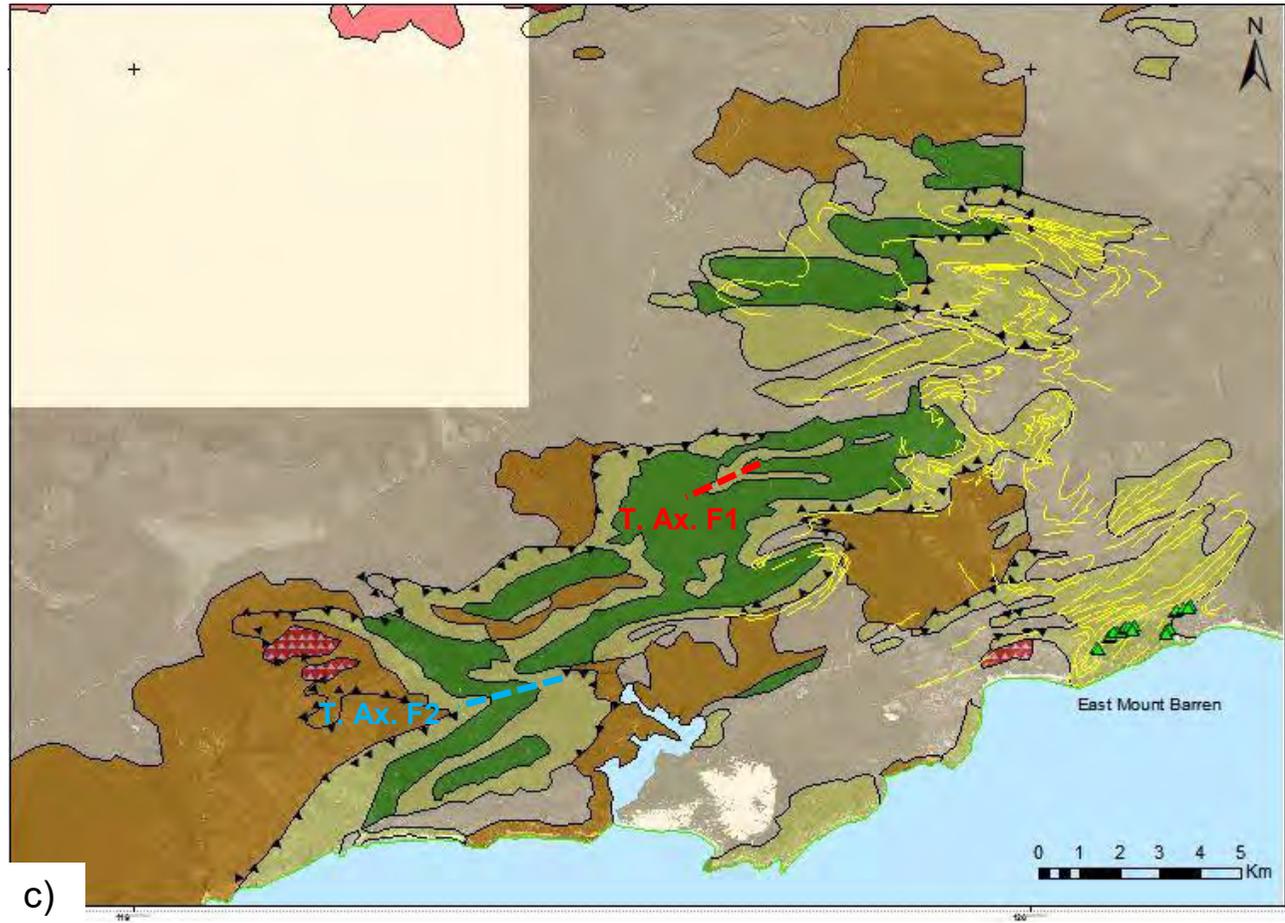


Figura 4.14c – Recorte do mapa geológico do *Fitzgerald River National Park* (Anexo I) sobreposto ao Fotomosaico da região do *East Mount Barren*, triângulos verdes destacam os pontos visitados durante a etapa de campo. A legenda é a mesma adotada no mapa compilado: Amarelo – Quartzito Kundip; Laranja – Xisto Kybulup; Verde – Soleira Cowerdup; Vermelho e branco - Brecha. Em vermelho está destacado o traço axial de uma dobra isoclinal F1 sem raiz no Quartzito Kundip, contida dentro da Soleira Cowerdup. Em azul está destacado o traço axial de uma dobra fechada F2 na Soleira Cowerdup. Note a diferença na geometria das duas dobras.



Figura 4.15 - Dobra isoclinal F1 em afloramento às margens da drenagem imediatamente a sudeste da localidade de *Point Ann*. Note a diferença na morfologia da charneira das dobras: A camada de quartzito puro que compõe os flancos mais espessos forma uma charneira arredondada, enquanto o material mais fino assume forma pontiaguda, sem chegar próximo a preservar a espessura original do estrato. A dobra F1 da foto encontra-se contida em um flanco de F2.

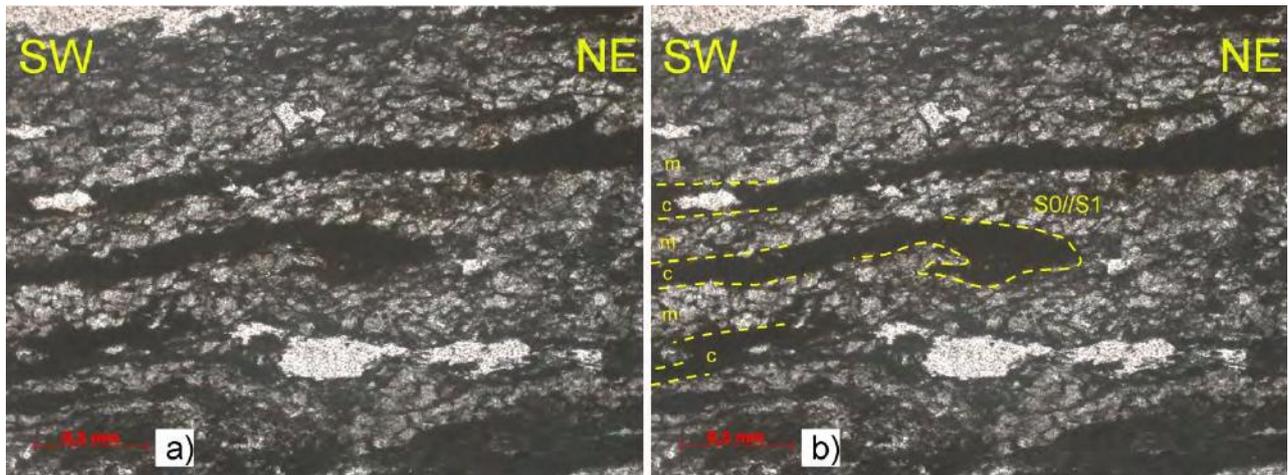




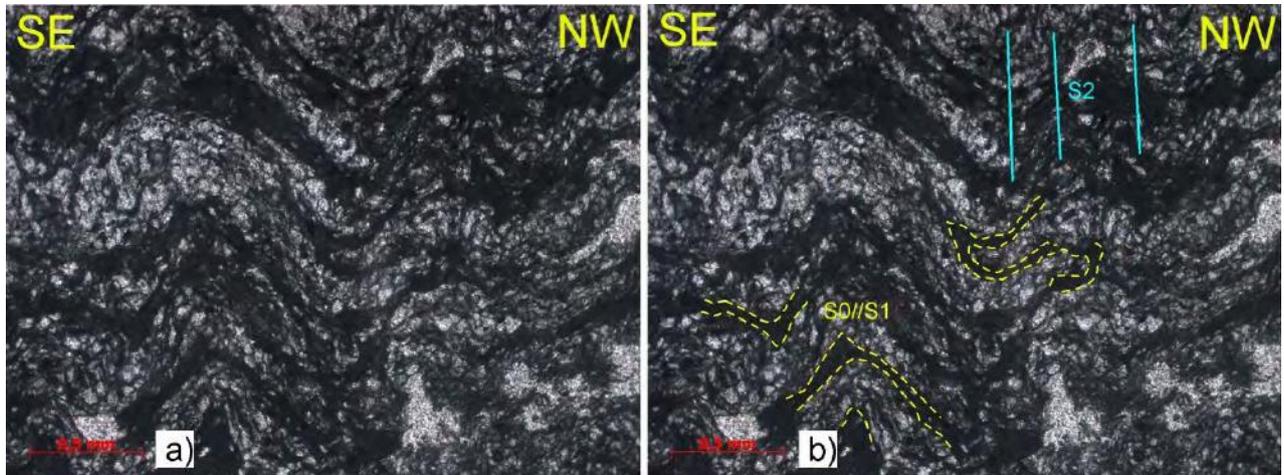
Figura 4.16 - Dobra cerrada F1 em afloramento da praia Trigelow. Note a diferença na morfologia das dobras em comparação com a da figura 4.12. Agora a dobra F1 também ocorre em uma camada de quartzito puro, porém não há a intercalação de material mais fino. Nesse caso, as charneiras são arredondadas e as dobras mais abertas.

Microscopia

Foi possível observar resquícios de dobras F1 em lâminas delgadas de dois cortes de orientação distinta, um paralelo ao plano axial de F2 (Figuras 4.14a e 4.14b), e um perpendicular a ele, vertical, de frente para a charneira de F2 (Figuras 4.15a e 4.15b). Em ambos os casos a dobra é vista apenas nas camadas menos competentes, mais ricas em material fino e micas brancas. No corte paralelo, F1 aparece como uma charneira isolada na clivagem S0. No perpendicular, se vê uma possível dobra F1 sendo redobrada por crenulações relacionadas a F2.



Figuras 4.14a e 4.14b – Foto de lâmina delgada de amostra do Xisto Kybulup (Luz transmitida, nicóis paralelos), colhida na localidade de Point Ann. A figura 4.14a é a foto da lâmina, 4.14b, a mesma com interpretação. As manchas de coloração mais clara são impregnações de cola do processo de laminação. Na foto 4.14b estão demarcadas as zonas de clivagem e os micrólitos característicos de clivagens espaçadas zonadas. O corte é paralelo ao plano axial de F2. Na imagem pode-se observar a clivagem espaçada S0//S1 dobrada F1 em forma de anzol.



Figuras 4.15a e 4.15b – Foto de lâmina delgada de amostra do Xisto Kybulup (Luz transmitida, nicóis paralelos), colhida na localidade de Point Ann. A figura 4.15a é a foto da lâmina, 4.15b, a mesma com interpretação. Na foto 4.15b estão marcadas as clivagens S0//S1 e S2, o corte da lâmina delgada é perpendicular ao plano axial de F2, vertical. Observa-se um possível dobramento F1 em uma camada delgada de material mais fino sendo dobrado por crenulações S2 relacionadas ao desenvolvimento F2, da segunda fase de dobramento. Vale notar que a geometria das charneiras é heterogênea até em escala microscópica, produzindo os mesmos padrões observados em afloramento: Camadas competentes desenvolvem charneiras mais arredondadas, enquanto as menos competentes, angulosas.

Foliação S1

Macroscopia

A clivagem S1 é distinguível macroscopicamente de S0 apenas em zonas de charneira de F1 devido ao paralelismo que ocorre entre as duas superfícies, consequência da geometria isoclinal da dobra (Figura 4.10). Em afloramento, S1 ocorre como uma clivagem disjuntiva, e é dobrada por F2 e F3 (Figuras 4.11 e 4.12).

Quando plotadas em estereograma, a distribuição dos pólos das medidas de S1 evidenciam os flancos da dobra F2 (Figura 4.16), de superfície axial paralela à de F1, e caimento do eixo em menor ângulo.

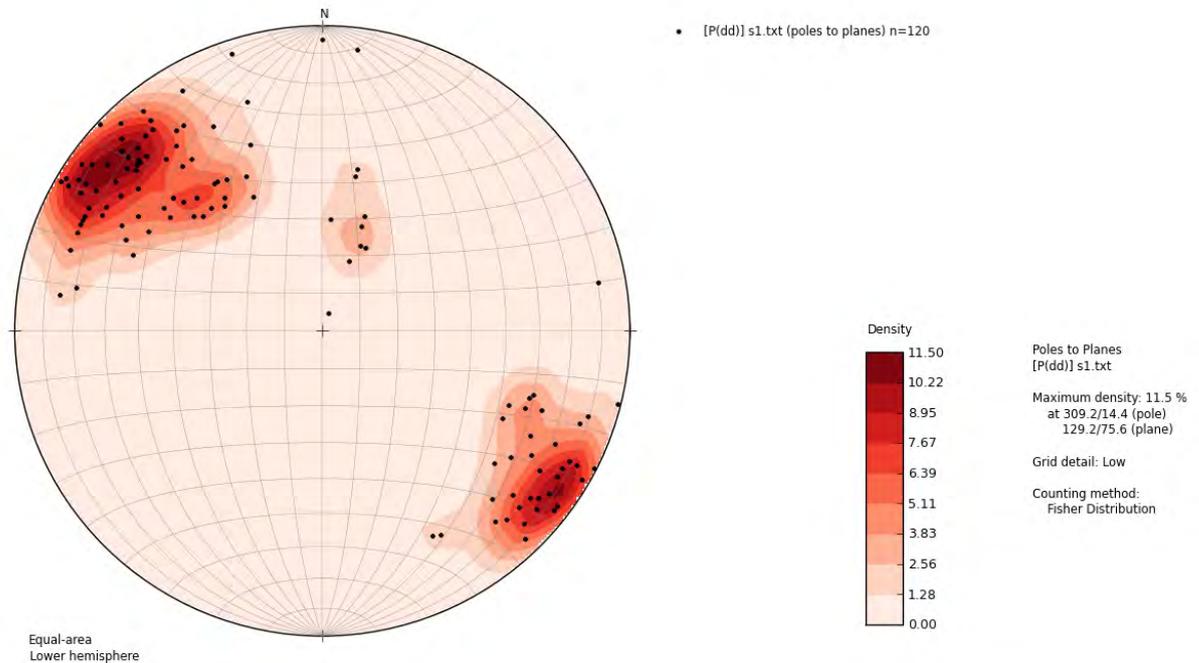
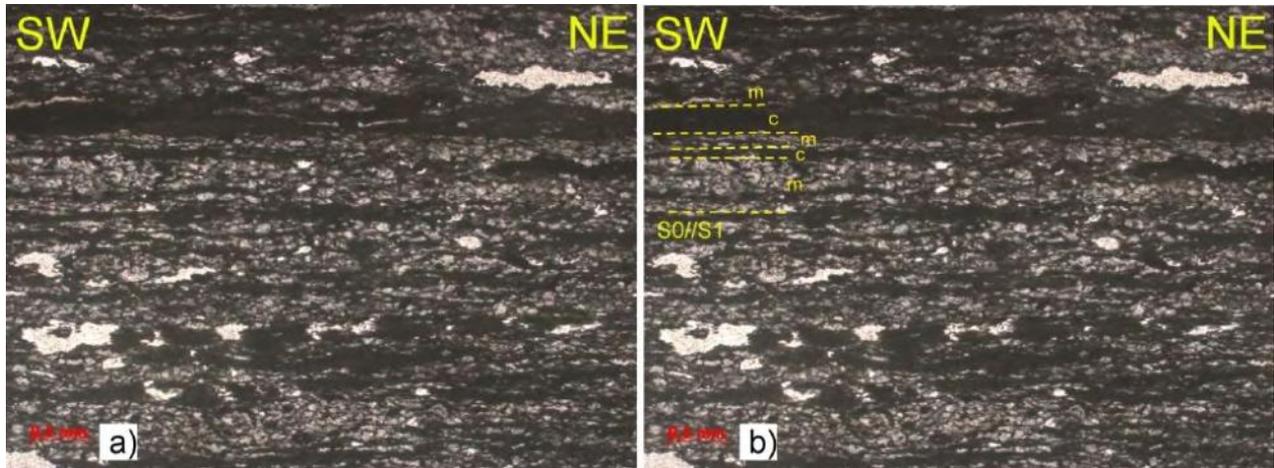


Figura 4.16 – Estereograma dos pólos dos planos S1, com isolinhas de densidade. Rede Schmidt de igual área – hemisfério inferior. Eixo aproximado da dobra: $32 \rightarrow 216^\circ$. $n = 120$. A distribuição dos pólos evidencia uma dobra de superfície axial sub vertical de strike NE-SW, e caimento do eixo em ângulo baixo a moderado para SW, a dobra F2.

Microscopia

A foliação secundária S1 consiste em uma clivagem espaçada disjuntiva lisa, com domínios de clivagem paralelos e zonas bem definidas. Nos domínios de clivagem que marcam a foliação existe maior concentração de micas brancas, possivelmente muscovita, identificadas por seu hábito mais tabular e sua cor de interferência característica, que as diferem dos grãos de quartzo recristalizados.

Assim como quando analisadas macroscopicamente, é comum observar S1 paralela à foliação composicional S0 (Figuras 4.17a e 4.17b). Nas zonas de charneira de F1, essas duas foliações se intersectam.



Figuras 4.17a e 4.17b – Foto de lâmina delgada de amostra do Xisto Kybulup (Luz transmitida, nicóis paralelos), colhida na localidade de Point Ann. A figura 4.17a é a foto da lâmina, 4.17b, a mesma com interpretação. Em 4.17b estão marcadas as clivagens S0//S1 e as zonas de clivagem e micrólitos característicos de clivagens espaçadas zonadas. O corte da lâmina é paralelo ao plano axial de F2.

4.2.2.2 - Segunda fase de deformação – D₂

A segunda fase de deformação produziu duas estruturas, as dobras F2 e a clivagem plano axial S2. As dobras F2 deformam todas as estruturas anteriores e são as dobras mais evidentes e bem preservadas na área de trabalho.

Dobra F2

Macroscopia

As dobras F2 são fechadas a apertadas, com superfície axial vertical, e caimento do eixo médio de $39 \rightarrow 209^\circ$ (Figura 4.18). O estereograma dos eixos de F2 não apresenta variação significativa em orientação, mas mostra uma variação em grau de mergulho consistente dos 15° até 60° . Assim como F1, podem ser simétricas e assimétricas, e observadas em escala de microscópio até regional (Figuras 4.14c, 4.19, 4.20, 4.21). A distribuição dos pólos de S1 na rede estereográfica também mostra a dobra F2, e tem eixo médio compatível com os medidos em campo para F2 (Figura 4.16).

Nos quartzitos finos de Point Ann é possível observar dobras ptigmáticas F2

em veios delgados de quartzo, onde na encaixante há desenvolvimento da foliação S2 (Figura 4.22).

Pela análise dos afloramentos em campo, sabe-se que F2 redobra o acamamento sedimentar S0 e dobra as estruturas F1 e S1 (Figuras 4.10, 4.11, 4.23, 4.24, 4.25).

Vale observar que F2 é a estrutura mais proeminente na área, e, apesar de sofrer deformações posteriores, continua muito bem preservada e evidente nas rochas.

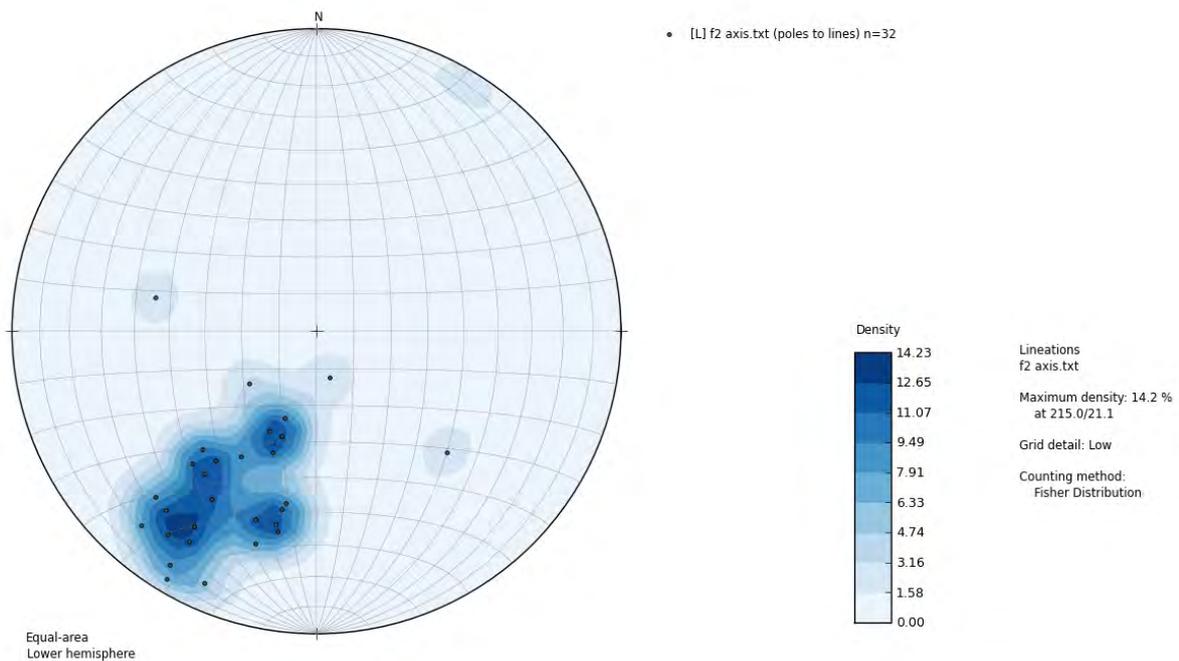


Figura 4.18 – Estereograma das medidas do eixo da dobra F2, com isolinhas de densidade. Rede Schmidt de igual área – hemisfério inferior. Eixo médio estatístico: $39 \rightarrow 209^\circ$. $n = 32$. Note a variação no ângulo de caimento, consistente dos 15° até 60° para SW.

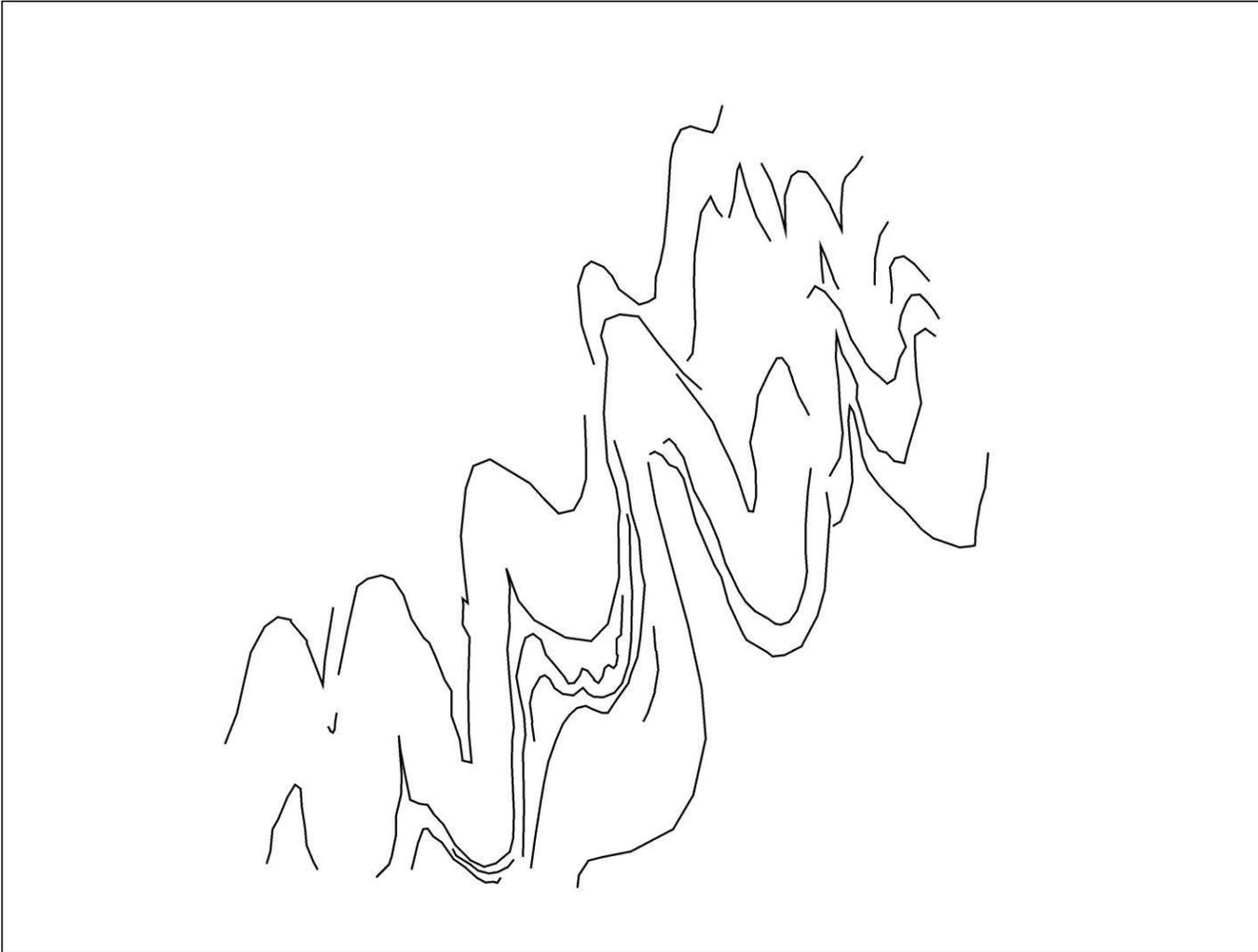




Figura 4.19 - Dobras F2 em afloramento da praia Trigelow. Note a diferença entre a geometria das charneiras formadas pelas camadas. As camadas mais competentes (Quartzito cinza) desenvolvem charneiras arredondadas, enquanto as menos competentes (já erodidas) desenvolvem charneiras angulosas/pontiagudas.

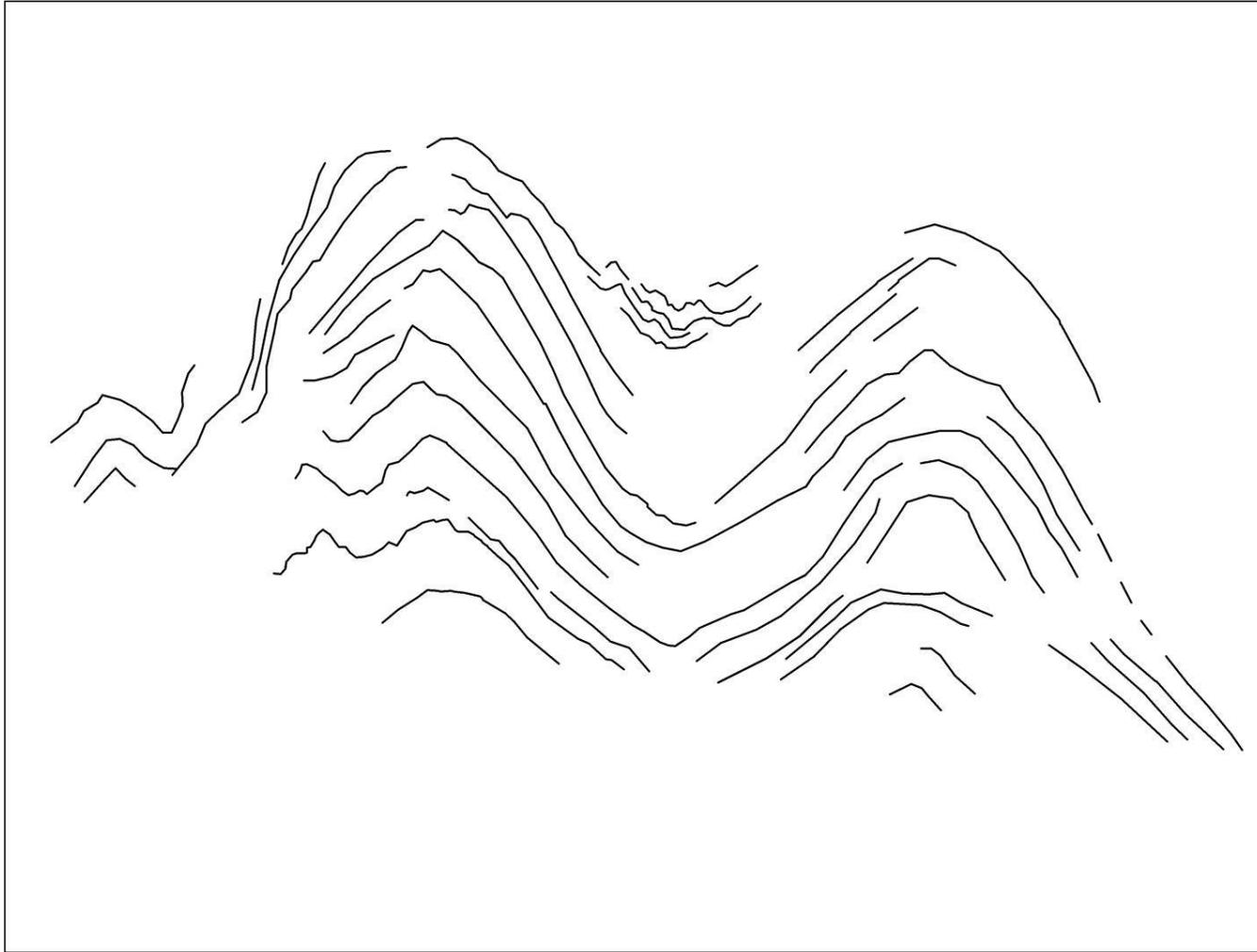




Figura 4.20 – Dobras F2 em afloramento da praia Trigelow. Aqui as dobras F2 têm charneiras mais arredondadas no conjunto de camadas de quartzito puro. Repare como a clivagem S2 não se desenvolveu nesse conjunto de camadas.

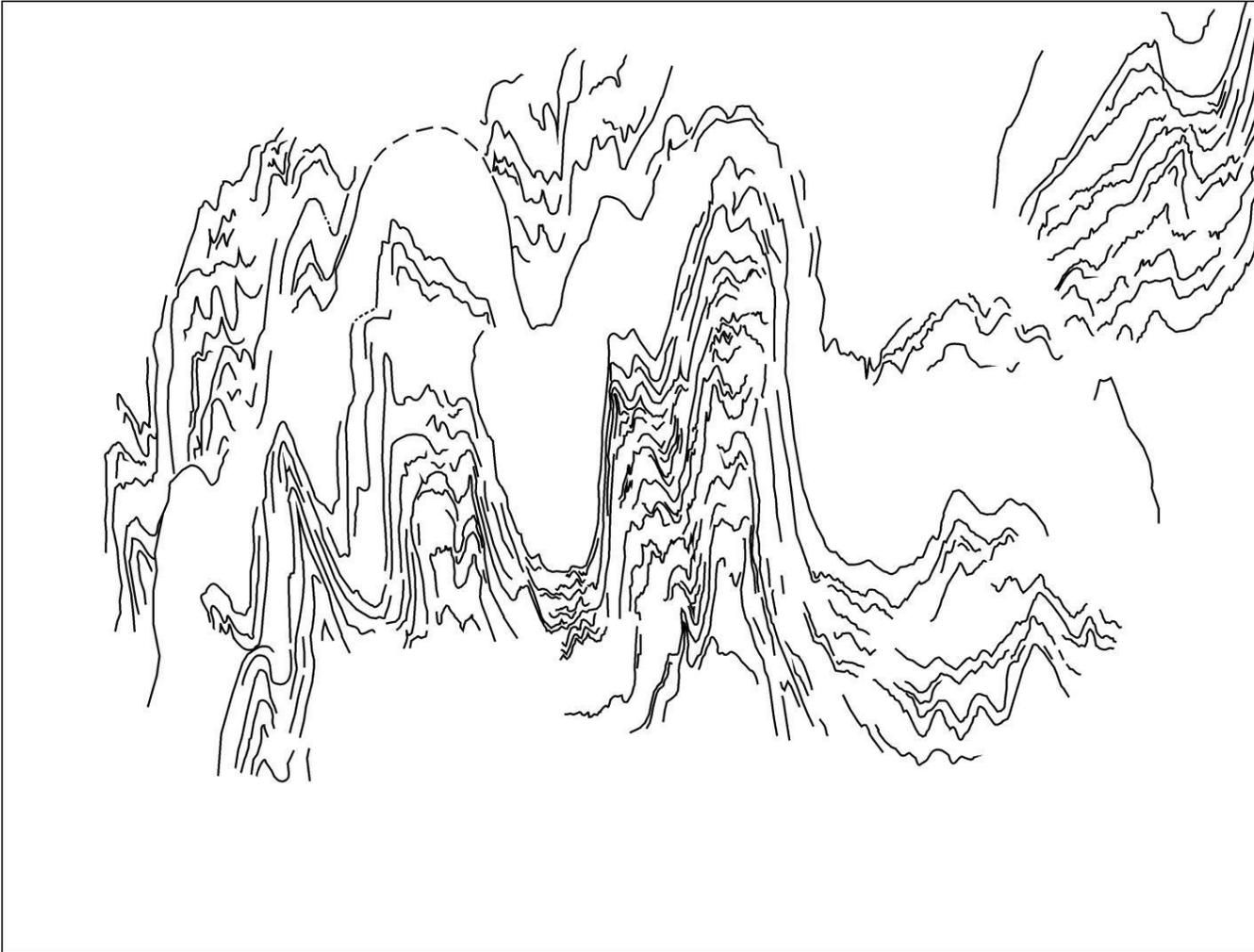




Figura 4.21 – Dobras F2 em afloramento da praia Trigelow. Nesse caso os flancos das dobras são quase verticais, as camadas de material mais fino (escuro) acomodam dobras parasíticas F2, e não há desenvolvimento de clivagem S2 pervasiva visível nessa escala.

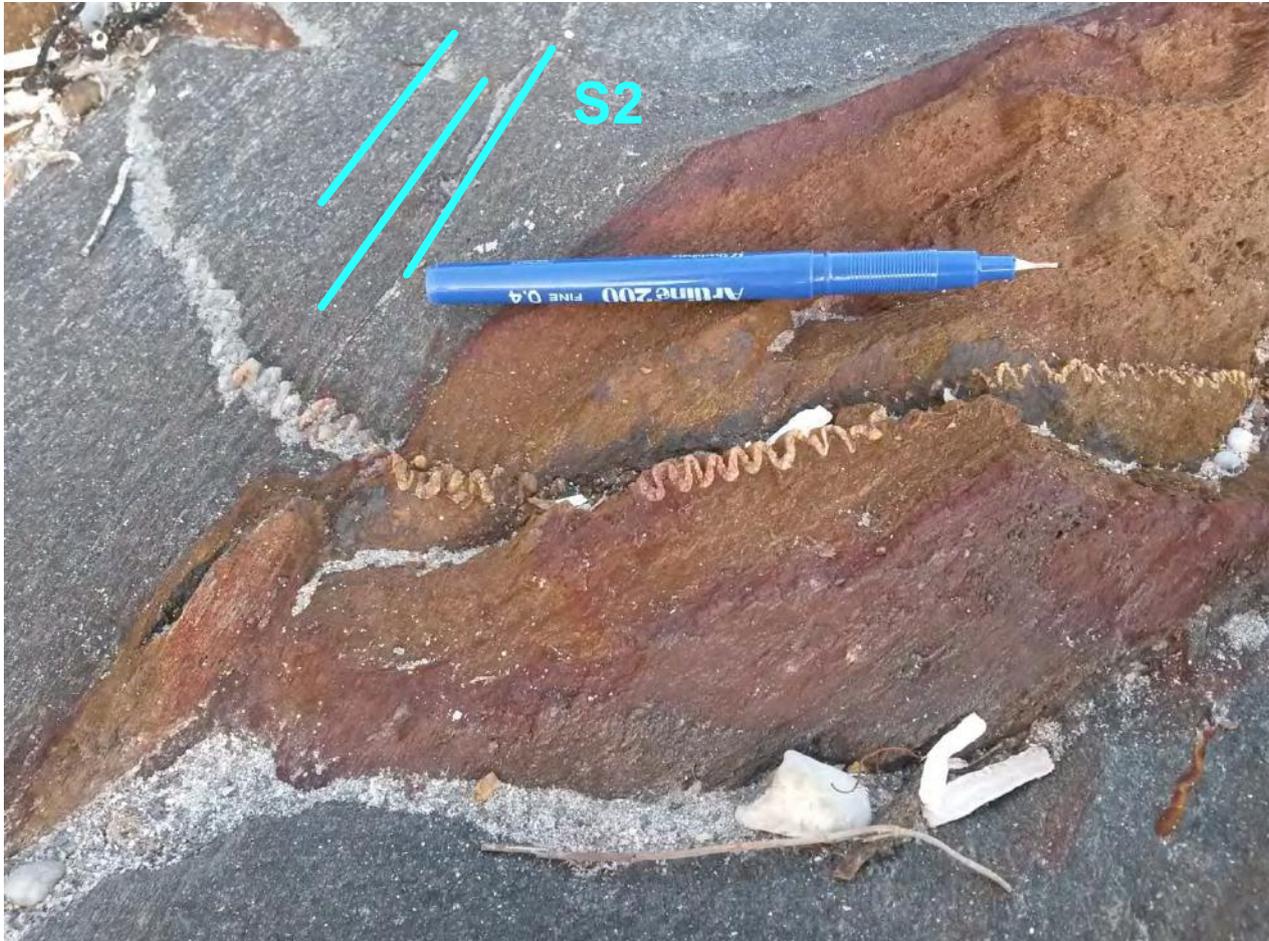


Figura 4.22 – Dobras ptigmáticas F2 em veio de quartzo no Xisto Kybulup. Afloramento na localidade de Point Ann. Note como a clivagem S2 (Indicada em azul) não é desenvolvida no veio.

Observa-se variação na geometria das charneiras e no ângulo de abertura entre os flancos. As camadas mais competentes desenvolvem charneiras mais arredondadas (Figura 4.20), enquanto as menos competentes acomodam a deformação em charneiras angulosas/pontiagudas (Figura 4.19). Apesar de serem classificadas como fechadas a apertadas, as dobras F2 podem chegar a ter flancos sub verticais, assumindo então uma forma quase isoclinal (Figura 4.21).

Quando a intercalação das camadas delgadas de material fino e mais grosso é homogênea, ocorrem dobras em Chevron (Figura 4.26). Também é possível observar refração da superfície axial das dobras F2 localmente (Figuras 4.27 e 4.28).





Figura 4.23 - Dobras isoclinais F1 em afloramento na praia Trigelow. O afloramento está visto em planta. Note como desse ângulo não é possível ver F2 redobrando as camadas.



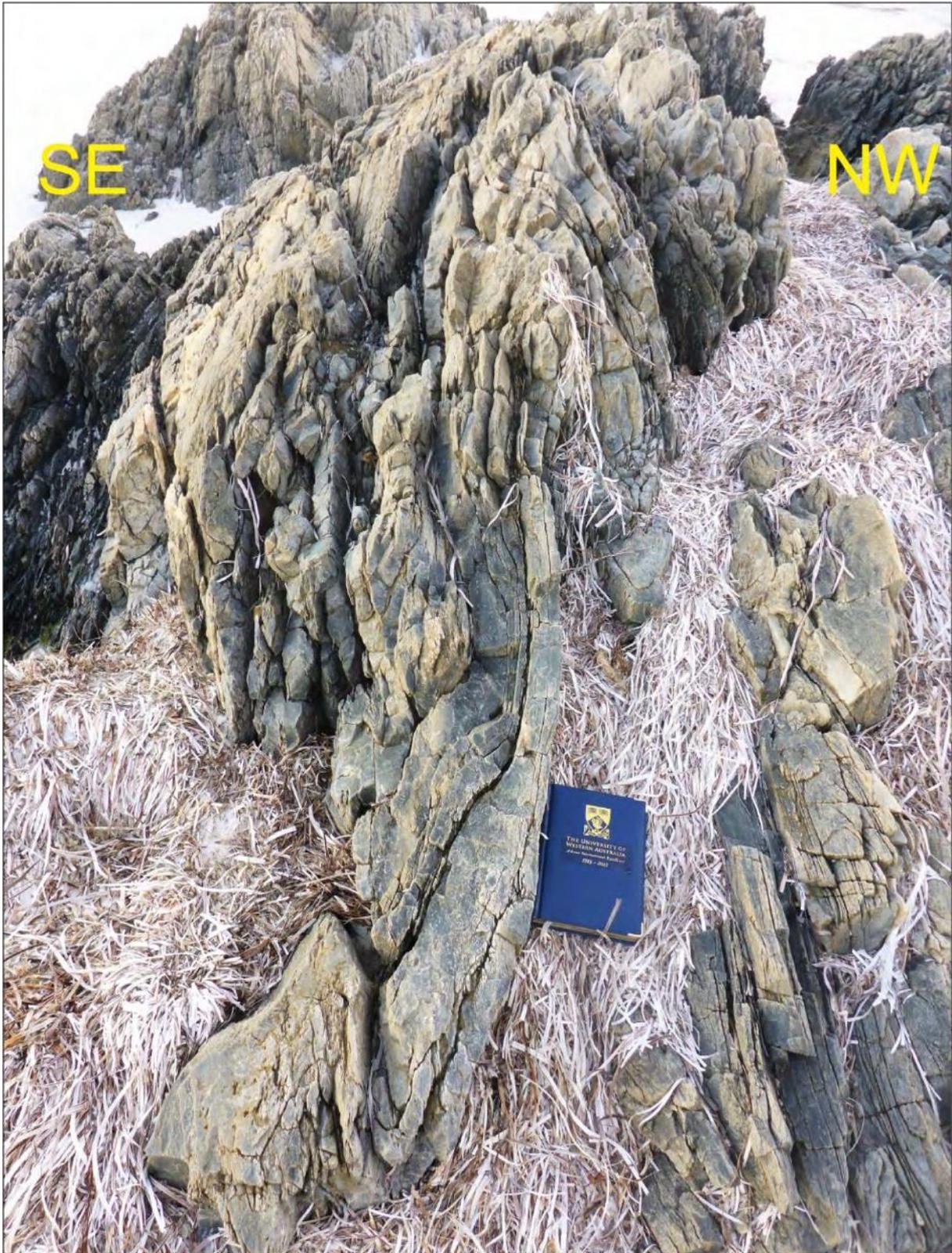


Figura 4.24 - Dobras F1 em afloramento na praia Trigelow. Essa foto é uma perspectiva diferente da apresentada na figura 5.1a. Desse ângulo o dobramento F2 se torna visível, redobrando F1.

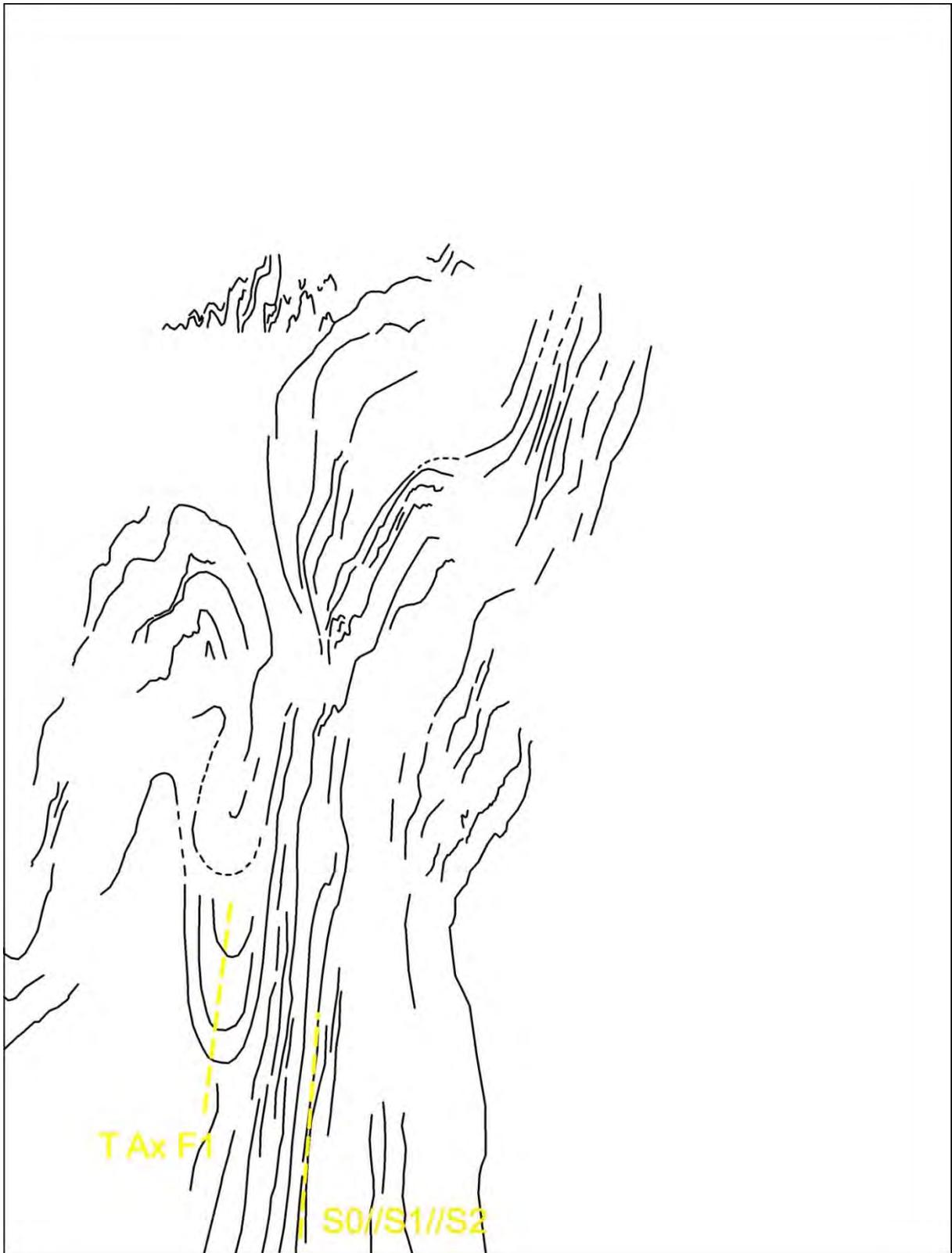




Figura 4.25 - Dobra F1 contida em flanco de F2, em afloramento na praia Trigelow. Observe F1 na porção esquerda inferior da foto, ela aparece redobrada por F2. No caso, S2 encontra-se paralela a S0//S1 devido a verticalidade das camadas.

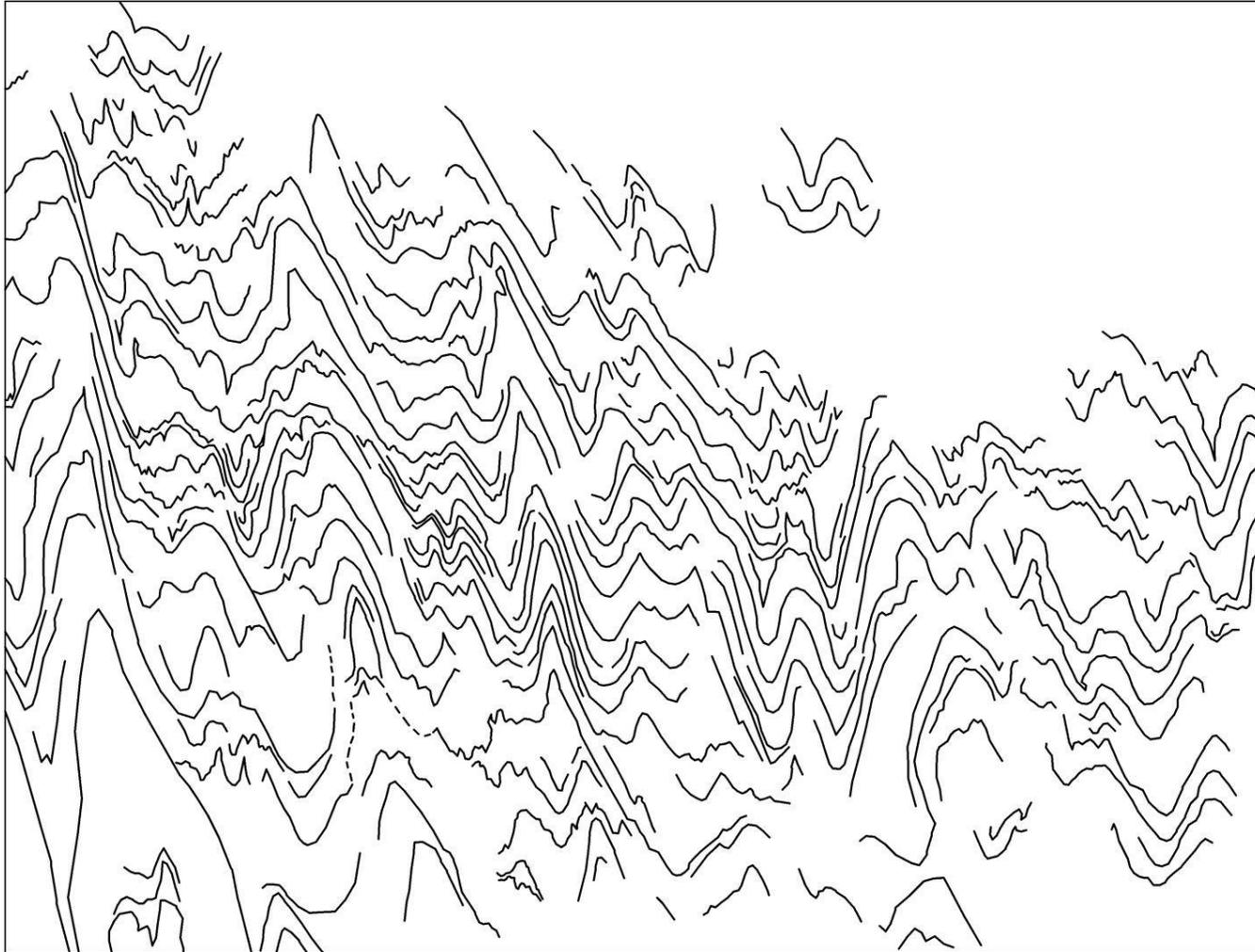




Figura 4.26 - Dobras F2 em afloramento da praia Trigelow. Aqui as dobras são harmônicas, assimétricas, e com geometria em chevron. Nesse local a intercalação entre estratos de material mais fino com os de quartzito mais grosso é homogênea, e pode-se observar o mesmo padrão de variação na geometria das charneiras vistas em F1: Camadas mais competentes desenvolvem charneiras mais arredondadas, e as menos competentes, angulosas.

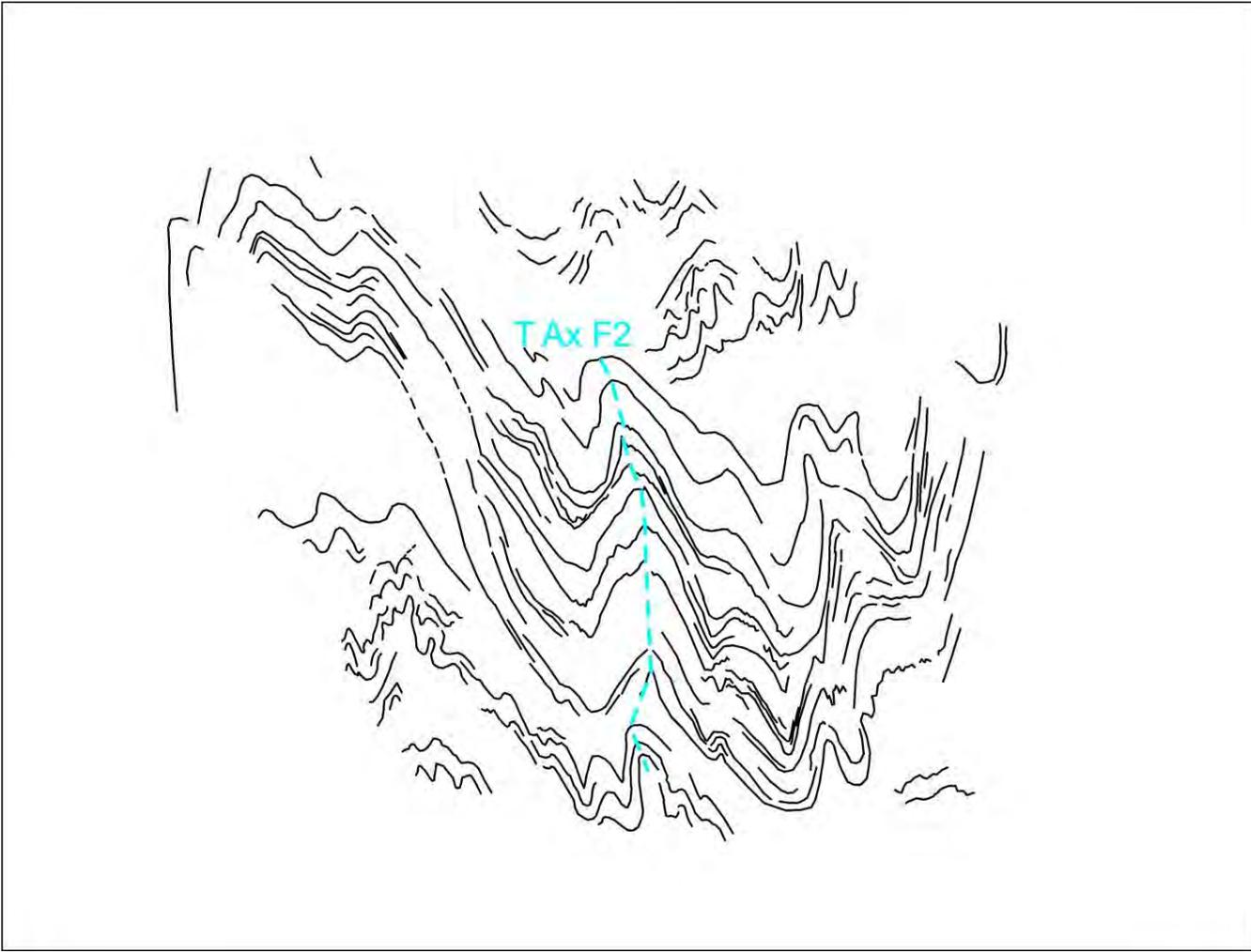




Figura 4.27 – Dobra F2 em afloramento na praia Trigelow. Nessa foto vale notar a orientação do traço axial de F2 à medida que se passa da camada de material mais fino (escuro) para a de quartzito puro: É possível observar a refração do traço no contato entre as camadas.

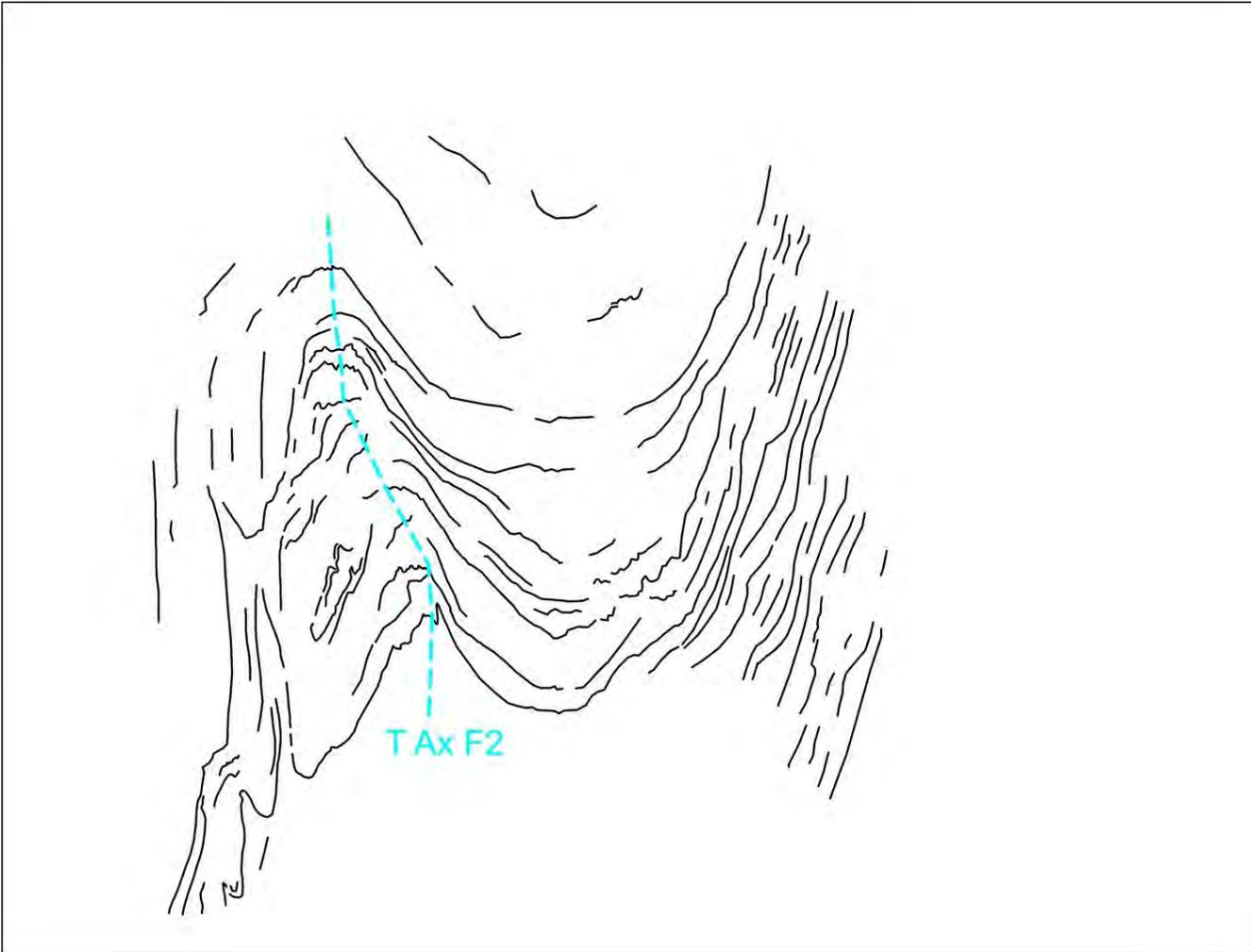




Figura 4.28 - Dobra F2 em afloramento na praia Trigelow. Novamente, aqui vale notar a orientação do traço axial de F2 à medida que se passa da camada de material mais fino (escuro) para a de quartzito puro: É possível observar a refração do traço no contato entre as camadas.

Foliação S2

Macroscopia

A clivagem plano axial S2 é virtualmente paralela à superfície axial de F1, e apesar de comum, não é tão evidente quanto F2, observada localmente. Ao analisar o estereograma das medidas de S2, é possível observar um padrão de distribuição dos pontos que mostra um ângulo de variação no sentido de mergulho de S2, em torno de 40° (Figura 4.29).

A foliação é mais expressiva em zonas de charneira de F2, onde trunca as superfícies S0 e S1, paralelas (S0//S1). Macroscopicamente, ela é mais presente nas camadas de material menos competente (Figuras 4.30a e 4.30b) onde se desenvolve como uma clivagem contínua, mas ocorre também como uma clivagem espaçada nas camadas de quartzitos mais espessos e puros.

Na figura 4.22 é possível ver a clivagem S2 se desenvolvendo na encaixante de dobras ptigmáticas F2 em um veio de quartzo do afloramento na localidade de *Point Ann*.

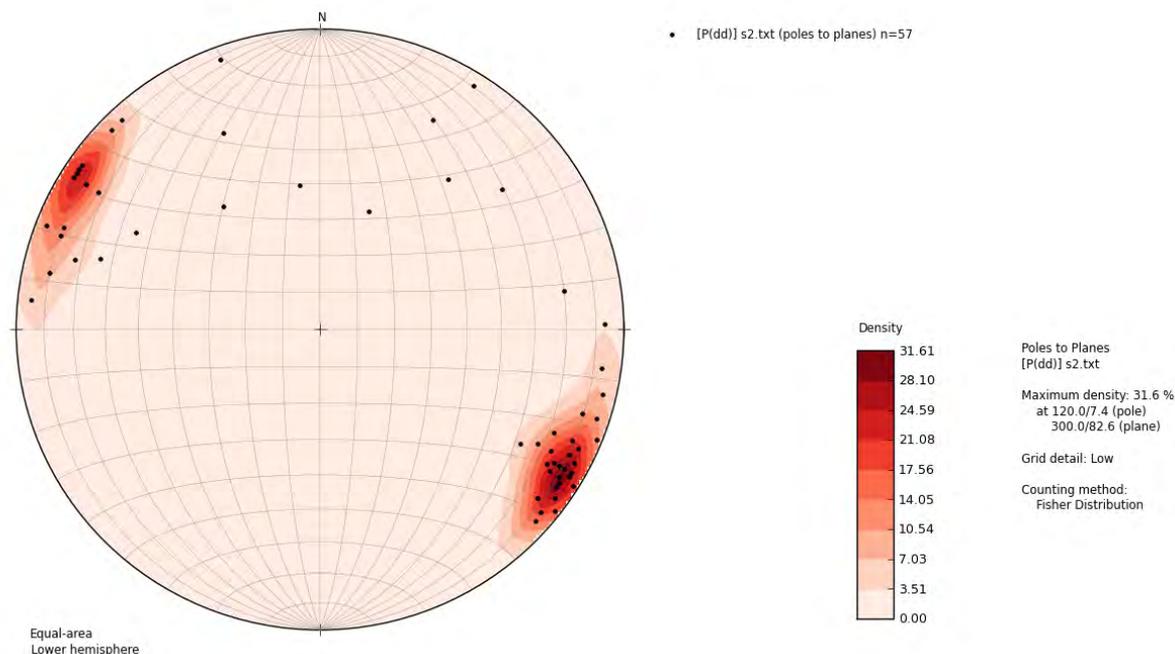


Figura 4.29 – Estereograma dos pólos dos planos S2, com isolinhas de densidade. Rede Schmidt de igual área – hemisfério inferior. $n = 57$. A distribuição dos pontos mostra um ângulo de variação no sentido de mergulho das superfícies, em torno de 40° .

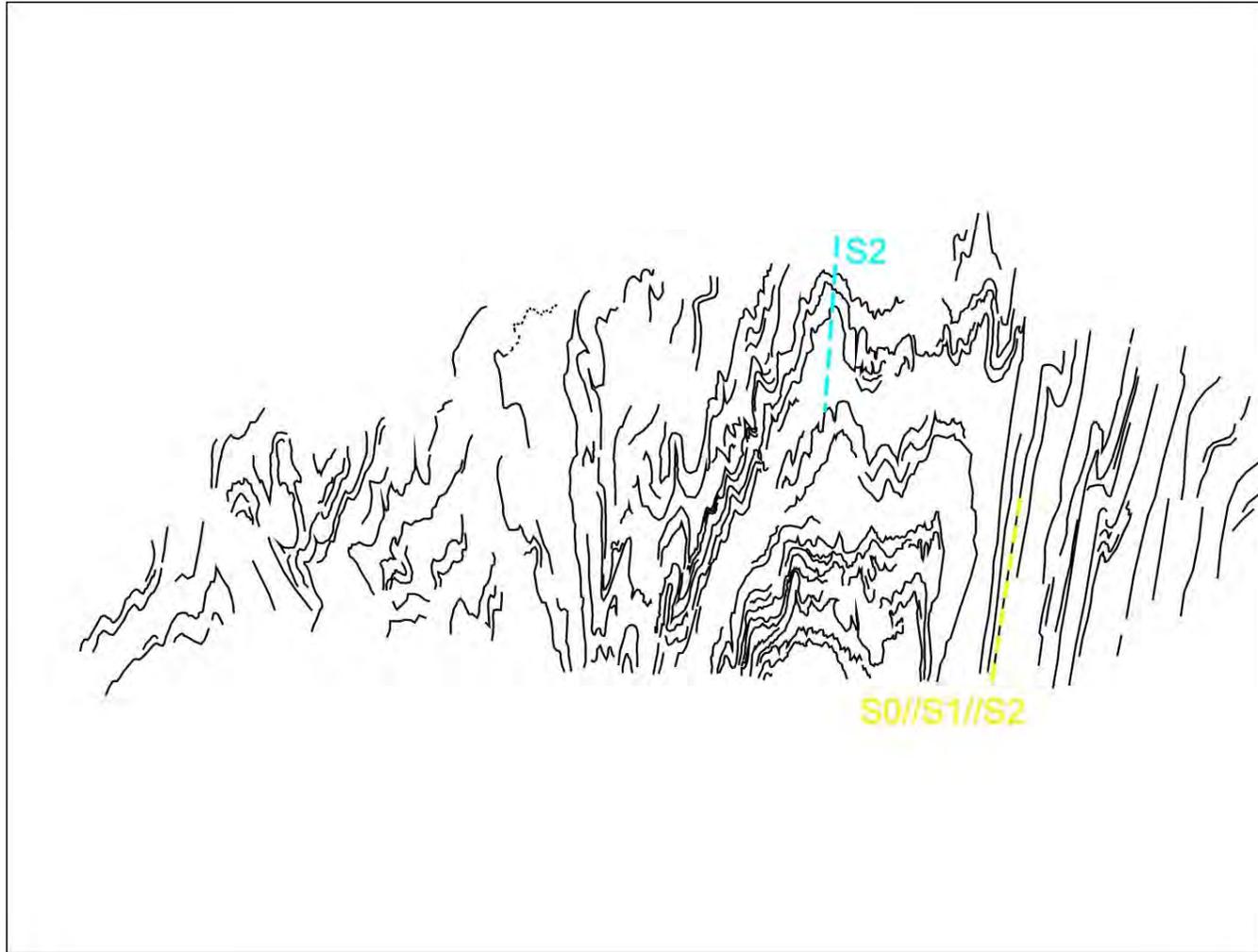




Figura 4.30a - Dobra F2 em afloramento na praia Trigelow. Observe a clivagem S2 sub-vertical presente nas intercalações de camadas delgadas de quartzito puro e quartzito com material mais fino.

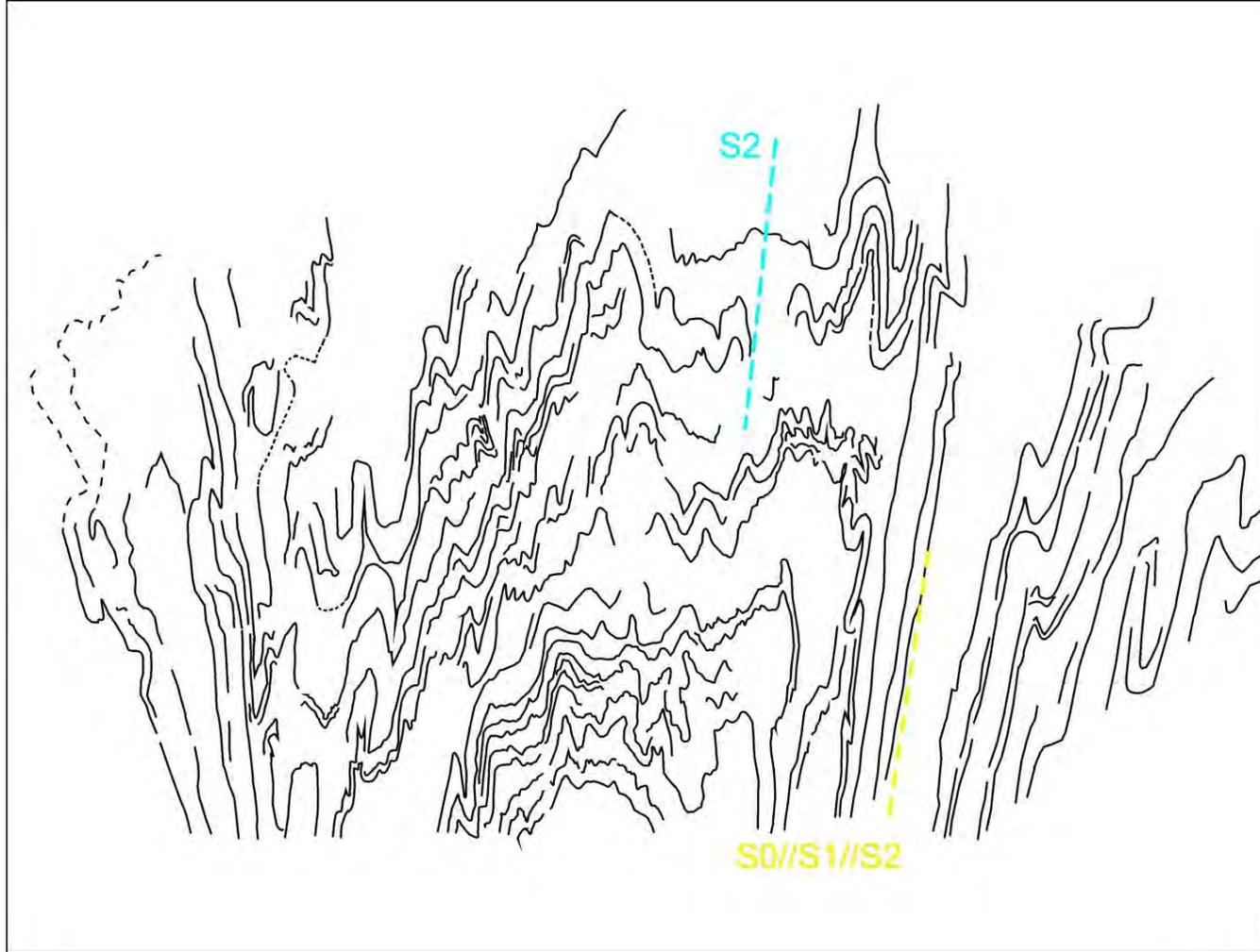
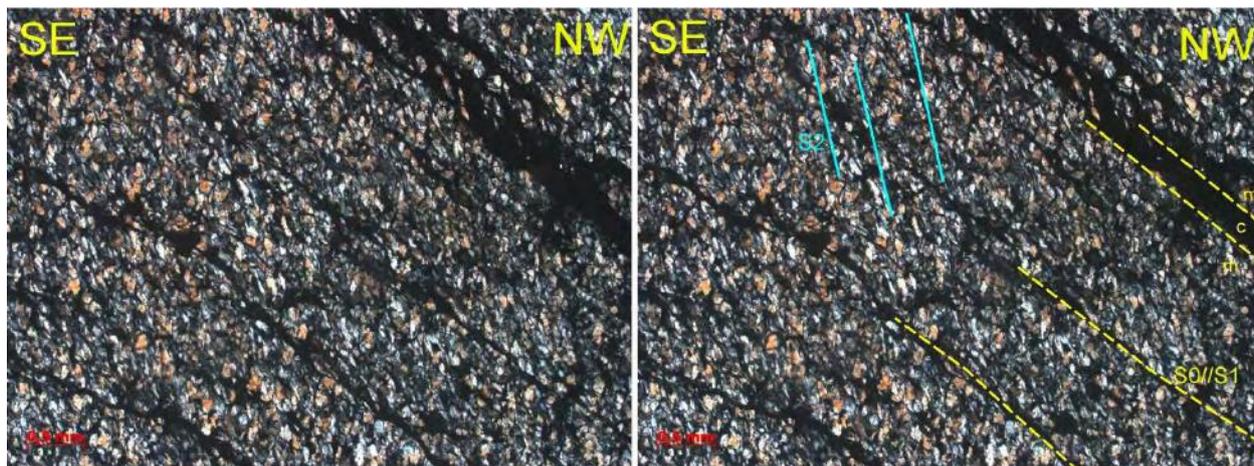




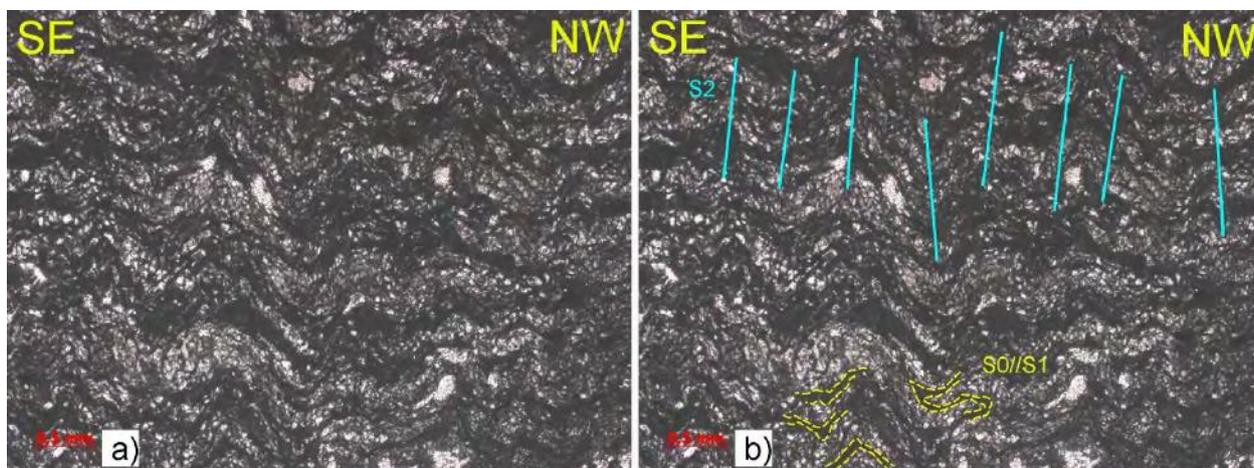
Figura 4.30b - Dobra F2 em afloramento na praia Trigelow. Observe a clivagem S2 sub-vertical presente nas intercalações de camadas delgadas de quartzito puro e quartzito com material mais fino. Esta foto é uma aproximação da Figura 4.30a.

Microscopia

A foliação S2 ocorre de duas formas diferentes, de acordo com a competência da camada deformada. Nas camadas mais grossas e competentes, ela é uma clivagem contínua lisa que trunca S0 e S1 nas zonas próximas a charneiras de F2 (Figuras 4.31a e 4.31b). Vale notar que nesse caso não há micas ou quaisquer minerais metamórficos marcando essa clivagem, e os grãos de quartzo estão poligonais e fortemente recristalizados. É justamente pelo alinhamento do contato entre as bordas dos quartzos que se define a clivagem, nesse caso. Em camadas mais finas e menos competentes, a S2 ocorre como uma clivagem de crenulação gradacional fraca (Figuras 4.32a e 4.32b). Vale notar que S2 assume posição paralela a S0 e S1 quando os flancos de F2 estão verticais.



Figuras 4.31a e 4.31b – Foto de lâmina delgada de amostra do Xisto Kybulup (Luz transmitida, nicóis paralelos), colhida na localidade de Point Ann. A figura 4.31a é a foto da lâmina, 4.31b, a mesma com interpretação. Na foto 4.31b estão marcadas as clivagens S0//S1 e S2, o corte da lâmina delgada é perpendicular ao plano axial de F2, vertical. Em 4.29b é possível observar a clivagem contínua S2 truncando-se com a clivagem espaçada S0//S1.



Figuras 4.32a e 4.32b – Foto de lâmina delgada de amostra do Xisto Kybulup (Luz transmitida, nicóis paralelos), colhida na localidade de Point Ann. A figura 4.32a é a foto da lâmina, 4.32b, a mesma com interpretação. Na foto 4.32b estão marcadas as clivagens S0//S1 e S2, o corte da lâmina delgada é perpendicular ao plano axial de F2, vertical. Note na gradação fraca entre as zonas crenuladas definidas por S2.

4.2.2.3 - Terceira fase de deformação – D₃

A terceira fase de deformação produziu dobras F3, cujas superfícies axiais são ortogonais às das dobras F1 e F2. Essa fase de deformação também gerou a clivagem S3, visível mais facilmente em microscópio.

Dobra F3

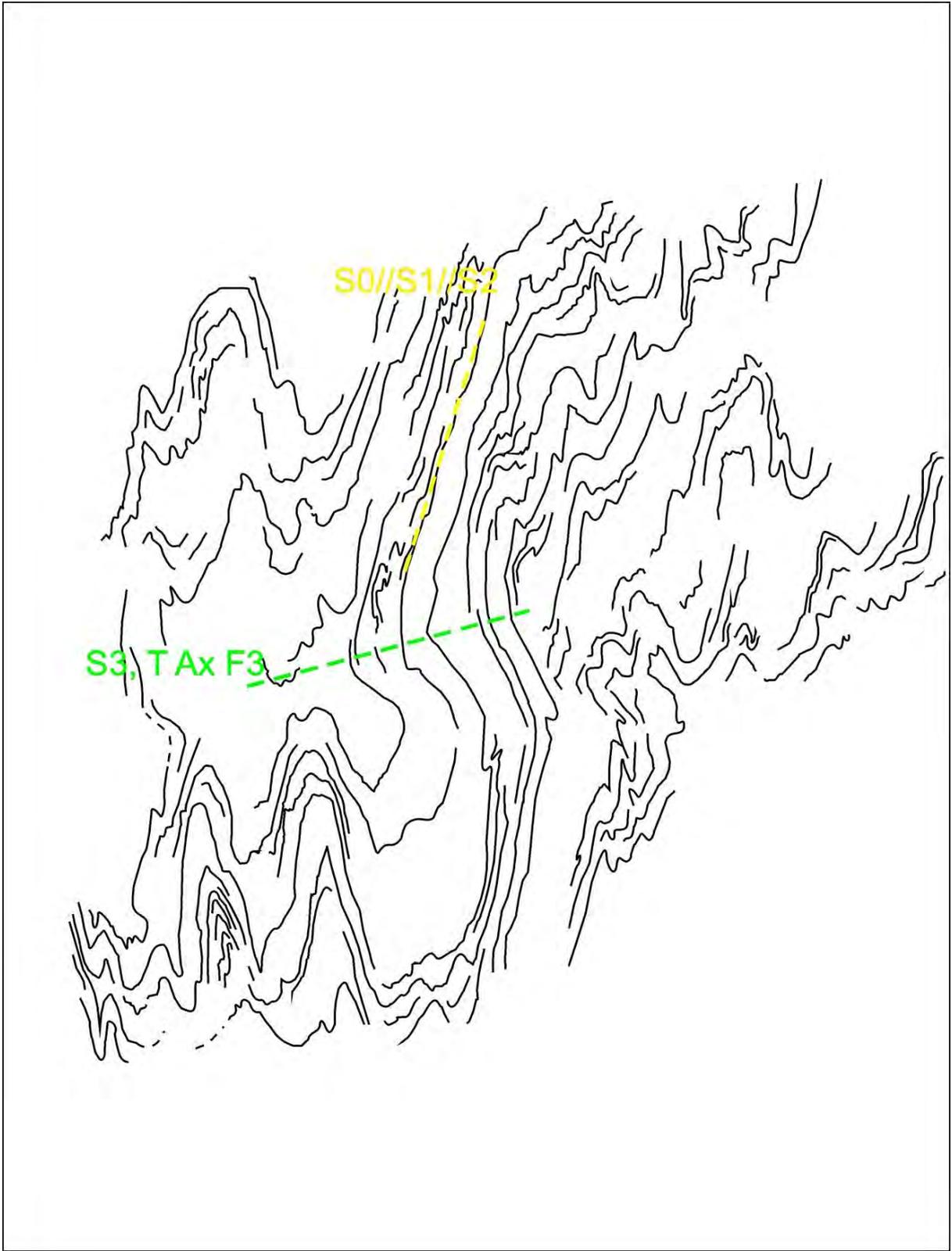
Macroscopia

Caracterizam-se por dobras abertas a suaves, reclinadas, e com superfície axial orientada NW-SE mergulhando em alto ângulo. A estrutura é mais facilmente observada nos afloramentos costeiros da praia Trigelow (Figuras 4.12 e 4.33). Ocorrem também como dobras de crenulação em microscópio.

A distribuição dos pólos de S2 em estereograma mostra um ângulo de variação no sentido de mergulho das superfícies em torno de 40°, o que é explicado pela dobra

aberta a suave F3, que produz esse efeito (Figura 4.29).

A geometria de F3 varia de acordo com a espessura da camada e a granulometria do protólito. Ela é observada com geometria do tipo *Kink Bands* (Detalhe da Figura 4.12) nas intercalações onde predominam camadas de quartzito puro, mais competente, e assume uma forma mais ondulada/suave (Figura 4.33), com charneiras mais arredondadas, onde predominam as camadas menos competentes, de material mais fino. Pode-se observar em campo F3 dobrando todas as estruturas formadas anteriormente, sem apagá-las (Figura 4.33).



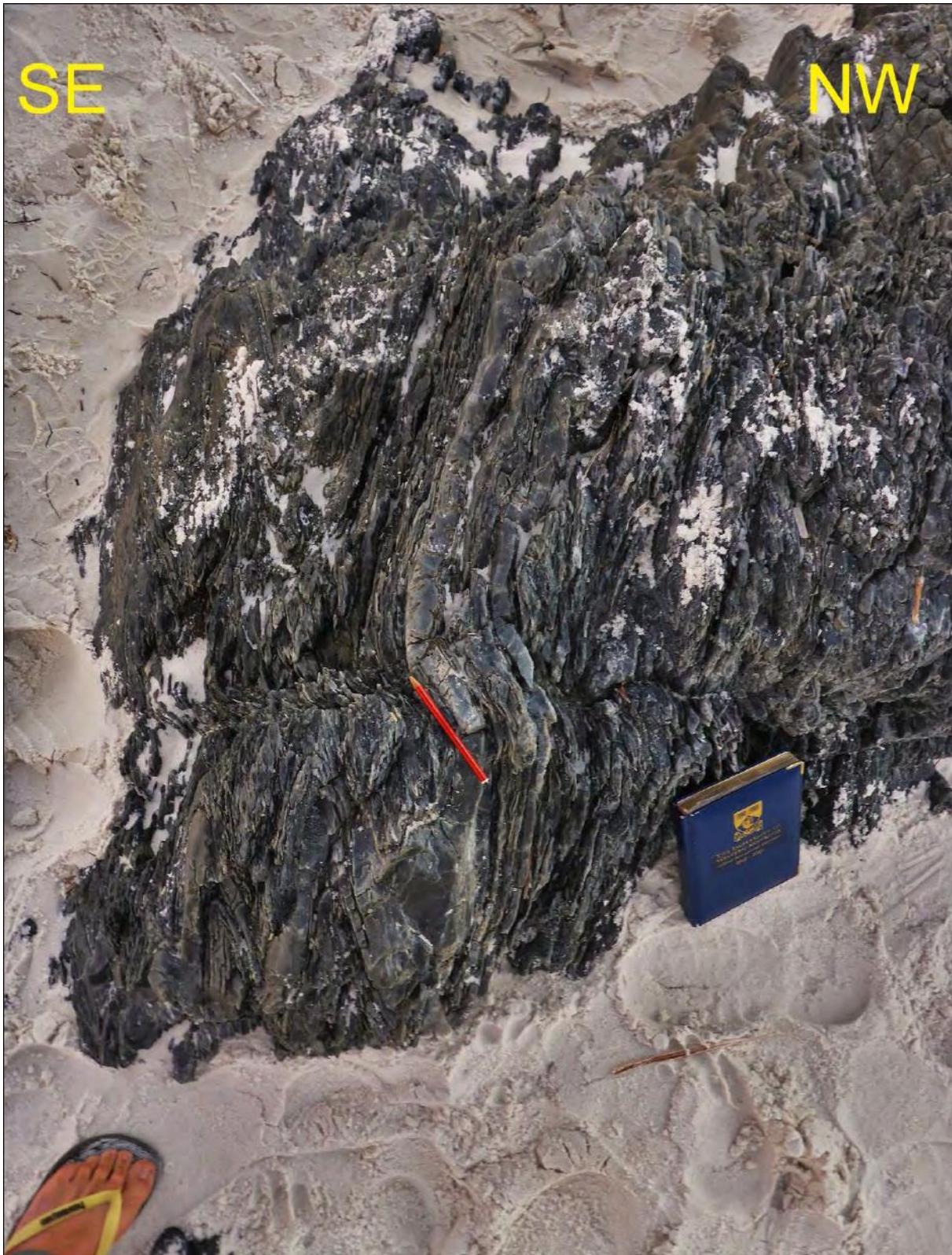


Figura 4.33 - Dobras F1 e F3 em afloramento na praia Trigelow. Observe como a clivagem S3 não se desenvolve nas camadas de quartzito puro, mas é bem preservada no material mais fino. Repare também em como a camada de quartzito mais competente preserva as dobras F1, que então são redobradas por F3.

Foliação S3

Macroscopia

Foi possível medir clivagens S3 em afloramentos específicos da praia Trigelow. Apesar disso, essas estruturas, assim como F3, são pouco frequentes, visíveis apenas localmente, o que dificultou a coleta de dados, tendo poucas medidas para representar significativamente a estrutura em uma rede de projeção estereográfica (Figura 4.34). Macroscopicamente, S3 caracteriza-se por uma clivagem plano axial fraca, desenvolvida apenas em camadas de materiais mais finos.

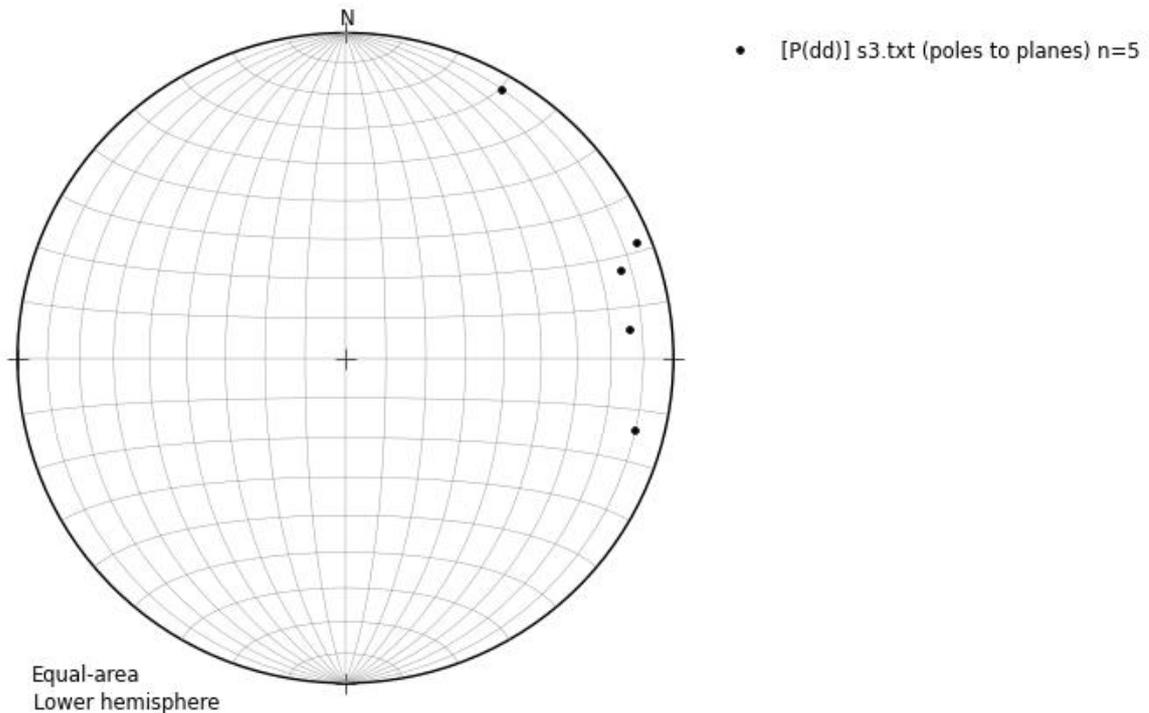
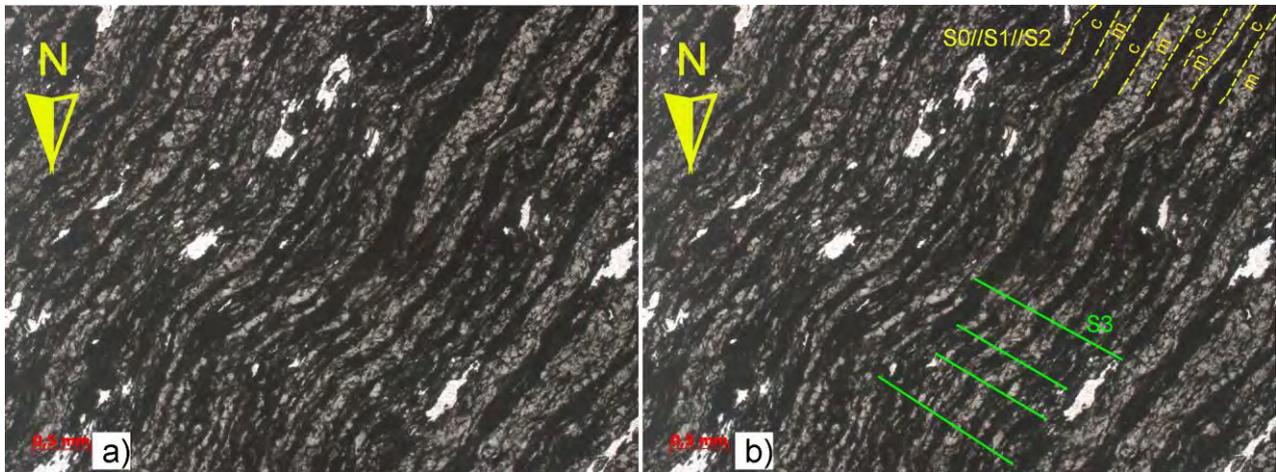


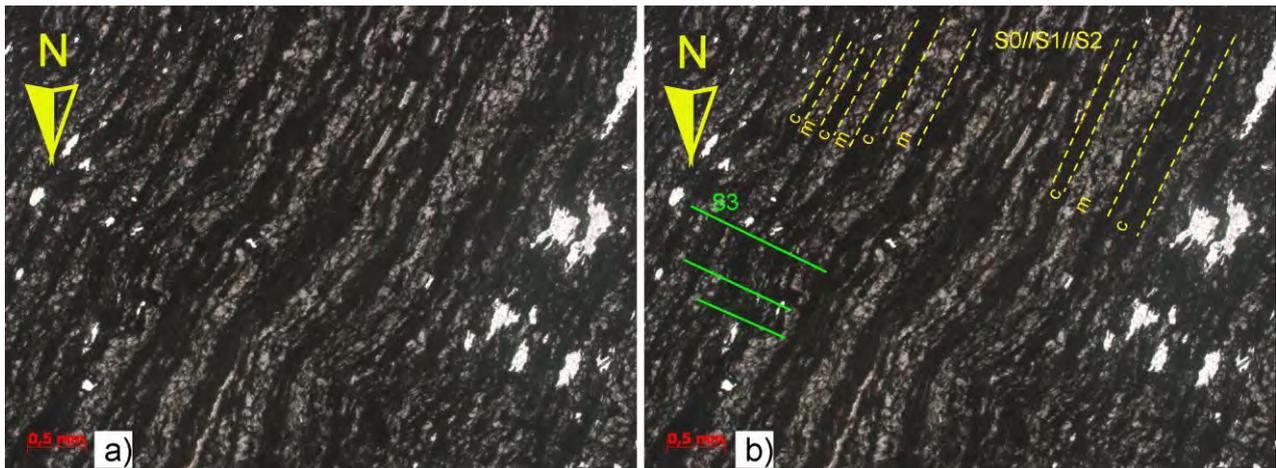
Figura 4.34 – Estereograma dos pólos dos planos S3. Rede Schmidt de igual área – hemisfério inferior. $n = 5$. Os pólos representam superfícies sub verticais de strike predominantemente NW-SE.

Microscopia

A foliação secundária S3 é observada apenas em camadas pouco competentes e finas (Figuras 4.35a, 4.35b, 4.36a, 4.36b). É uma clivagem de crenulação gradacional fraca, de zonas espaçadas. Ela não é visível em camadas mais competentes. Onde ela ocorre, a clivagem intersecta todas as foliações pretéritas da rocha (Figuras 4.35a, 4.35b, 4.36a, 4.36b).



Figuras 4.35a e 4.35b – Foto de lâmina delgada de amostra do Xisto Kybulup (Luz transmitida, nicóis paralelos), colhida na localidade de Point Ann. A figura 4.35a é a foto da lâmina, 4.35b, a mesma com interpretação. Na foto 4.35b estão marcadas as clivagens S0//S1//S2 e S3, o corte da lâmina delgada é perpendicular ao plano axial de F2, horizontal. A orientação desse corte permite que se veja as foliações S0, S1 e S2 paralelas, indistintas. Note na gradação fraca entre as zonas crenuladas definidas por S3 e as dobras abertas que compõem a crenulação.



Figuras 4.36a e 4.36b – Foto de lâmina delgada de amostra do Xisto Kybulup (Luz transmitida, nicóis paralelos), colhida na localidade de Point Ann. A figura 4.36a é a foto da lâmina, 4.36b, a mesma com

interpretação. Na foto 4.36b estão marcadas as clivagens S0//S1//S2 e S3, o corte da lâmina delgada é perpendicular ao plano axial de F2, horizontal. A orientação desse corte permite que se veja as foliações S0, S1 e S2 paralelas, indistintas. Note na gradação fraca entre as zonas crenuladas definidas por S3 e as dobras abertas que compõem a crenulação, nesse caso as camadas de quartzito são mais espessas, e a dobra, menos acentuada.

4.2.3 – Outras Estruturas

Dentre as estruturas mapeadas, existem as que não foram hierarquizadas nas fases de deformação anteriores. No entanto, elas podem ser divididas em dois grupos: as que estão, e as que não estão relacionadas aos eventos da orogenia Albany-Fraser.

4.2.3.1 – Relacionadas à Orogenia Albany-Fraser

Foram encontrados veios de quartzo em juntas de extensão (*Tension Gash Veins*) que servem como indicadores cinemáticos de movimentação sinistral (Figura 4.37). Também é possível encontrar evidências de movimento dextral nos acúmulos de cianita dos Quartzitos presentes na região do *East Mount Barren* (Figura 4.38). Os indicadores cinemáticos indicam transporte para N, e podem estar relacionados aos empurrões descritos por Wetherley (1998) e Stephens (1996), desenvolvidos durante a fase D₂ de Wetherley (1998).

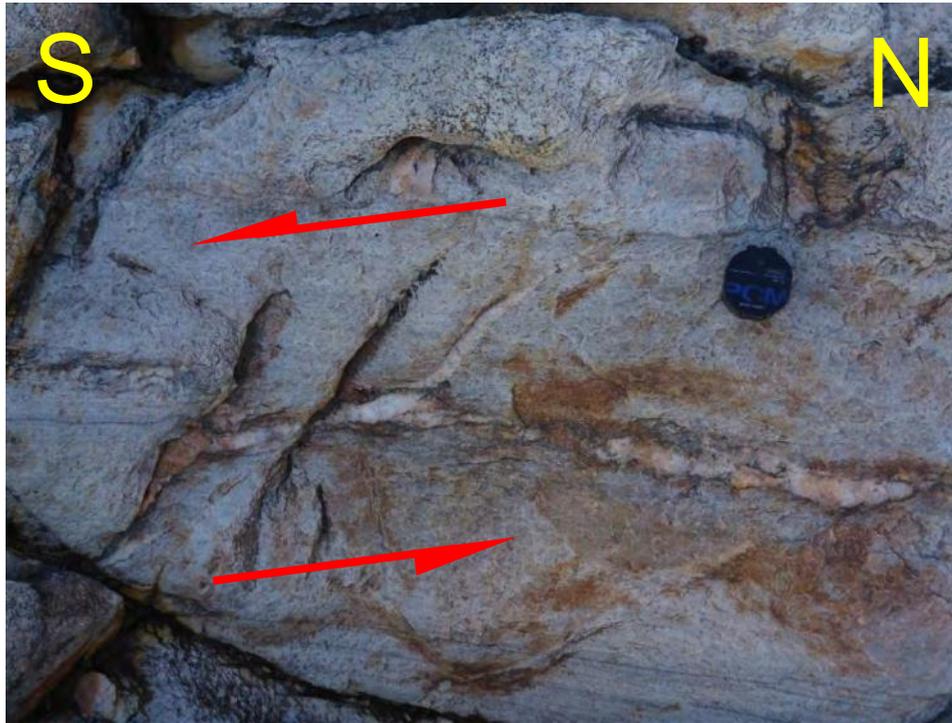


Figura 4.37 – Veios de quartzo em juntas de extensão (Tension Gash Veins) evidenciando movimentação sinistral. Observados em afloramento do Quartzito Kundip na região do East Mount Barren.



Figura 4.38 – Acúmulo de cianita observado em afloramento do Quartzito Kundip na região do East Mount Barren. A forma e posição do corpo rompido sugere movimentação relativa dextral.

4.2.3.2 – Não relacionadas à Orogenia Albany-Fraser

Foi possível observar uma superfície com degraus de falha bem definidos em um afloramento ascendendo o *East Mount Barren* (Figura 4.39), a orientação do plano de falha é de 210/40°.



Figura 4.39 – Afloramento no Quartzito Kundip, região do East Mount Barren. Falha normal NW-SE com degraus na superfície polida.

5 - Discussão

A análise dos dados apresentados levantou questões acerca da geologia estrutural do Grupo Mount Barren, que serão discutidos nos itens a seguir.

5.1 – Padrão de interferência D_1 - D_2 - D_3 .

Em campo podemos encontrar facilmente dobras F1 sendo redobradas por F2 (Figuras 4.10, 4.11, 4.23, 4.24, e 4.25), assim como F3 redobrando as estruturas pretéritas (Figuras 4.12 e 4.33). As estruturas produzidas na fase D_2 tem por consequência apagar parcial ou totalmente as estruturas anteriores em algumas localidades, dificultando a determinação da posição original de F1 e S1. Se considerarmos a geometria original de F1 aqui descrita (Dobras produto de tectônica tangencial, isoclinais simétricas e assimétricas), e sobrepujarmos a ela o dobramento F2, o resultado é um padrão similar ao tipo III da classificação de Ramsay (1967 - Figura 5.1). A diferença principal, no caso, é o ângulo de caimento do eixo, já que as superfícies axiais das dobras são paralelas, orientadas SW-NE. Ambos os eixos tem caimento para SW, F1 em 52° , e F2 em 39° (Figura 5.2). A dobra F3 tem superfície axial sub vertical e strike NW-SE, que, somada às dobras anteriores produz o padrão de interferência apresentado na figura 5.2.

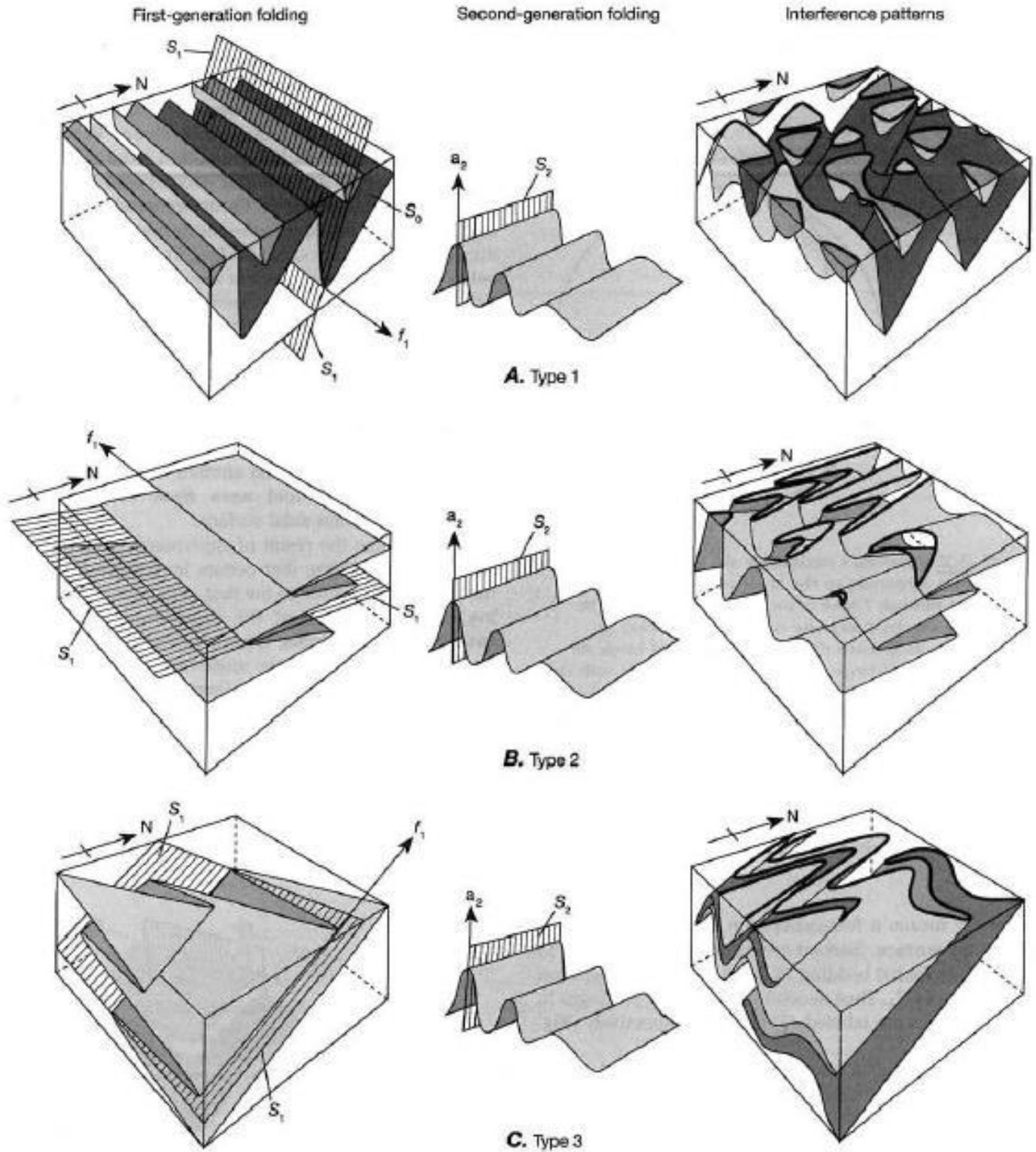


Figura 5.1 – Modelo desenvolvido por Ramsay (1967), que classifica padrões de interferência de dobras em três tipos, de acordo com a orientação relativa de suas superfícies axiais e eixos. Retirado de Twiss & Moores (2006).

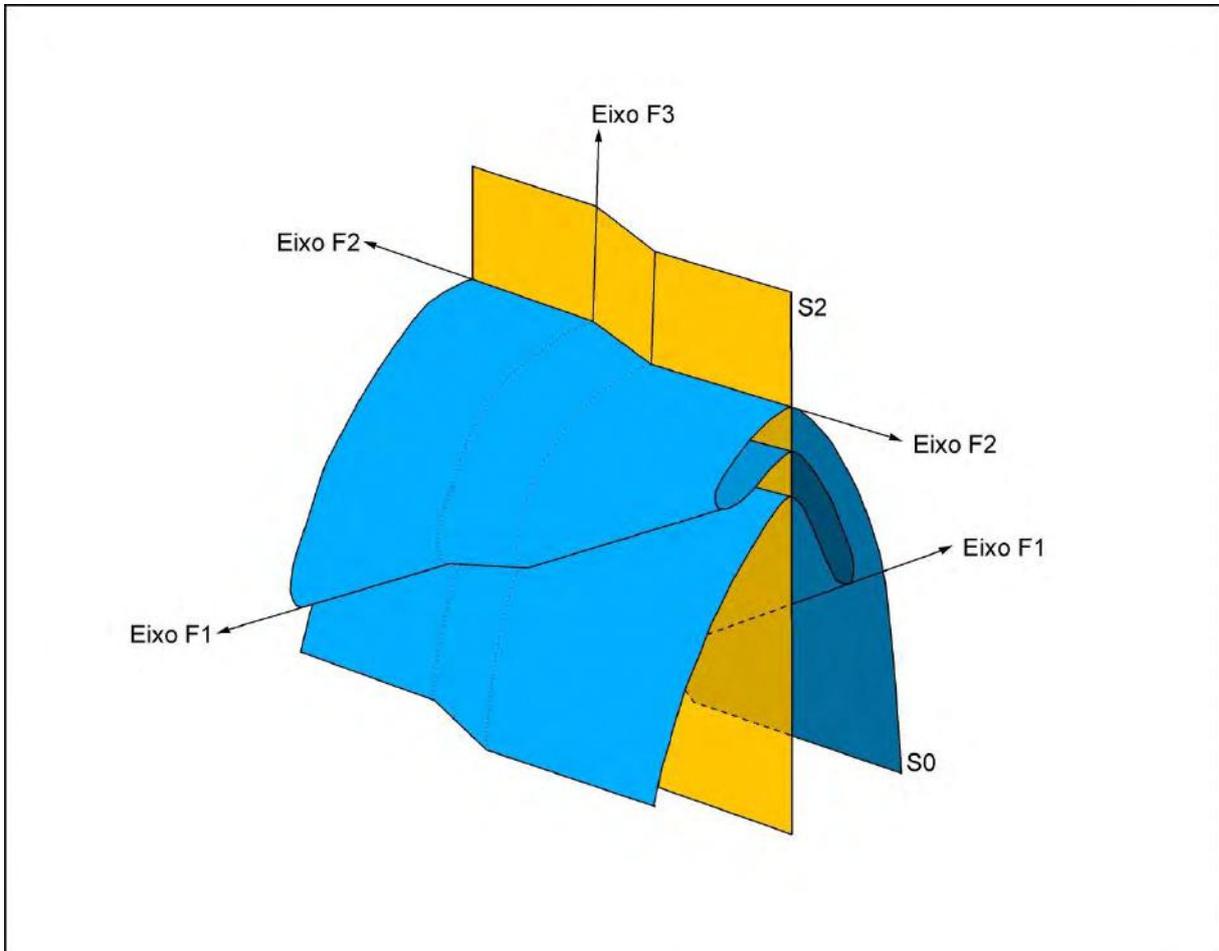


Figura 5.2 – Modelo esquemático do padrão de interferência de dobras D_1 - D_2 - D_3 . A superfície S_0 está em azul, e S_2 em amarelo. Note como S_0 forma a dobra isoclinal F_1 , com caimento do eixo em alto ângulo, e então é redobrada por F_2 , fechada, e com caimento do eixo em ângulo raso (Interferência D_1 - D_2). A superfície S_2 mostra a dobra F_3 , de superfície axial oblíqua às de F_1 e F_2 , e caimento do eixo sub vertical (Interferência D_1 - D_2 - D_3).

5.2 – Variações geométricas

Observa-se uma grande heterogeneidade nas dobras das diferentes fases de deformação, desde sua geometria à sua posição no espaço, sendo observadas até em dobras produzidas na mesma fase de deformação (Figuras 4.10, 4.12, 4.15, 4.16, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.26, 4.30a, 4.30b, e 4.33). A heterogeneidade no estilo das dobras é assumida como sendo consequência das diferenças em espessura e do material que compõe as camadas, sendo esses, fatores controladores dos mecanismos de formação das estruturas. As diferenças reológicas geram altos

contrastes de competência entre as camadas, o que explica a refração do plano axial observada em algumas dobras (Figuras 4.27 e 4.28).

5.3 – Mecanismos de dobramento e regimes de tensão

Com a análise dos dados apresentados, é possível determinar que o evento responsável por produzir F1 e S1 foi dominado por cisalhamento simples, possivelmente relacionado à tectônica tangencial que gerou os empurrões regionais que cortam a área de estudos de strike NE-SW e transporte para NW (Anexo I). As dobras F2, por outro lado, parecem ser produto de uma deformação dominada por cisalhamento puro. Isso suporta a interpretação de que o caráter apertado das dobras F1 tenha sido intensificado significativamente com a formação de F2. A clivagem S2 apresenta evidências de que sofreu dissolução nos planos da foliação, processo que provoca espessamento de charneira, observável com facilidade nos afloramentos da praia Trigelow.

Pela análise dos dados, pode-se interpretar que os mecanismos de dobramento dominantes em F1 e F2 são os de dobramento passivo (*Passive Shear* ou *Passive Flow Folding*) e dobramento por perda de volume (*Volume-loss* ou *Solution Folding*), respectivamente. Vale notar que a geometria apresentada por F2 não se enquadra perfeitamente nos modelos apresentados por Twiss & Moores (2006). Isso deve ser consequência de um regime intenso de dobramento por perda de volume, que poderia exagerar as geometrias apresentadas nos modelos, ou então de uma fase posterior de achatamento homogêneo concordante com o regime de tensões da deformação anterior, que produziria o mesmo efeito de intensificação das geometrias. A formação das dobras em Chevron observadas nas rochas da área, diferentemente dos mecanismos citados, são tipicamente assumidas como

produto do processo de Deslizamento Flexural, ou *Flexural Slip* (Figura 5.3). O mecanismo interpretado para o dobramento F3 é o de *Kink-Band Folds*.

A obliquidade entre os elementos das fases deformacionais D_1 e D_2 com as da fase D_3 (Figuras 4.9, 4.12, 4.13, 4.16, 4.18, 4.29, 4.33 e 4.34), assim como o contraste em expressividade das fases de deformação suporta a interpretação de que as estruturas D_3 se formaram em um regime de tensões distinto do responsável por formar F1 e F2. Considerando os estilos estruturais das dobras, a orientação de seus elementos no espaço, e comparando os resultados deste trabalho com a bibliografia, interpreta-se que F1 e F2 evoluíram em deformação progressiva produto de uma compressão SE-NW, enquanto F3 se desenvolveu em um evento com orientação de stress distinta.

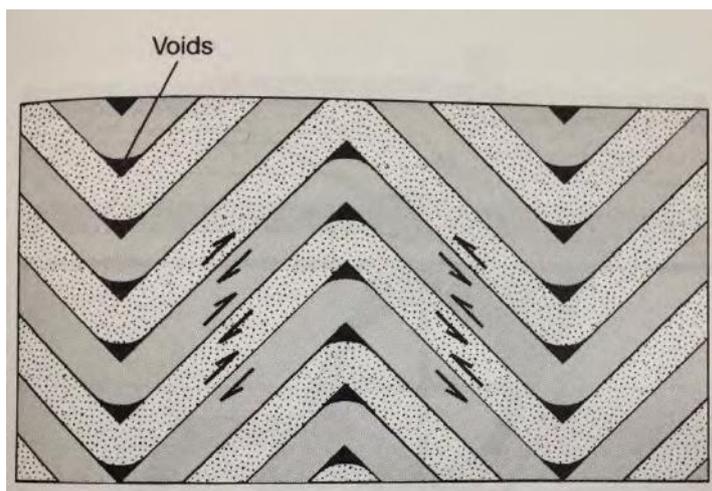


Figura 5.3 – Modelo de formação de dobras com geometria em Chevron através do mecanismo de deslizamento flexural – *Flexural Slip*. Retirado de Twiss & Moores (2006).

5.4 – Correlação das fases deformacionais com trabalhos anteriores

As dobras F1 e a clivagem S1 são produto da primeira fase de deformação (D_1). F1 dobra o plano de acamamento sedimentar S_0 , e é dobrado por todas as fases posteriores (Figuras 4.10, 4.11, e 4.12). F1 tem superfície axial com strike SW-NE, e eixo com caimento em ângulo moderado a alto para SW (Figura 4.9).

Macroscopicamente, S1 ocorre como uma clivagem disjuntiva (Figura 4.10), e microscopicamente, como uma clivagem espaçada disjuntiva lisa, paralela à superfície axial de F1 (Figuras 4.17a e 4.17b).

A segunda fase de deformação (D2) gerou as estruturas F2 e S2. Pode-se observar claramente em campo F2 redobrando F1 e as superfícies S0 e S1 (Figuras 4.10, 4.11, 4.23, 4.24, 4.25). A orientação do plano axial das dobras F2 tem strike SW-NE, e caimento do eixo raso a moderado, inferior ao de F1 (Figura 4.18). S2 ocorre macroscopicamente como uma clivagem contínua em camadas de baixa competência (Figuras 4.30a e 4.30b), e como uma clivagem espaçada nas de competência mais alta. Microscopicamente, S2 consiste em uma clivagem contínua em camadas de alta competência (Figuras 4.31a e 4.31b), e uma clivagem de crenulação gradacional fraca nas de baixa competência (Figuras 4.32a e 4.32b).

As dobras F3 e clivagem S3 são as estruturas menos expressivas, e definem a última fase de deformação do estudo. Ao contrário das geometrias apertadas observadas nas dobras anteriores, F3 é aberta a suave (Figuras 4.12 e 4.33), com superfície axial sub vertical e strike NW-SE. S3 é uma clivagem plano axial pouco observada em afloramento, mais facilmente vista em microscópio, onde consiste em uma clivagem de crenulação gradacional fraca, de zonas espaçadas (Figuras 4.35a, 4.35b, 4.36a, 4.36b).

Levando em conta as similaridades geométricas e em orientação geográfica das estruturas deste trabalho com as de Wetherley (1998), pode-se notar que, das nove dobras e clivagens distintas descritas no trabalho prévio, seis são correlacionáveis: As dobras F1 e clivagem S1 deste trabalho correspondem a F2 e S2 de Wetherley (1998), assim como as estruturas F2, S2, F3 e S3 às F4, S4, F5 e S5, respectivamente.

As semelhanças em estereograma das estruturas também é notável, sendo possível observar nuvens de pontos com distribuições extremamente similares entre as projeções apresentadas. Os estereogramas apresentados por Wetherley (1998) para descrever sua dobra F4 (Figuras 2.6b e 2.7) mostram uma distribuição dos pólos que corresponde aos apresentados neste trabalho para a dobra F2 (Figuras 4.13, 4.16, e 4.18). A pequena quantidade de medidas das estruturas D₃ (Figura 4.34) são compatíveis com as de F5 e S5 de Wetherley (1998 - Figura 2.9), fato que, aliado às semelhanças entre a descrição do autor e a dobra e clivagem estudadas, leva à interpretação de que são equivalentes.

Os resultados deste trabalho foram compilados à tabela modificada de Wetherley (1998) apresentada no capítulo 2, que resume as estruturas mapeadas por cada autor dos trabalhos prévios na área (Tabela 3).

Tabela 3 – Tabela comparando e relacionando temporalmente as deformações mapeadas por Thom (1977), Hollingsworth (1996), Stephens (1996), Witt (1997), Wetherley (1998), e as deste trabalho. Traduzida e modificada de Wetherley (1998).

Thom (1977) Porção E do Grupo Mount Barren	Hollingsworth (1996) Região de <i>West Beach</i>	Stephens (1996) <i>East Mt Barren</i> e arredores	Witt (1997) Porção E do Grupo Mount Barren	Wetherley (1998) Grupo Mount Barren inteiro	Oliveira, J. P. S. (2015) Região do <i>East Mt Barren</i> , <i>Point Ann</i> , e da Praia Trigelow.
<p>D1 - Dobras observadas em conglomerados e clastos de brecha. Clivagem espaçada com orientação plano axial a vertical, dobrada por F2.</p>		<p>D1 - Clivagem contínua observada apenas em microscópio.</p>	<p>FB1 - Dobras recumbentes isoclinais, vergência desconhecida.</p>	<p>F1 - Dobras isoclinais S1 - Clivagem contínua marcada por micas, visível apenas microscópicamente, desenvolvida localmente.</p>	
<p>D2 - Dobras recumbentes apertadas a isoclinais.</p> <p>D3 - Lineação com caimento raso para E, dobras abertas com caimento do eixo para E, transpostas por dobramento F4.</p>	<p>F1 - Dobras recumbentes isoclinais com vergência para N e caimento do eixo para E.</p>	<p>D2 - Cisalhamentos associados ao desenvolvimento de dobras isoclinais F2. As estruturas variam de dimensões cm a km, com clivagem plano axial bem desenvolvida.</p>	<p>FB2 - Dobras apertadas, reviradas, com vergência N e eixos com caimento raso a moderado para E.</p>	<p>F2 - Dobras recumbentes isoclinais com eixos caindo em ângulo raso para E e W.</p> <p>S2 - Clivagem espaçada plano axial bem desenvolvida.</p>	<p>F1 - Dobras cerradas a isoclinais, com caimento do eixo moderado a alto para SW.</p> <p>S1 - Clivagem plano axial do tipo espaçada disjuntiva lisa, bem desenvolvida.</p>

				<p>F3 - Crenulação de plano axial vertical, eixos com caimento raso para SW, transpostas por F4. Desenvolvida apenas localmente.</p>	
<p>D2 - Dobras apertadas a isoclinais, arredondadas a chevron com trend para SW. Eixos com caimento para SW.</p> <p>D4 - Dobras com plano axial vertical, arredondadas a chevron,. Eixos com caimento moderado para SSW.</p>	<p>F2 - Dobras abertas a apertadas, reviradas, com eixos caindo moderadamente para SW.</p>	<p>D3 - Dobras com plano axial vertical a redobradas, com geometria do tipo Chevron, abertas a apertadas. Vergência das dobras para NW, trend SW, e eixos caindo moderadamente para WSW.</p>	<p>FB3 - Dobras apertadas, reviradas, com vergência NW e eixos com caimento moderado para SW e NE.</p>	<p>F4 - Dobras abertas a apertadas com plano axial vertical e eixos com caimento moderado predominantemente para SW. Fase mais proeminente no Grupo Mount Barren.</p> <p>S4 - Clivagem de crenulação a espaçada, bem desenvolvida.</p>	<p>F2 - Dobras fechadas a apertadas, com plano axial subvertical e caimento do eixo baixo a moderado para SW.</p> <p>S2 - Clivagem plano axial bem desenvolvida. Ocorre como clivagem contínua lisa ou como clivagem de crenulação gradacional fraca.</p>
	<p>F3 - Dobras abertas, reclinadas, trend dos kinks e caimento dos eixos para SW.</p>				

D2 - Dobras apertadas com eixos caindo para SE.

D3 - Dobras abertas com plano axial vertical e eixos com caimento raso para E.

D4 - Dobras gentis a abertas com plano axial vertical e caimento do eixo para SE.

FB4 - Dobras abertas a apertadas, eixos com caimento moderado para SW a SE. Plano Axial das dobras é vertical a sub-vertical.

F5 - Dobras de crenulação a kink com plano axial vertical e eixos caindo para SE. Desenvolvidas apenas local e tardiamente.

F3 - Dobras abertas, reclinadas, com superfície axial mergulhando em alto ângulo, orientada NW-SE. Ocorre comcharneiras arredondadas até geometria de Kink Bands.

S3 - Clivagem plano axial pouco desenvolvida. Ocorre como clivagem de crenulação gradacional fraca, de zonas espaçadas.

6 – Considerações Finais e Recomendações

Os resultados produzidos neste trabalho são compatíveis com os de estudos anteriores e colaboram com o desvendamento da evolução estrutural do grupo Mount Barren. No entanto, em vista do caráter heterogêneo das estruturas deformacionais encontradas e das descritas na bibliografia, não é possível generalizar ou estabelecer um modelo específico para o desenvolvimento de cada estrutura. Devido a isso, seria incorreto extrapolar os resultados obtidos neste trabalho para o Grupo Mount Barren inteiro, pois eles foram obtidos apenas em regiões limitadas pelas estradas e trilhas já demarcadas no parque nacional.

Os mapas geológicos da região apresentam escala de pouca resolução para explicar a geologia estrutural da área, o que não reflete a complexidade das estruturas deformacionais vistas em campo. Além disso, os mapas foram confeccionados em maior parte através da interpretação de dados geofísicos, havendo pouca quantidade de *Hard Data* para contribuir com as cartas. Os trabalhos focados em geologia estrutural na área também têm limitações, especialmente pelo fato de apenas um (Wetherley, 1998) ter sido realizado em escala regional.

Para continuar a tentar montar um modelo evolutivo conciso do cinturão de dobramentos, antes de tudo seriam recomendadas excursões de campo para mapear em detalhe o grupo Mount Barren, que, apesar de ter afloramentos escassos e de difícil acesso, em geral têm estruturas muito bem preservadas. A coleta de amostras para preparação de lâminas delgadas é igualmente necessária para realizar investigações na área da microtectônica nas rochas.

7 – Referências Bibliográficas

- Asarco Limited 1971, Project, Final report: Geological Survey of Western Australia statutory mineral exploration report, Item 390, A3146, unpublished.
- Beeson, J., Delor, C.P., and Harris, L.B., 1988, A structural and metamorphic traverse across the Albany mobile belt, Western Australia. *Precambrian Research* 40/41, p.117–136.
- Betts, P.G., Giles, D., Lister, G.S., Frick, L.R., 2002. Evolution of the Australian lithosphere. *Australian Journal of Earth Sciences* 49, p.661–696.
- Bodorkos, S., and Clark, D.J., 2004. 1. Evolution of a crustal-scale transpressive shear zone in the Albany–Fraser Orogen, SW Australia. 2. Tectonic history of the Coramup Gneiss and a kinematic framework for Mesoproterozoic collision of the West Australian and Mawson cratons. *Journal of Metamorphic Geology* 22 (8), p.713–731.
- Bodorkos, S., and Wingate, M.T.D., 2008. 184123: garnet-bearing monzogranitic gneiss, Plum Pudding Rocks; Geochronology dataset 702. In: *Compilation of geochronology data, 2008 update*. Geological Survey of Western Australia.
- Cawood, P.A., Korsch, R.J., 2008, *Assembling Australia: Proterozoic building of a continent*. *Precambrian Research* 166, p.1–35.
- Clark, D.J., Hensen, B.J., Kinny, P.D., 2000. Geochronological constraints for a two stage history of the Albany–Fraser Orogen, Western Australia. *Precambrian Research* 102 (3/4), p.155–183.
- Clark, D.J., Kinny, P.D., Post, N.J., Hensen, B.J., 1999. Relationships between magmatism, metamorphism and deformation in the Fraser Complex, Western

- Australia: constraints from new SHRIMP U–Pb zircon geochronology.
Australian Journal of Earth Sciences 46, p.923–932.
- Cruse, T., 1991, The sedimentology, depositional environment and Ediacaran fauna of Mondurup and Barnett Peaks, Stirling Range Formation, Western Australia: University of Western Australia, Perth, BSc Honours thesis (unpublished).
- Dawson, G.C., Krapež, B., Fletcher, I.R., McNaughton, N.J., and Rasmussen, B., 2002. Did late Palaeoproterozoic assembly of proto-Australia involve collision between the Pilbara, Yilgarn and Gawler Cratons? Geochronological evidence from the Mount Barren Group in the Albany–Fraser Orogen of Western Australia: Precambrian Research 118, p.195–220.
- Dawson, G.C., Krapež, B., Fletcher, I.R., McNaughton, N.J., Rasmussen, B., 2003. 1.2Ga thermal metamorphism in the Albany–Fraser Orogen of Western Australia: Consequence of collision or regional heating by dyke swarms? Journal of the Geological Society, London, 160, p.29–37.
- Etheridge, M.A., Rutland, R.W.R., Wyborn, L.A.I., 1987. Orogenesis and tectonic processes in the early to middle Proterozoic of northern Australia. In: Kroner, A. (Ed.), Proterozoic Lithosphere Evolution. American Geophysical Union, Geodynamic Series 17, p.131–147.
- Fitzsimons, I.C.W., 2003. Proterozoic basement provinces of southern and southwestern Australia, and their correlation with Antarctica. In: Yoshida, M., Windley, B.F., Dasgupta, S. (Eds.), Proterozoic East Gondwana: Supercontinent Assembly and Breakup. Geological Society, London, Special Publication 206, p.93–129.

- Fitzsimons, I.C.W., and Buchan, C., 2005. Geology of the western Albany–Fraser Orogen, Western Australia — a field guide. Geological Survey of Western Australia, Record 2005/11, 32p.
- Fraser, G.L., Huston, D.L., Gibson, G.M., Neumann, N.L., Maidment, D., Kositcin, N., Skirrow, R.G., Jaireth, S., Lyons, P., Carson, C., Cutten, H., Lambeck, A., 2007. Geodynamic and metallogenic evolution of Proterozoic Australia from 1870–1550 Ma: A discussion. Geoscience Australia, Record 2007/16, 76p.
- Hall, C.E., Jones, S.A., and Bodorkos, S., 2008. Sedimentology, structure and SHRIMP zircon provenance of the Woodline Formation, Western Australia: Implications for the tectonic setting of the West Australian Craton during the Paleoproterozoic. *Precambrian Research*, 162, p.577–598.
- Hollingsworth, D.A., 1996. Veining, metasomatism and metamorphism of metapelites of the Mount Barren Group at West Beach, Western Australia. Curtin University of Technology, Perth, BSc (Honours) thesis (unpublished).
- Muhling, P.C., and Brakel, A.T. (compilers), 1985. Mount Barker – Albany, Western Australia: Geological Survey of Western Australia, 1:250 000 Geological Series Explanatory Notes, 21p.
- Myers, J.S., 1990a. Albany–Fraser Geology and Mineral Resources of Western Australia. Geological Survey of Western Australia, Memoir 3, p.255–263.
- Myers, J.S., 1990b. Precambrian tectonic evolution of part of Gondwana, Southwestern Australia. *Geology* 18, p.537–540.
- Myers, J.S., Shaw, R.D., Tyler, I.M., 1996. Tectonic evolution of Proterozoic Australia. *Tectonics*, 15 (6), p.1431–1446.
- Nelson, D.R., 1996a, 112168: fine-grained sandstone, No Tree Hill; Geochronology Record 491: Geological Survey of Western Australia, 4p.

- Nelson, D.R., 1996b, 112170: metasandstone, Barrens Beach; Geochronology Record 492: Geological Survey of Western Australia, 3p.
- Rasmussen, B., Bengston, S., Fletcher, I.R., and McNaughton, N.J., 2002. Discoidal impressions and trace-like fossils more than 1200 million years old. *Science* 296, p.1112–1115.
- Rasmussen, B., Fletcher, I.R., Bengston, S., and McNaughton, N., 2004. SHRIMP U–Pb dating of diagenetic xenotime in the Stirling Range Formation, Western Australia: 1.8 billion year minimum age for the Stirling biota. *Precambrian Research* 133, p.329–337.
- Sofoulis, J., 1958. The geology of the Phillips River Goldfield, Western Australia. Geological Survey of Western Australia, Bulletin 110, 240p.
- Spaggiari, C.V., Bodorkos, S., Barquero-Molina, M., Tyler, I.M., and Wingate, M.T.D., 2009. Interpreted bedrock geology of the south Yilgarn and central Albany–Fraser Orogen, Western Australia. Geological Survey of Western Australia, Record 2009/10, 84p.
- Spaggiari, C.V., Kirkland, C.L., Pawley, M.J., Smithies, R.H., Wingate, M.T.D., Doyle, M.G., Blenkinsop, T.G., Clark, C., Oorschot, C.W., Fox, L.J., and Savage, J., 2011. The geology of the east Albany–Fraser Orogen — a field guide. Geological Survey of Western Australia, Record 2011/23, 97p.
- Spaggiari, C.V., Kirkland, C.L., Smithies, R.H., and Wingate, M.T.D., 2014. Tectonic links between Proterozoic sedimentary cycles, basin formation and magmatism in the Albany-Fraser Orogen, Western Australia. Geological Survey of Western Australia, Record 2014/133, 63p.
- Spaggiari, C.V., and Pawley, M.J., 2012. Interpreted pre-Mesozoic bedrock geology of the east Albany–Fraser Orogen and southeast Yilgarn Craton (1:500 000).

In: The geology of the east Albany–Fraser Orogen — a field guide, compiled by Spaggiari, C.V., Kirkland, C.L., Pawley, M.J., Smithies, R.H., Wingate, M.T.D., Doyle, M.G., Blenkinsop, T.G., Clark, C., Oorschot, C.W., Fox, L.J., and Savage, J. Geological Survey of Western Australia, Record 2011/23, Plates 1 and 1A.

Stephens, J.R., 1996. Structural and metamorphic evolution of the East Mount Barren area, Albany–Fraser Orogen, Western Australia. Curtin University of Technology, Perth, BSc (Honours) thesis (unpublished).

Thom, R., 1977. The evolution of Proterozoic rocks near the Fraser Front at Ravensthorpe, Western Australia. Imperial College, University of London, London, PhD Thesis (unpublished).

Thom, R., and Chin, R.J., 1984a. Bremer Bay, WA Sheet SI 50-12: Geological Survey of Western Australia, 1:250 000 Geological Series.

Thom, R., and Chin, R.J. (compilers), 1984b. Bremer Bay, Western Australia: Geological Survey of Western Australia, 1:250 000 Geological Series Explanatory Notes, 20p.

Thom, R., Hickman, A.H., and Chin, R.J., 1984a. Newdegate, WA Sheet SI 50-8: Geological Survey of Western Australia, 1:250 000 Geological Series.

Thom, R., Hickman, A.H., and Chin, R.J., (compilers), 1984b, Newdegate, Western Australia: Geological Survey of Western Australia, 1:250 000 Geological Series Explanatory Notes, 24p.

Thom, R., Lipple, S.L., and Sanders, C.C., 1977a. Newdegate, WA Sheet SI 51-5: Geological Survey of Western Australia, 1:250 000 Geological Series.

- Thom, R., Lipple, S.L., and Sanders, C.C. (compilers), 1977b. Ravensthorpe, Western Australia: Geological Survey of Western Australia, 1:250 000 Geological Series Explanatory Notes, 38p.
- Twiss, R., and Moores, E. Structural Geology. 02ed. New York: Freeman, W.H. and Company, 2006. 736p.
- Vallini, D.A., Rasmussen, B., Krapež, B., Fletcher, I.R., and McNaughton, N., 2005. Microtextures, geochemistry and geochronology of authigenic xenotime constraining the cementation history of a Paleoproterozoic metasedimentary sequence: *Sedimentology*, v. 52, p. 101–122.
- Vallini, D.A., Rasmussen, B., Krapež, B., Fletcher, I.R., McNaughton, N.J., 2005. Microtextures, geochemistry and geochronology of authigenic xenotime: Constraining the cementation history of a Palaeoproterozoic metasedimentary sequence. *Sedimentology* 52 (1), p101–122.
- Wetherley, S., 1998. Tectonic evolution of the Mount Barren Group, Albany–Fraser Province, Western Australia. University of Western Australia, Perth, PhD thesis (unpublished).
- Whitaker, A.J., 1992. Albany Magnetic and Gravity Interpretation (1:1 000 000 scale map). Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics, Canberra.
- Whitaker, A.J., 1993. Esperance Magnetic and Gravity Interpretation (1:1 000 000 scale map). Australian Geological Survey Organisation, Canberra.
- Wingate, M.T.D., and Bodorkos, S., 2007. GSWA 177910: Metamorphosed quartz sandstone, Peters Dam; Geochronology Record 660. In: Compilation of geochronology data: Geological Survey of Western Australia, 6p.

Witt, W.K., 1997. Geology of the Ravensthorpe and Cocanarup 1:100 000 sheets.

Geological Survey of Western Australia, 1:100 000 Geological Series

Explanatory Notes, 26p.

Witt, W.K., 1998. Geology and mineral resources of the Ravensthorpe and

Cocanarup 1:100 000 sheets. Geological Survey of Western Australia, Report

54, 152p.