

Débora Barros Nascimento

**ESTRATIGRAFIA DA SEQUÊNCIA DAMARA,
NEOPROTEROZÓICO, EM DAMARALAND, NAMÍBIA**

Dissertação de Mestrado (Geologia)

Débora Barros Nascimento

UFRJ
Rio de Janeiro
2012



UFRJ

**ESTRATIGRAFIA DA SEQUÊNCIA DAMARA,
NEOPROTEROZÓICO, EM DAMARALAND, NAMÍBIA**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Mestre em Ciências (Geologia).

Área de concentração:

Geologia Regional & Econômica

Orientadores:

André Ribeiro

Rudolph Allard Johannes Trouw

Nascimento, Débora Barros

Estratigrafia da Sequência Damara, Neoproterozóico, em Damaraland, Namíbia / Débora Barros Nascimento - Rio de Janeiro: UFRJ / IGEO, 2012.

xvii, 117 f., 2 anexos;

Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia, 2012.

Orientadores: André Ribeiro, Rudolph Allard Johannes Trouw

1. Geologia. 2. Geologia Regional & Econômica – Dissertação de Mestrado. I. André Ribeiro, Rudolph Allard Johannes Trouw. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia. III. Estratigrafia da Sequência Damara, Neoproterozóico, em Damaraland, Namíbia.

Débora Barros Nascimento

ESTRATIGRAFIA DA SEQUÊNCIA DAMARA,
NEOPROTEROZÓICO, EM DAMARALAND, NAMÍBIA

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Mestre em Ciências (Geologia).

Área de concentração:
Geologia Regional & Econômica

Orientadores:
André Ribeiro
Rudolph Allard Johannes Trouw

Aprovada em:

Por:

Presidente: Renata da Silva Schmitt (UFRJ)

Everton Marques Bongioiolo (UFRJ)

Luiz Sergio A. Simões (UNESP)

UFRJ
Rio de Janeiro
2012

Dedicada a Eliane A. Barros Nascimento e
Luiz Fernando de C. Nascimento

Agradecimentos

Agradeço a todos que fizeram parte da minha vida durante esses maravilhosos e inesquecíveis anos de Geologia...

A minha família, meus pais e irmãos, que sempre me auxiliaram quando eu precisei, acreditaram em mim e apoiaram nas minhas decisões, por mais loucas que elas sejam.

“Àquele” que me dá um apoio enorme, e, mesmo sem perceber, faz minha vida ser muito melhor todos os dias... Muito obrigada!

Ao amigão e orientador André Ribeiro. Não somente pelos muitos ensinamentos, mas também pelas oportunidades, confiança e, é claro paciência... Aos amigos e co-orientadores Rudolph Trouw e Renata Schmitt pela amizade e muitos ensinamentos geológicos.

Sou eternamente grata a todos os meus amigos, de perto ou de longe, e, por mais que eu não goste de escrever nomes, esses são essenciais e não poderiam falta aqui: Raisal Costa, Taryn Campos, Felipe Nepomuceno, Alexandre Braga, Clara Ferrer, Patricia Toledo, Everton Bongioiolo, Filipe Rocha, Alessandra Sivertsen, os sumidos Bruno Raphael e Caroline Nardi e, é claro, Isabella Henriques, Marcela Máximo e Natália Fagundes... Obrigada, queridos!

Resumo

NASCIMENTO, Débora Barros. **Estratigrafia da Sequência Damara, Neoproterozóico, em Damaraland, Namíbia.** Rio de Janeiro, 2012. xvii, 117 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

A Sequência Damara é uma sucessão metassedimentar derivada de depósitos de margem continental neoproterozóica que bordejavam os proto-crátons do Congo e Kalahari. Na base da sequência vulcanitos félsicos a máficos da fase rifte, com idade U-Pb em zircões em torno de 750Ma indicam a idade máxima de sedimentação. Esta sequência constitui três faixas móveis Pan-Africanas, Kaoko e Gariiep de rumo aproximado norte-sul margeando o litoral da Namíbia e o braço terrestre, o Cinturão Damara ou Outjo de rumo nordeste-sudoeste. Na região entre Vrede e Toekoms, no Cinturão Damara, a sequência aparece em fácies xisto verde, zona da biotita, com o padrão estrutural do tipo dobra-falha com vergência para norte. Este padrão é resultado de um evento tectônico com duas fases de deformação progressiva, D1 e D2. Uma compressão posterior aproximadamente leste-oeste deu origem a dobras de traço axial norte-sul da terceira fase de deformação, D3. Este padrão tectônico é o resultado da colisão dos crátons do Congo, Kalahari e Rio de La Plata. Na área estudada as rochas, as associações de rochas e as unidades litológicas preservam feições que permitem interpretar a estratigrafia e os possíveis paleoambientes. Foram reconhecidas duas sequências deposicionais contendo debritos, arenitos e pelitos, siliciclásticos e carbonáticos. A sequência inferior é constituída por cinco unidades: 1- brechas/arcóseos de leque aluvial, 2- debritos que passam a turbiditos e no topo pelitos, 3- dolomitos turbidíticos incluindo olistolitos e olistostromas, 4- pelitos com seixos isolados e, no topo 5- dolomitos. A sequência superior também contém cinco unidades: 1- brechas carbonáticas que passam lateralmente a 2- quartzitos maciços/gradados e 3- turbiditos clássicos cobertos por um pacote pelítico, 4- carbonatos formando uma sucessão grano-estrato decrescente para o topo e 5- turbiditos finos e (hemi)pelágicos. As unidades 1 e 2 na sequência inferior e 1, 2 e 3 na superior são interpretadas como trato de sistema de mar baixo com os pelitos de topo representando as superfícies de inundação marinha. As unidades carbonáticas logo acima representam o trato de sistema transgressivo. A unidade 4 na sequência inferior e os pelitos do topo da unidade 4 na superior, também representam inundação marinha. O carbonato no topo da sequência inferior e os pelitos no topo da superior constituem tratos de sistema de mar alto. Estas sequências são cobertas em discordância angular por debritos, arenitos e pelitos, também siliciclásticos e carbonáticos, considerados como depósitos de uma bacia de antepaís.

Palavras-chave: Estratigrafia; Cinturão Damara; Namíbia;

Abstract

NASCIMENTO, Débora Barros. **Estratigrafia da Sequência Damara, Neoproterozóico, em Damaraland, Namíbia.** [*Stratigraphy of Neoproterozoic Damara Sequence, Damaraland, Namíbia.*] Rio de Janeiro, 2012. xvii, 117 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

The Damara Sequence is a metasedimentary succession

Key-Words: Stratigraphy; Damara Sequence; Namibia;

Índice de figuras

Figura 1. Localização da Namíbia no sul do Continente Africano destacando-se a região de Damaraland. Fonte: Google Earth 2009.	1
Figura 2. Localização aproximada e acesso a área a partir de Windhoek, capital da Namíbia. <i>The Shell Road Map of Namíbia</i> , 1997.	2
Figura 3. Localização da área nas cartas topográficas 1:50.000, Vrede e Bethanis. <i>Director – General of Surveys, South West Africa</i> , 1980.	3
Figura 4. Mapa geotectônico da Namíbia com polígono delimitando a área aproximada 1- do presente estudo e, 2- do Projeto Namíbia. Simplificado de Hoffman e Halverson (2008), após Miller e Grote (1988).	5
Figura 5. Zonas tectono-estratigráficas do Orógeno Damara com retângulo vermelho mostrando a localização aproximada da área de estudo na Zona Norte ou Outjo. Simplificado de Miller, 2008.	6
Figura 6. Estratigrafia do Grupo Otavi na Plataforma Otavi e Zona Marginal Norte e do Grupo Swakop na Zona Norte. Zonas tectono-estratigráficas na figura 5. Baseado em Miller, 2008.	7
Figura 7. Mapa geológico da área Bethanis-Austerlitz segundo Hoffman e Halverson (2008). Note que os autores mostram embasamento no núcleo do Domo Austerlitz.	8
Figura 8. Mapa geológico da área dos Domos Vrede segundo Hoffman e Halverson (2008) baseado em Maloof (2000).	9
Figura 9. Seção esquemática através do Cinturão Damara mostrando a fase rifte basal - Grupo Nosib, e sucessões do Grupo Otavi e Swakop, segundo Borg, 2000. A área estudada corresponde a uma seção onde aparecem as vulcânicas Naauwpoort.	10
Figura 10. Mapa Geológico da Sequência Damara na área do Projeto Namíbia com os domínios estruturais 1 - área de estudo incluindo os Domos Vrede, área Bethanis-Toekoms e Domo Austerlitz, 2 – Goantagab e 3 - Lower Ugab. Simplificado do mapa do Projeto Namíbia, Cees Passchier e Rudolph Trouw, e colaboradores, inédito.	12
Figura 11. Mapa geológico estrutural da área Bethanis-Toekoms, mostrando padrão de redobramento entre dobras F1 e F2, segundo Frets (1969, in Miller, 2008 figura 13-219). Compare com a figura 20 e Anexo 1.	13
Figura 12. Mapa estrutural mostrando traços de eixos de dobras F1, F2 e F3. Simplificado da figura 13.220 de Miller (2008), figura que é baseada em Freyes e Haldich (1994) e Goscombe <i>et al.</i> (2003).	14
Figura 13. Sucessões da fase rifte, de bacia de margem continental e de bacia de ante-país, da Sequência Damara na área do Projeto Namíbia, noroeste da Namíbia. Mapa inédito de André Ribeiro baseado em dados de campo incluindo perfis estratigráficos e nos trabalhos de Miller (1983), Swart (1992) e Paciullo <i>et al.</i> (2007).	16

- Figura 14. Bacias que deram origem as faixas Damara (FD), Kaoko (FK) e Gariiep (FG). Simplificado de Miller, 1983; Miller, 2008 e Gray *et al.*, 2006. 19
- Figura 15. Empurrões e dobras associadas, análogo em afloramento do estilo estrutural típico da área. Dolomito da unidade 3 na área de Bethanis. 19
- Figura 16. Mapa simplificado mostrando os traços das principais estruturas: vermelho – empurrões D1. Traço de plano axial de dobras: roxo – D2, verde – D3, cinza – D4, de ocorrência local no domo sul dos Domos Vrede. 20
- Figura 17. Brecha tectônica em quartzito da unidade 11, na base de uma falha de empurrão no Domo Austerlitz. 21
- Figura 18. Mapa geológico dos Domos Vrede. A idade de 756 ± 4 Ma (Renata Schmitt, informação verbal) foi obtida em um felsito encaixado em unidade correlata no Domo Austerlitz (Anexo 1). 23
- Figura 19. Seção geológica norte-sul através dos Domos Vrede mostrando empurrão associado a dobras D1 assimétricas com vergência para norte. Localização da seção e legenda das unidades vide figura 18. 25
- Figura 20. Mapa geológico da área Bethanis-Toekoms e Domo Austerlitz. 26
- Figura 21. Seções geológicas através das áreas de Bethanis-Toekoms (D a J) e Domo Austerlitz (K a O). Legenda das unidades e localização das seções na figura 20. A escala vertical e horizontal em cada uma das seções é igual, mas varia de seção para seção. Todas as seções aparecem com a mesma escala no Anexo 1. 28
- Figura 22. Foliação S1+2 ardosiana em siltito ressaltada por percolação de óxido de ferro (A) e clivagem espaçada em debrito carbonático. 32
- Figura 23. Dobras apertadas D2, com plano axial mergulhando para sudeste no Domo Austerlitz (A) e nordeste na área de Toekoms (B). 33
- Figura 24. Dobras D2 com plano axial e eixo subverticais devido ao redobramento D3. Unidade 9 na parte leste dos Domos Vrede. 34
- Figura 25. Estruturas assimétricas em debrito carbonático indicando movimento destrógiro na zona de cisalhamento subvertical de Bethanis. 35
- Figura 26. Estereogramas de igual área, com projeção no hemisfério inferior, mostrando polos de: A- acamamento sedimentar (S0); B- S0 paralelo à clivagem S1+2; C- S1+2. D- eixos D2; E- polos de S3; F- eixos D3; G- polos de S4; H- eixos D4. 36
- Figura 27. Estereogramas de igual área, com projeção no hemisfério inferior, mostrando na área Bethanis-Toekoms, polos de: A- foliação no embasamento; B- acamamento sedimentar (S0); C- S0 paralelo à clivagem S1+2; D- S1+2. E- eixos D2, lineação de interseção Li2 e lineação de estiramento. F- polos de S3; G- eixos D3. 37

Figura 28. Estereogramas de igual área, com projeção no hemisfério inferior, mostrando no Domo Austerlitz, polos de: A- foliação no embasamento; B- acamamento sedimentar (S0); C- S0 paralelo à clivagem S1+2; D- S1+2. E- eixos D2, lineação de interseção Li2 e lineação de estiramento. F- polos de S3; G- eixos D3.	38
Figura 29. Seções geológicas leste-oeste nos Domos Vrede mostrando dobra D3 simétrica no domo sul (B-B') e levemente assimétrica com discreta vergência para leste no domo norte (C-C'). Localização das seções e legenda das unidades na figura 18.	40
Figura 30. Clivagem ardosiana S3 em alto ângulo com o acamamento definido por dolomitos e siltitos da unidade 3 no domo sul, Domos Vrede.	41
Figura 31. Dobras D3 com planos axiais e eixos subverticais em flanco íngreme de D2. Dolomito da unidade 6, nos Domos Vrede.	41
Figura 32. Superfície com ressaltos e estrias em plano de falha na área de Bethanis.	42
Figura 33. Tipos de interação água x grãos clásticos gerando a mobilidade necessária nos principais tipos de fluxos gravitacionais de sedimentos. Figura de Middleton e Hampton (1973), in Collinson e Thompson, 1982.	43
Figura 34. Conglomerados polimíticos (Cgm) separados por bancos de dolomitos laminados. Na foto superior os contatos irregulares registram compactação mecânica.	47
Figura 35. Gradação normal em debritos polimíticos nos Domos Vrede.	48
Figura 36. Brecha com caráter petromítico definido pela abundância de fragmentos de rochas graníticas. Unidade 2 na área de Toekoms.	48
Figura 37. Debrito arcoseano gradando para arcóseo grosso. Domos Vrede.	49
Figura 38. Fragmentos de dolomito marrom (D), arenito (A), granito (G) e quartzo de veio (Qv) mostrando o caráter polimitico do debrito.	49
Figura 39. Fragmentos de granito e vulcanitos e matriz arcoseana em debrito polimítico no Domo Austerlitz.	50
Figura 40. Camadas maciças de diamictito com seixos angulosos e arredondados separadas por bancos de arenitos. Unidade 3, Domo Austerlitz.	51
Figura 41. Diamictitos com matriz marrom rica em ferro e esverdeada com clorita. Note um grande fragmento de dolomito marrom e fragmentos rosados de granito. Domo Austerlitz, perfil 5 no Anexo 2.	51
Figura 42. Contato entre camadas espessas de quartzito, o banco superior mostra gradação – seixos na base (B) que passam a quartzitos com grânulos e areia grossa no topo (A).	53

Figura 43. Quartzito da unidade 11 com intraclastos de dolomito, Domo Vrede (A) e com as cavidades deixadas pela erosão destes intraclastos, Domo Austerlitz (B).	54
Figura 44. Separações pelíticas deformadas (A) e empilhamento de camadas maciças no quartzito da unidade 11 no Domo Austerlitz.	55
Figura 45. Arcóseo rosado com gradação normal entre camadas delgadas de pelito. Turbidito A-D mostrando intervalo A gradado e D, pelítico. Unidade 3 no Domo Austerlitz.	56
Figura 46. Feldspatos, quartzo e muscovita plutônicos (A) e fragmento de vulcanito (B) em vaque arcoseana no Domo Austerlitz.	57
Figura 47. Estratificação cruzada em arenitos feldspáticos da unidade 14 na área de Bethanis.	58
Figura 48. Marcas de onda de corrente em arenitos da unidade 14 em Bethanis.	59
Figura 49. Sucessão de acamamento delgado, litofácies Tb-S, típica da unidade 14 na área de Bethanis.	61
Figura 50. Marcas de onda cavalgantes em sucessão de acamamento delgado (Tb-S) da unidade 3 na área de Austerlitz.	61
Figura 51. Dobras convolutas geradas por escorregamento em sucessão de acamamento delgado na unidade 14, em Bethanis.	62
Figura 52. Fragmentos isolados de arenito em sucessão de siltitos, e na foto inferior, seixo isolado de granito em pelito filítico. Unidade 8, Domo Vrede.	63
Figura 53. Classificação de rochas carbonáticas de Embry e Klovan (1971).	65
Figura 54. Ruditos carbonáticos separados por bancos de dolomito marrom. Unidade 9, Domo Austerlitz.	68
Figura 55. Rudito carbonático grosso mostrando gradação para fácies de rudito fino e granulo arenito. Unidade 10, Bethanis.	68
Figura 56. Variedades de fragmentos de rochas carbonáticas em rudito da unidade 10 em Bethanis (A) e 16 em Toekoms (B).	69
Figura 57. Fragmentos de dolomitos verde e marrom em matriz siliciclástica arcoseana. Brecha carbonática da unidade 10 em Bethanis.	70
Figura 58. Rudito fino com seixos de rocha carbonática cinza e dolomito marrom mostrando diferentes competências à deformação. Unidade 13, Domo Austerlitz.	70
Figura 59. Brecha intraformacional carbonática formada por deslizamento penecontemporâneo. Unidade 13, Bethanis.	71
Figura 60. Camada vertical de granulo arenito dolomítico (B) com oólitos de variada granulometria (A).	72
Figura 61. Ciclos arenito-pelito compostos por <i>grainstone</i> oolítico e <i>mudstone</i> de cor creme, interpretados como turbiditos de acamamento	73

delgado.

- Figura 62. Ritmito formado por camadas delgadas de dolomito creme, cinza e esverdeado, encaixando veios de calcita. 73
- Figura 63. Banco de dolomito com seixos espalhados mostrando gradação normal. Unidade 3 em Toekoms. 75
- Figura 64. Dolomito com gradação normal definida por fácies maciça (A) que passa para laminada (B) e no topo para microlaminação cruzada (C), semelhante aos turbiditos Ta-b-c. Unidade 9 em Toekoms. 75
- Figura 65. Bancos de dolomito intercalados em sucessão siliciclástica de acamamento delgado (Tb-S). Unidade 6, domo sul, Domos Vrede. 76
- Figura 66. Marcas de carga em dolomitos da unidade 9 em Toekoms. 76
- Figura 67. Gretas de ressecamento em bloco de dolomito pelítico creme. Domo sul, Domos Vrede. 77
- Figura 68. Estromatólitos colunares formando biostroma em dolomitos. Domo sul, Domos Vrede. 77
- Figura 69. Carbonatos da unidade 6 que “onlaparam” unidades mais antigas e aparecem em discordância angular e litológica sobre o embasamento. Norte dos Domos Vrede. Na foto A detalhe da discordância. 79
- Figura 70. Empilhamento de camadas tabulares delgadas de arcóseo Sm-A cortadas pela clivagem S1+2 no topo da unidade 2, em Austerlitz. 80
- Figura 71. A unidade 3 em contato aparentemente concordante sobre a unidade 2 no norte do Domo Austerlitz. 82
- Figura 72. Sucessões de acamamento delgado capeadas por rudito polimítico, perfil 4 (Anexo 2) no Domo Austerlitz. 83
- Figura 73. Metafelsitos maciço com fenocristais de quartzo (A) e com laminação de fluxo acentuada pela deformação (B). 84
- Figura 74. Lavas almofadadas em metabasito no núcleo do Domo Austerlitz. 85
- Figura 75. Lava porfírica intercalada em sucessão de acamamento delgado da unidade 3, com cerca de 5cm de margem resfriada no contato (A). Na foto B o corpo de lava destacando-se no relevo. Perfil 5, Domo Austerlitz. 86
- Figura 76. Unidade 6 estratificada truncada por dolomitos maciços da 7 (B). Na foto A uma lente da unidade 7 na 6. O afloramento corresponde as duas primeiras colunas do perfil 3 (Anexo 2). Domos Vrede, ponto 173. 89
- Figura 77. Paredão de dolomito maciço da unidade 7 sobre dolomito estratificado da sucessão mista da unidade 6 (A). Na foto B o contato entre as unidades maciça (7) e estratificada (6). Domos Vrede, ponto 161. 90
- Figura 78. Olistostromas da unidade 7 truncando em discordância intraformacional (di) a sucessão mista carbonática-siliciclástica da 91

unidade 6. Domos Vrede, vista do ponto 161.	
Figura 79. Carbonatos da unidade 9 cobrindo pelitos da unidade 8 nos Domos Vrede.	94
Figura 80. Carbonatos da unidade 9 cobrindo a unidade 3, área de Toekoms.	94
Figura 81. Sucessões de acamamento espesso (detalhe na figura 64) e delgado na unidade 9 em Toekoms.	95
Figura 82. Camadas gradadas semelhantes aos turbiditos Ta-b-d típicas das sucessões de acamamento delgado da unidade 9 na área de Toekoms. SS – arenito (<i>grainstone</i>), S – siltito e M – argilito.	95
Figura 83. Fragmentos de rocha carbonática azulada (calcáreo?) e dolomito marrom em matriz de areno-pelítica (<i>packstone</i>) formando brecha (Rg-C) no topo da unidade 9 nos Domos Vrede.	96
Figura 84. Bancos de quartzitos maciços formando sucessões típicas da unidade 11 no Domo Austerlitz. Vide também figura 44.	98
Figura 85. Bancos de arenito Sm-A e pelitos formando pares interpretados como turbiditos clássicos de acamamento espesso. Domo Austerlitz.	99
Figura 86. Fragmentos de dolomito esverdeado e de pelitos cinzentos na base de uma camada de arcóseo grosso na unidade 12. Domo Austerlitz.	99
Figura 87. Pacote carbonático formado por empilhamento de camadas maciças ou gradadas e sucessões de acamamento delgado. Unidade 13, Bethanis.	101
Figura 88. Brecha intraformacional (bi) gerada por deslizamento interno em sucessão de acamamento delgado na unidade 13 na área de Bethanis.	101
Figura 89. Contato paraconcordante entre as unidades 16 e 14 na área de Bethanis.	104
Figura 90. Brecha carbonática e arenito misto (siliciclástico-carbonático) com estratificação cruzada deformada da unidade 16 na área de Bethanis.	104
Figura 91. Dique de diabásio NE-SW/subvertical com cores esverdeadas de alteração e fraturas subhorizontais e subverticais. Ponto 35, parte leste do domo norte, Domos Vrede.	105
Figura 92. Unidades da Bacia Etendeka a oeste dos Domos Vrede.	106
Figura 93. Leque aluvial recente com área fonte em rochas da Bacia Etendeka. Vista para oeste dos Domos Vrede.	107
Figura 94. Rio entrelaçado efêmero no vale que separa os domos norte e sul nos Domos Vrede. Imagem do Google Earth fornecida pela <i>Mainz University</i> .	107
Figura 95. Gretas de ressecamento em lama de canal abandonado do Rio Huab. Parte leste dos Domos Vrede.	108

- Figura 96. Depósito de tálus em encosta carbonática na parte norte do domo sul, Domo Vrede. 108
- Figura 97. Síntese estratigráfica da área. Números: unidades de mapeamento, legenda no Anexo 1. Discordâncias: dla – litológica/angular; da – angular; di – intraformacional. Tratos de sistema: Mb – mar baixo; Tr – transgressivo; Ma – mar alto. Superfícies de inundação: Sim – marinha; Simx – máxima. P – pelito, D – dolomito e sucessões de acamamento delgado, A – arenito e sucessões de acamamento espesso, R – ruditos. 112
- Figura 98. Coluna estratigráfica estabelecida para área de estudo comparada com a nomenclatura formal da Sequência Damara nas Zonas Tectono-estratigráficas Norte, Marginal Norte e Sul. Localização das zonas na figura 5. Os números correspondem às unidades de mapeamento - legenda no Anexo 1. Os demais símbolos são os mesmos da figura 97. 113

Índice de anexos

Anexo 1. Mapa geológico da área Vrede, Bethanis-Toekoms e Austerlitz, Damaraland, noroeste da Namíbia.

Anexo 2. Perfis estratigráficos da área Vrede, Bethanis-Toekoms e Austerlitz, Damaraland, noroeste da Namíbia.

Índice

Agradecimentos	vi
Resumo	vii
Abstract	viii
Índice de figuras	ix
Índice de anexos	xvi
Índice	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo	1
1.2. Localização geográfica da área investigada	1
1.3. Metodologia	2
1.4. Logística	4
2. GEOLOGIA REGIONAL	5
3. GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA	18
3.1. Geologia Estrutural	18
3.1.1. Primeira fase de deformação (D1).....	21
3.1.2. Segunda fase de deformação (D2).....	22
3.1.3. Terceira fase de deformação (D3)	39
3.1.4. Interferência de D2 e D3: os domos Vrede e Austerlitz	39
3.1.5. Quarta fase de deformação (D4)	42
3.1.6. Falhas subverticais.....	42
3.2. Geologia Sedimentar	43
3.2.1. Fluxos gravitacionais de sedimentos.....	43
3.2.2. LITOFÁCIES.....	44
3.2.2.1. Litofácies siliciclásticas.....	45
3.2.2.2. Litofácies carbonáticas.....	64
3.3. Estratigrafia	78
3.3.1. Unidade 1 – embasamento	78
3.3.2. Unidade 2.....	80
3.3.3. Unidade 3.....	81
3.3.4. Unidades 4 e 5 – rochas metaígneas	83
3.3.5. Unidades 6 e 7	87
3.3.6. Unidade 8.....	91
3.3.7. Unidade 9.....	92
3.3.8. Unidade 10.....	96
3.3.9. Unidades 11 e 12.....	97
3.3.10. Unidade 13.....	100
3.3.11. Unidade 14.....	102
3.3.12. Unidade 15 – Granitos sin-tectônicos.....	102
3.3.13. Unidades 16 e 17.....	103
4. DIQUES DE ROCHAS MÁFICAS – UNIDADE 19	105
5. ROCHAS E SEDIMENTOS FANEROZÓICOS – UNIDADES 18 E 20	106
6. CONCLUSÕES	109
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
8. ANEXOS	117

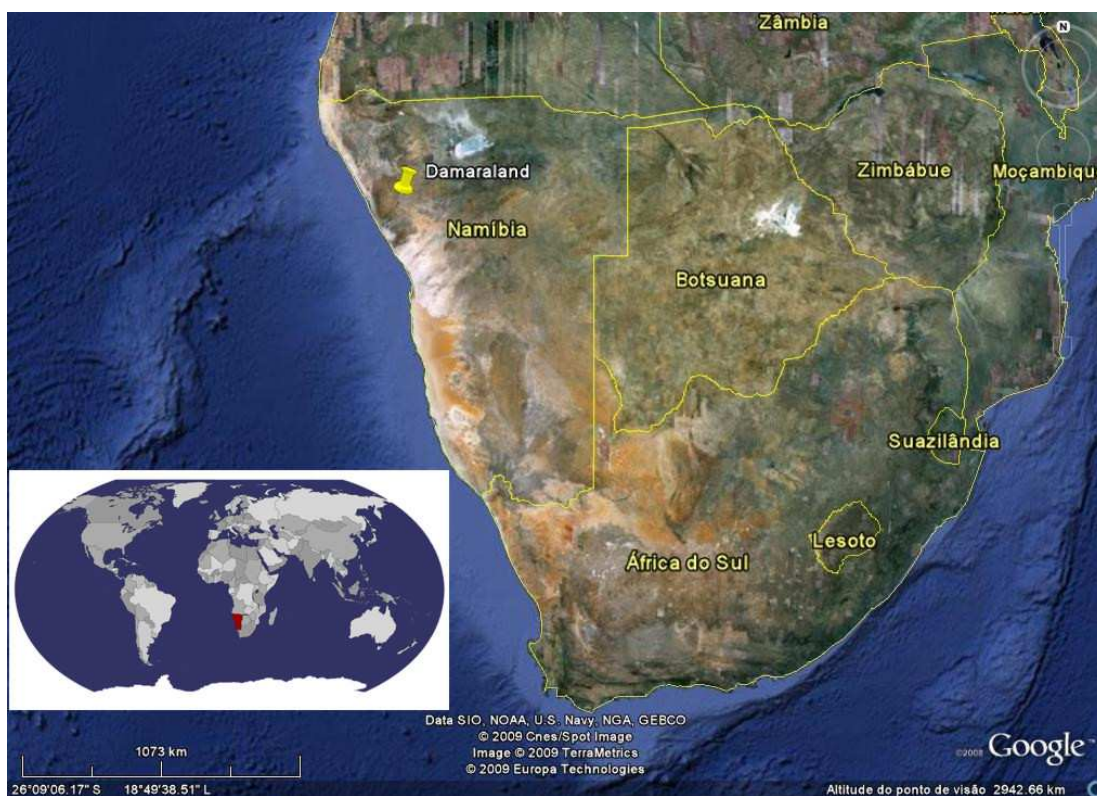
1. INTRODUÇÃO

1.1. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo contribuir para o entendimento da evolução estratigráfica das sucessões neoproterozóicas da Sequência Damara na região de Bethanis, Toekoms, Austerlitz e Vrede, em Damaraland no noroeste da Namíbia. É um trabalho baseado essencialmente em geologia de campo, incluindo mapeamento e perfis estratigráficos.

1.2. Localização geográfica da área investigada

A área estudada localiza-se no noroeste da Namíbia, África (Fig. 1). O acesso a partir de Windhoek, capital da Namíbia, é feito por estrada pavimentada até Okahandja e de lá por estrada de terra passando por Omaruru até alcançar a área de trabalho (Fig. 2).



Para confecção dos mapas e relatório foram utilizados também dados de campo de Rudolph Trouw, Cees Passchier, André Ribeiro, Renata Schmitt, e colaboradores, obtidos nos anos de 2003 a 2011. O mapa é apresentado em escala 1:50.000. Foram utilizados ao todo 1386 pontos (tabela e mapa de pontos no CD em anexo), sendo 487 destes com participação da mestranda. Com base nos dados de campo e mapas foram definidas e mapeadas unidades litológicas e confeccionadas seções geológicas estruturais. Foram levantados 10 perfis estratigráficos em áreas chaves, visando caracterizar a estratigrafia local e os paleoambientes deposicionais.

As bases topográficas utilizadas no campo são ampliações de parte das folhas 2014AC VREDE 1:50.000 e 2014AD BETHANIS 1:50.000 – *first edition, Director – General of Surveys, South West Africa, 1980* (Fig. 3). O datum utilizado no GPS Garmin 12 foi o *Schwarzeck*.

No Departamento de Geologia foi confeccionado o relatório. Os mapas e figuras gráficas foram feitos nos *softwares* ArcGIS® versão 9.3 e CorelDRAW® Graphics Suite X5. Os dados estruturais, tais como foliações e lineações, foram representados em estereogramas utilizando o programa RockWorks 14.

A dissertação está inserida em uma linha de investigações geológicas no noroeste da Namíbia, que vem sendo desenvolvida por pesquisadores do Departamento de Geologia da UFRJ e da *Mainz University, Alemanha*, desde 1998.

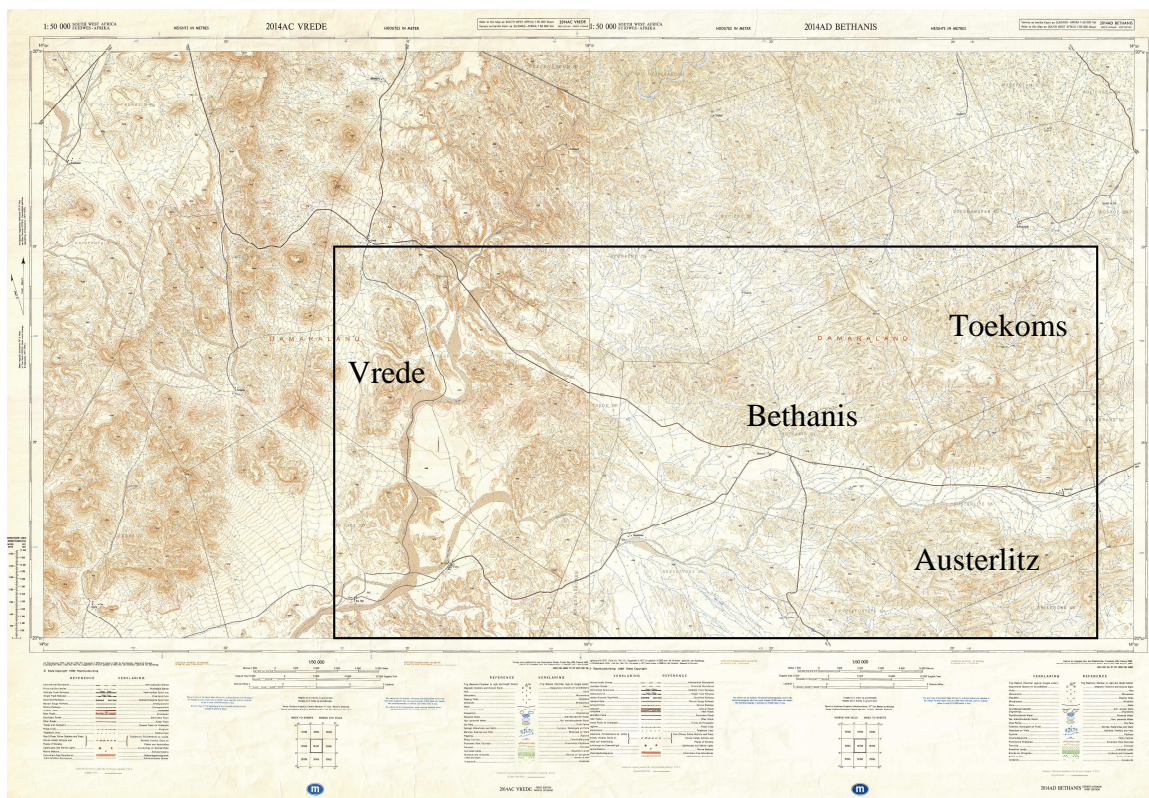


Figura 3. Localização da área nas cartas topográficas 1:50.000, Vrede e Bethanis. *Director – General of Surveys, South West Africa, 1980.*

1.4. Logística

A infraestrutura dos trabalhos de campo, incluindo material de acampamento e viaturas *off-road*, foi em parte fornecida pelo Projeto Namíbia, liderado pelos professores Rudolph Trouw da UFRJ e Cees Passchier da *Mainz University*, Alemanha, e financiado pela *Schürmann Foundation*, Holanda. Obtivemos apoio também da UFRJ-PR6 e do Projeto Gondwana, UFRJ/CENPES-PETROBRÁS, liderado pela professora Renata Schmitt.

2. GEOLOGIA REGIONAL

A Orogenia Pan-Africana/Brasiliana gerou vários cinturões orogênicos circundando crátons. Na Namíbia o Orógeno Damara (Miller, 1983) é constituído por três segmentos, Faixa Damara ou ramo interior, Faixa Gariep e Faixa Kaoko (Fig. 4). As unidades metassedimentares nestas faixas são consideradas depósitos de margens continentais passivas que existiam nas bordas dos crátons Kalahari e Congo/Angola (Miller, 1983; Porada, 1989; Paciullo *et al.*, 2007; entre outros).



Figura 4. Mapa geotectônico da Namíbia com polígono delimitando a área aproximada 1- do presente estudo e, 2- do Projeto Namíbia. Simplificado de Hoffman e Halverson (2008), após Miller e Grote (1988).

A Sequência Damara, que é parte da Faixa Damara ou Outjo, é um espesso (>1000m) pacote metassedimentar neoproterozóico, constituído por unidades siliciclásticas e carbonáticas, deformadas durante a orogenia Pan-Africana. Na área estudada esta sequência faz parte da Zona Norte ou Zona Outjo na divisão tectono-estratigráfica de Miller (1983), revista em Miller (2008), como mostra a figura 5.

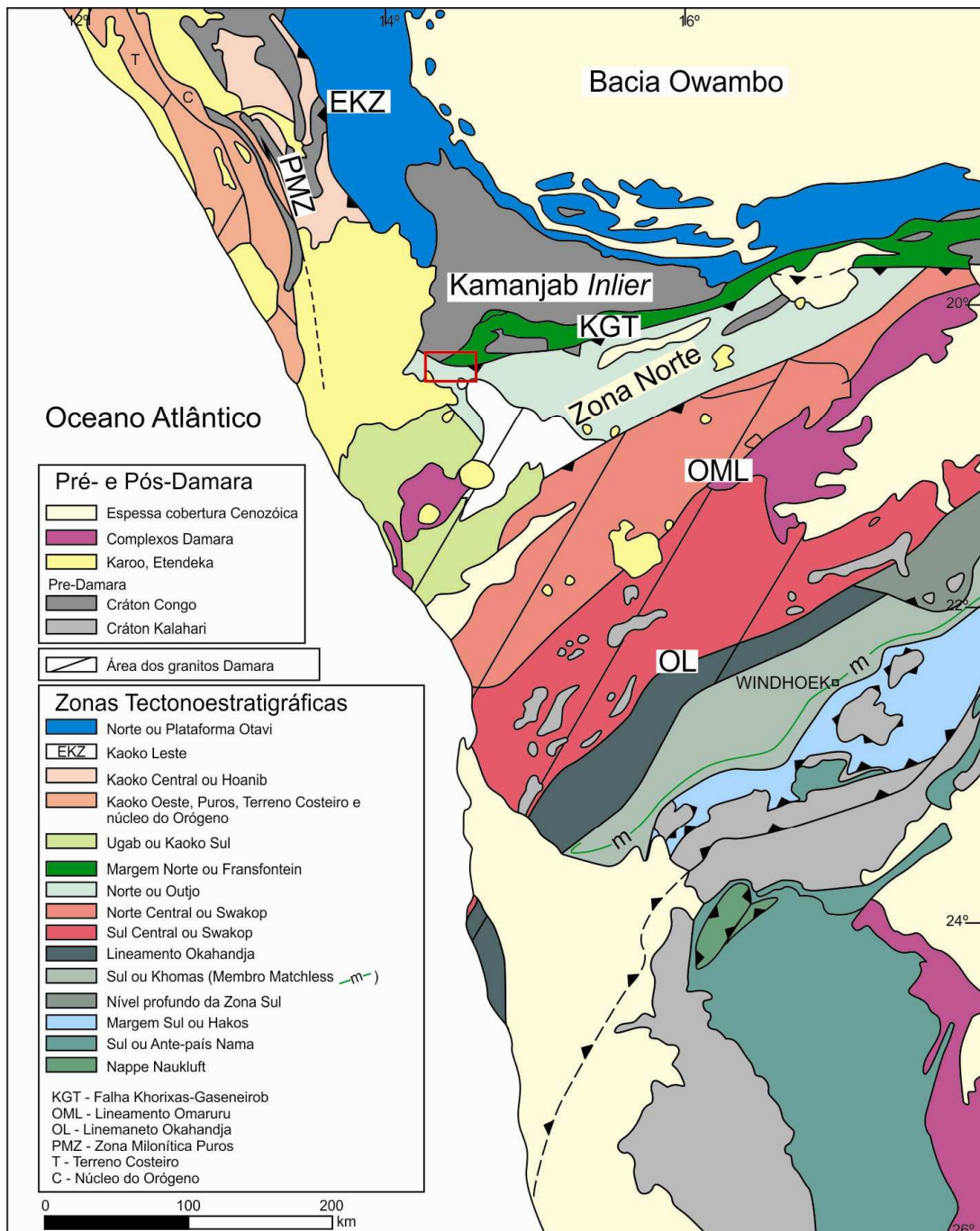


Figura 5. Zonas tectono-estratigráficas do Orógeno Damara com retângulo vermelho mostrando a localização aproximada da área de estudo na Zona Norte ou Outjo. Simplificado de Miller, 2008.

As unidades da Sequência Damara na Zona Norte eram tradicionalmente incluídas no Grupo Swakop (SACS, 1980) até que Hoffmann (1994, in Miller, 2008) reportou que os “tilitos” Chuos da glaciação Sturtiana e Ghaub da Marinoana, ambos do Grupo Otavi na Plataforma Otavi, também ocorriam no Grupo Swakop na Zona Norte. A presença destas unidades na Zona Norte foi em seguida mostrada também por Prave e Hoffmann (1995, in Miller, 2008) e Hoffmann e Prave (1996, in Miller, 2008). Assim, segundo Miller (2008), foi possível correlacionar as rochas do Grupo Otavi com as do Grupo Swakop (Fig. 6). Esta correlação já tinha sido, em parte, proposta no trabalho de Miller (1983).

Zona Norte / Plataforma Otavi Zona Marginal Norte / Fransfontein	Zona Norte	
Grupo Mulden	Grupo Mulden	
Grupo Otavi	Grupo Swakop	
-	Kuiseb	
Subgrupo Tsumeb {	Karibib	
		Hültenberg
		Elandshoek
		Maieberg
Mb.Keilberg	Ghaub	
Ghaub		
Subgrupo Abenab {	Okonguarri	
		Auros
		Gauss
		Berg Aukas
Chuos	Chuos	
Subgrupo Ombombo	Subgrupo Ugab { Orusewa Okotjize	
Grupo Nosib	Grupo Nosib	
Naauwpoort { Superior Inferior	Naauwpoort { Superior Inferior	
Nabis	Tsuan / Sem nome	
Embasamento	Embasamento	

Figura 6. Estratigrafia do Grupo Otavi na Plataforma Otavi e Zona Marginal Norte e do Grupo Swakop na Zona Norte. Zonas tectono-estratigráficas na figura 5. Baseado em Miller, 2008.

As rochas da área estudada foram incluídas no Subgrupo Ugab por Hoffmann *et al.*, 2004. Hoffman e Halverson (2008) incluíram as unidades basais da área dos domos Vrede e Austerlitz, ricas em conglomerados, na Formação Naauwpoort do Grupo Nosib. As unidades superiores com conglomerados, arenitos, pelitos e dolomitos foram incluídas nos subgrupos Abenab e Tsumeb do Grupo Otavi (Fig. 6). Estes autores mostram no núcleo do Domo Austerlitz embasamento Paleoproterozóico, que não foi encontrado em nosso mapeamento (Fig. 7). Nos Domos Vrede as unidades abaixo da Formação Chuos foram incluídas por Hoffman e Halverson (2008), baseados em Maloof (2000), no Subgrupo Ombombo (Fig. 8).

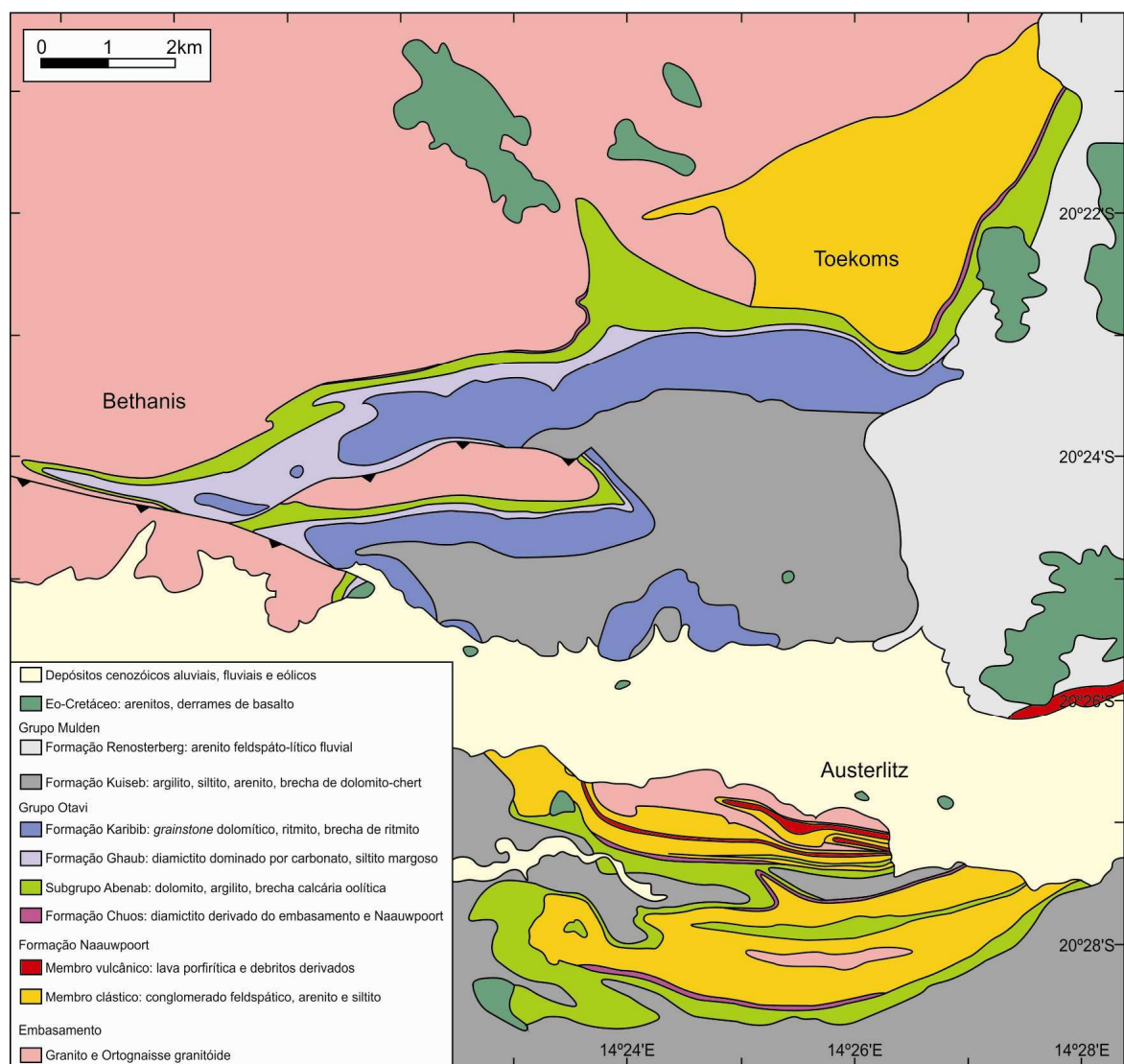


Figura 7. Mapa geológico da área Bethanis-Austerlitz segundo Hoffman e Halverson (2008). Note que os autores mostram embasamento no núcleo do Domo Austerlitz.

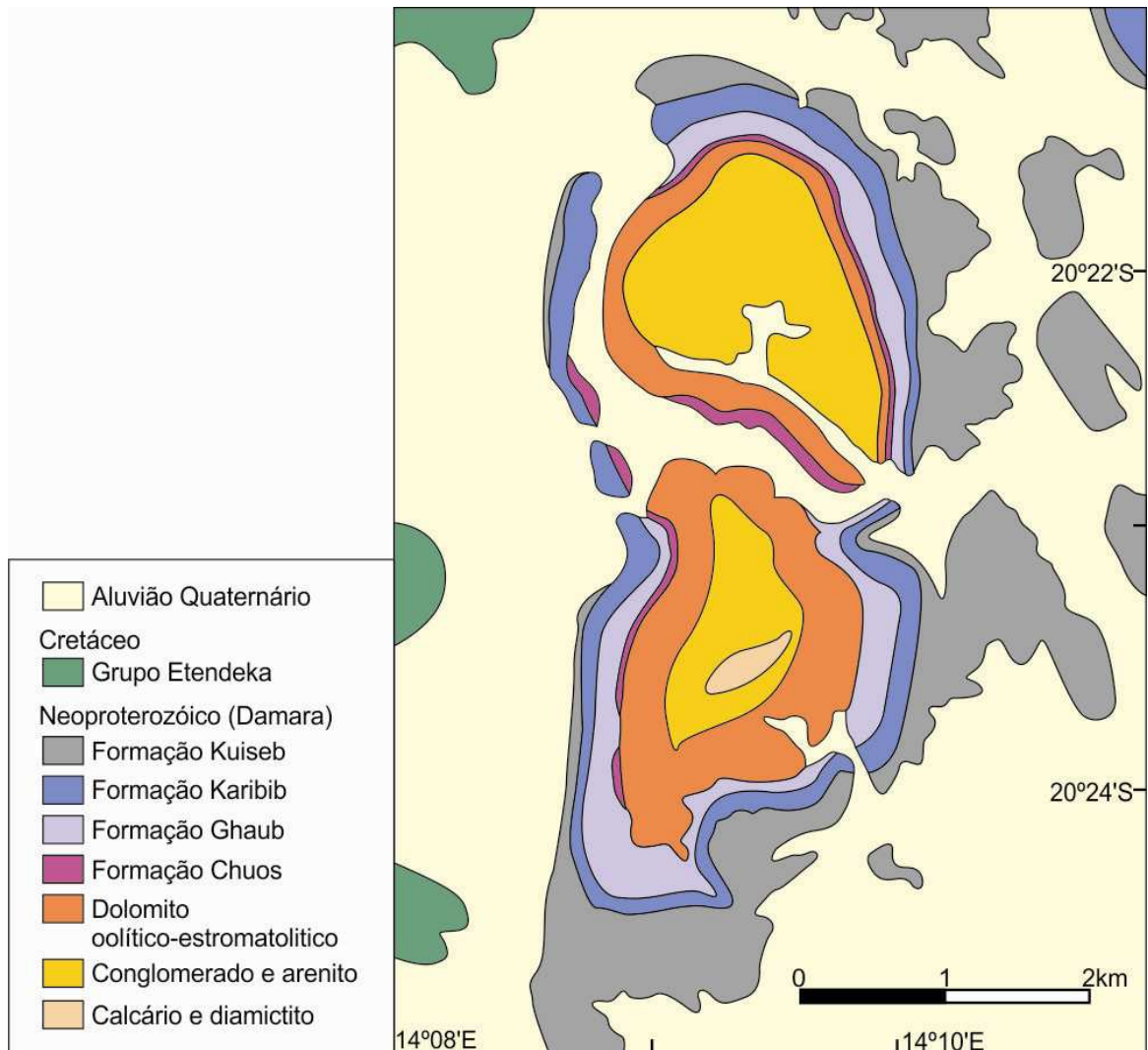


Figura 8. Mapa geológico da área dos Domos Vrede segundo Hoffman e Halverson (2008) baseado em Maloof (2000).

As sucessões da Sequência Damara têm sido consideradas como depósitos de rifte (Grupo Nosib na figura 6) que evoluiu para margem continental com fácies platformais até bacia profunda que preencheram na Zona Norte a Bacia Outjo. Segundo Miller (1983, 2008), a parte mais funda desta bacia era separada da Plataforma Otavi por uma falha que depois reativada deu origem ao empurrão Khorixas-Gaseneirob (Fig. 5). Ao sul a Bacia Outjo era limitada por um suposto alto do embasamento cujo limite norte coincidiria com o que é hoje o lineamento de Omaruru (Fig. 5). No modelo de Borg (2000) esse alto estrutural não existe (Fig. 9).

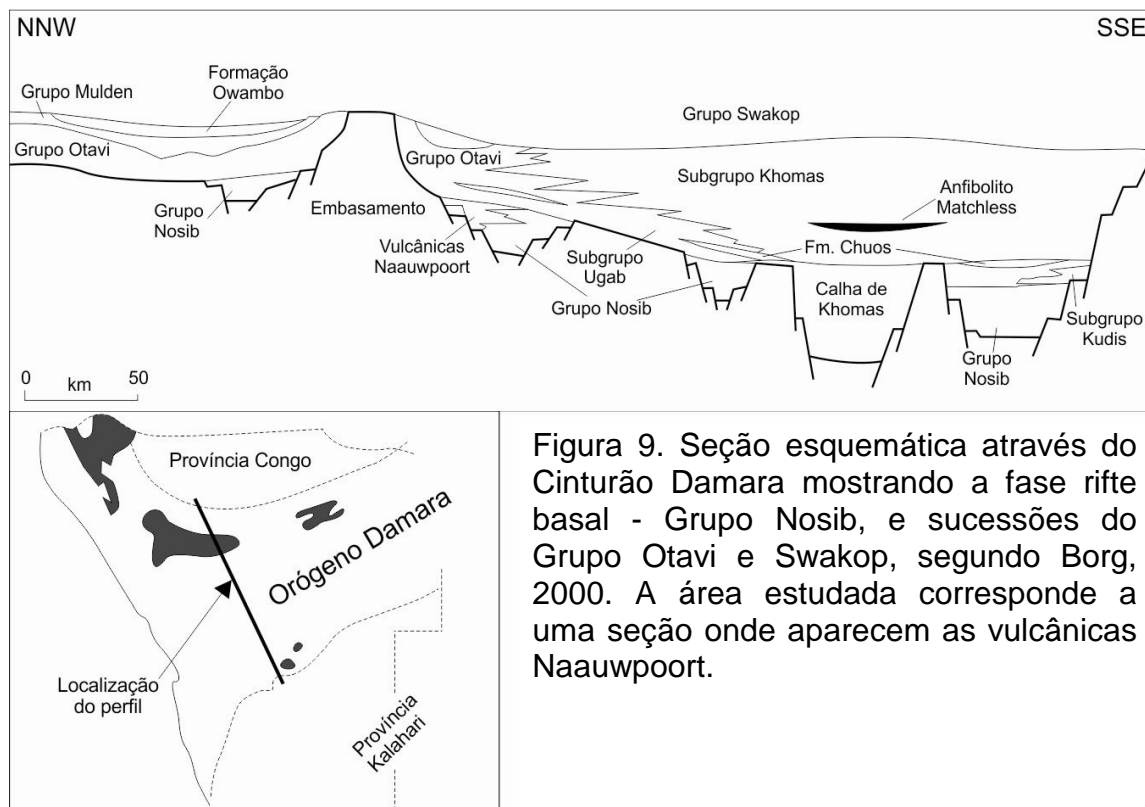
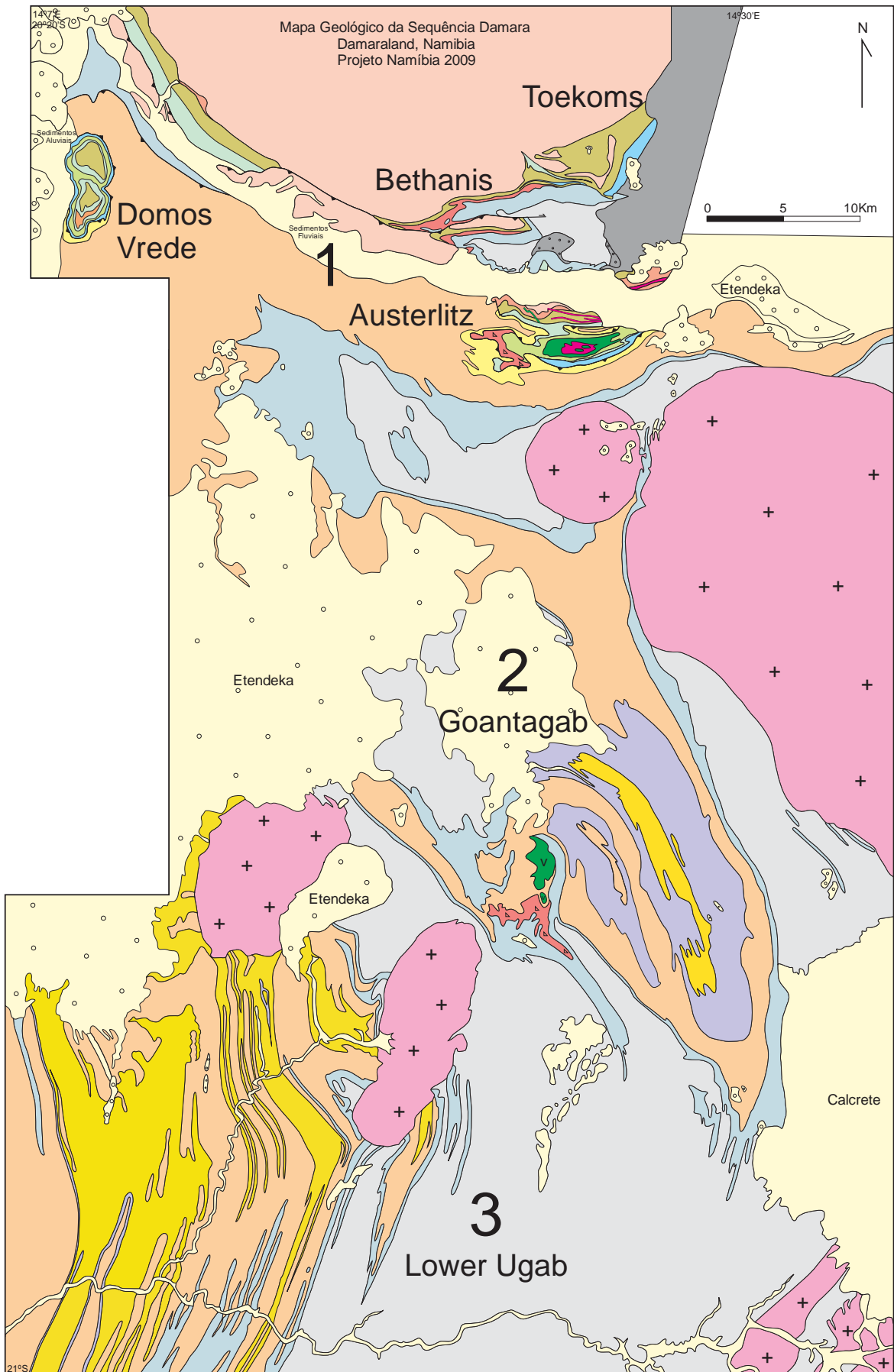


Figura 9. Seção esquemática através do Cinturão Damara mostrando a fase rifte basal - Grupo Nosib, e sucessões do Grupo Otavi e Swakop, segundo Borg, 2000. A área estudada corresponde a uma seção onde aparecem as vulcânicas Naauwpoort.

A Sequência Damara na área de estudo e do Projeto Namíbia (Fig. 4) aparece em fácies xisto verde, zona da biotita. A complexa geologia estrutural desta área ainda é alvo dos estudos liderados pelos professores Rudolph Trouw e Cees Passchier. De modo simplificado pode se dizer que os padrões tectônicos permitem definir três domínios estruturais, de norte para sul, 1, 2 e 3 (Fig. 10). Nestes domínios a deformação principal gerou empurrões e dobras ou somente dobras. O domínio 1 inclui a área de estudo (Vrede, Bethanis-Toekoms e Austerlitz). Neste domínio ocorrem empurrões e dobras com transporte tectônico para norte, redobradas por dobras com traço axial aproximadamente norte-sul. A vergência para norte tem sido relacionada à colisão dos crátoms Congo e Kalahari. Granitos sin-tectônicos do intervalo 530-510Ma balizam a idade da deformação (Schmitt *et al.*, 2012). No domínio 2, Goantagab, o padrão estrutural parece semelhante, dobras da fase principal com vergência aproximada para norte, redobradas por dobras com traço axial norte-sul. No domínio 3, Lower Ugab, os traços axiais das dobras da fase principal fazem um leque, as dobras mostram vergência para oeste no oeste e para leste na parte leste (Passchier *et al.*, 2002). Esta deformação principal, no domínio 3, tem sido atribuída a uma transpressão *sinistral* relacionada a colisão dos crátoms

Rio de La Plata e Congo no intervalo 580-550Ma (Schmitt *et al.*, 2012). Trabalhos mais antigos como o de Frets (1969, in Miller, 2008) mostram na área Bethanis-Toekoms um mapa geológico e um padrão de redobramento (Fig. 11). Traços de eixos de dobras F1, F2 e F3 na área do projeto são mostrados na figura 12, extraída da figura 13.220 de Miller (2008) que se baseou nos trabalhos de Freyer e Häldich (1994) e Goscombe *et al.* (2003). Os mapas e os padrões estruturais mostrados nestes trabalhos são bem distintos dos mapas e da geologia estrutural levantados pela equipe do Projeto Namíbia (Fig. 10).



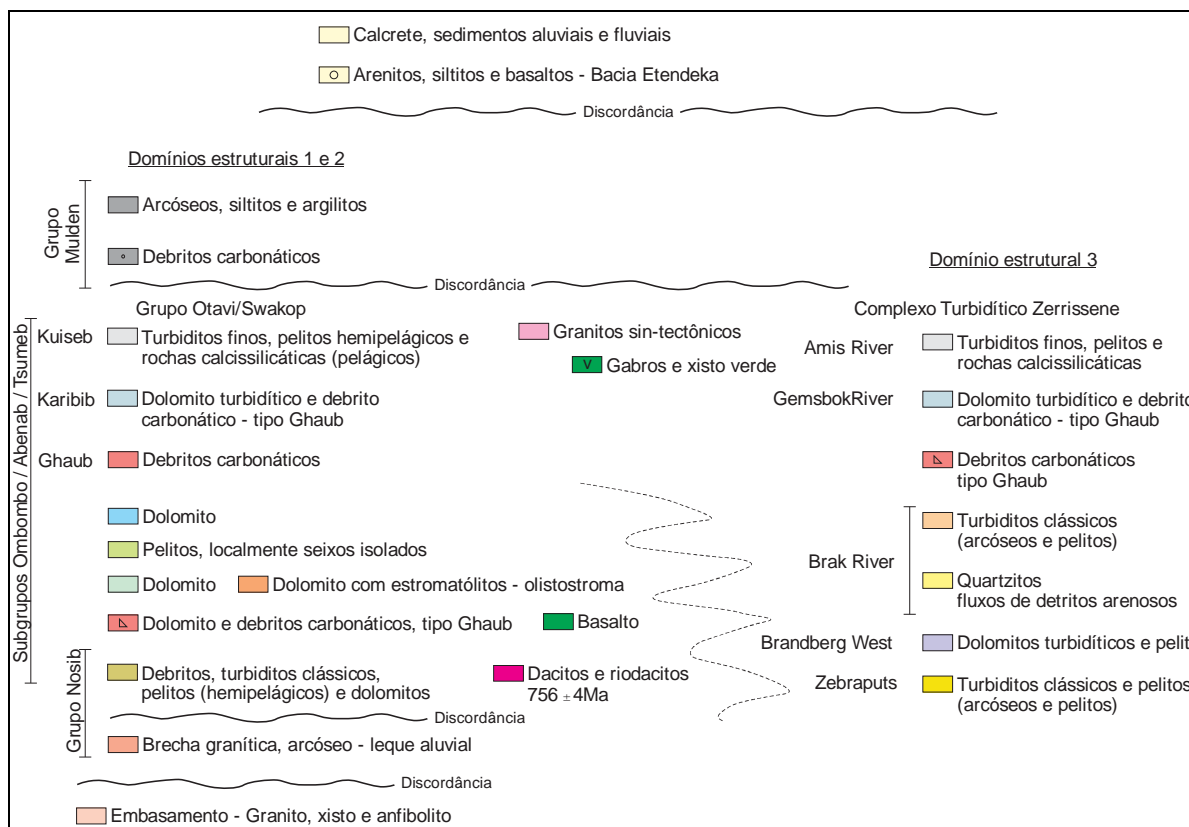


Figura 10. Mapa Geológico da Sequência Damara na área do Projeto Namíbia com os domínios estruturais 1 - área de estudo incluindo os Domo Vrede, área Bethanis-Toekoms e Domo Austerlitz, 2 – Goantagab e 3 - Lower Ugab. Simplificado do mapa do Projeto Namíbia, Cees Passchier e Rudolph Trouw, e colaboradores, inédito.

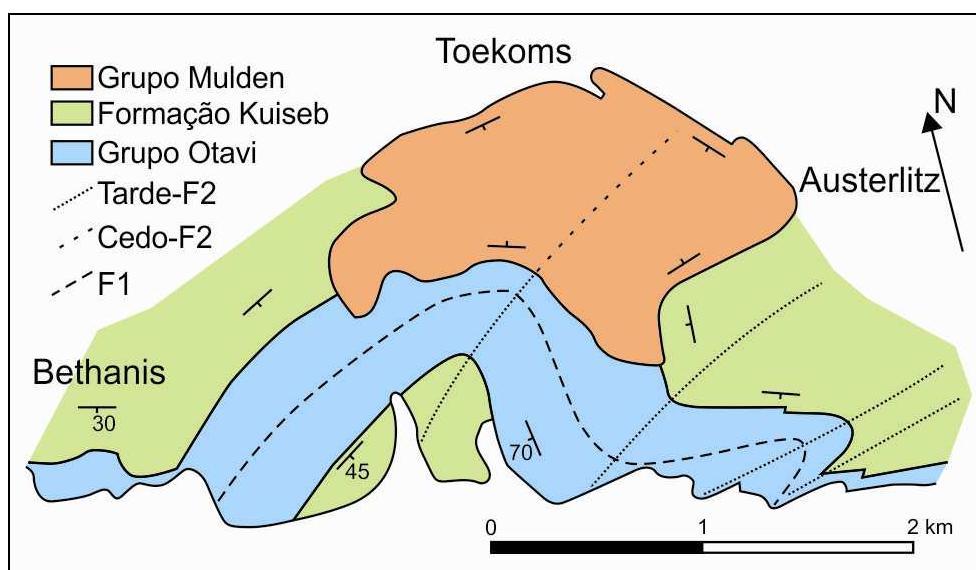


Figura 11. Mapa geológico estrutural da área Bethanis-Toekoms, mostrando padrão de redobramento entre dobras F1 e F2, segundo Frets (1969, in Miller, 2008 figura 13-219). Compare com a figura 20 e Anexo 1.

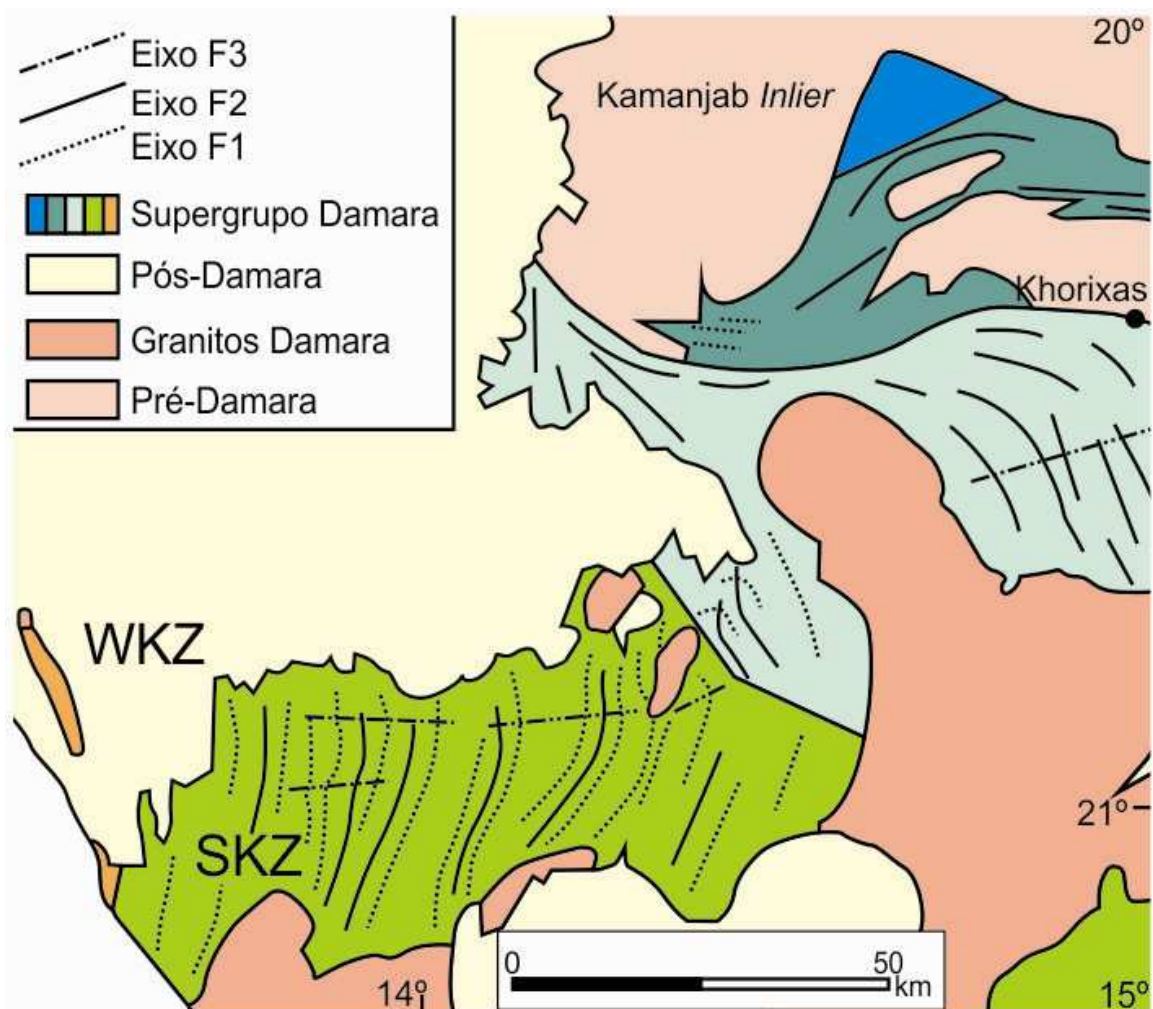
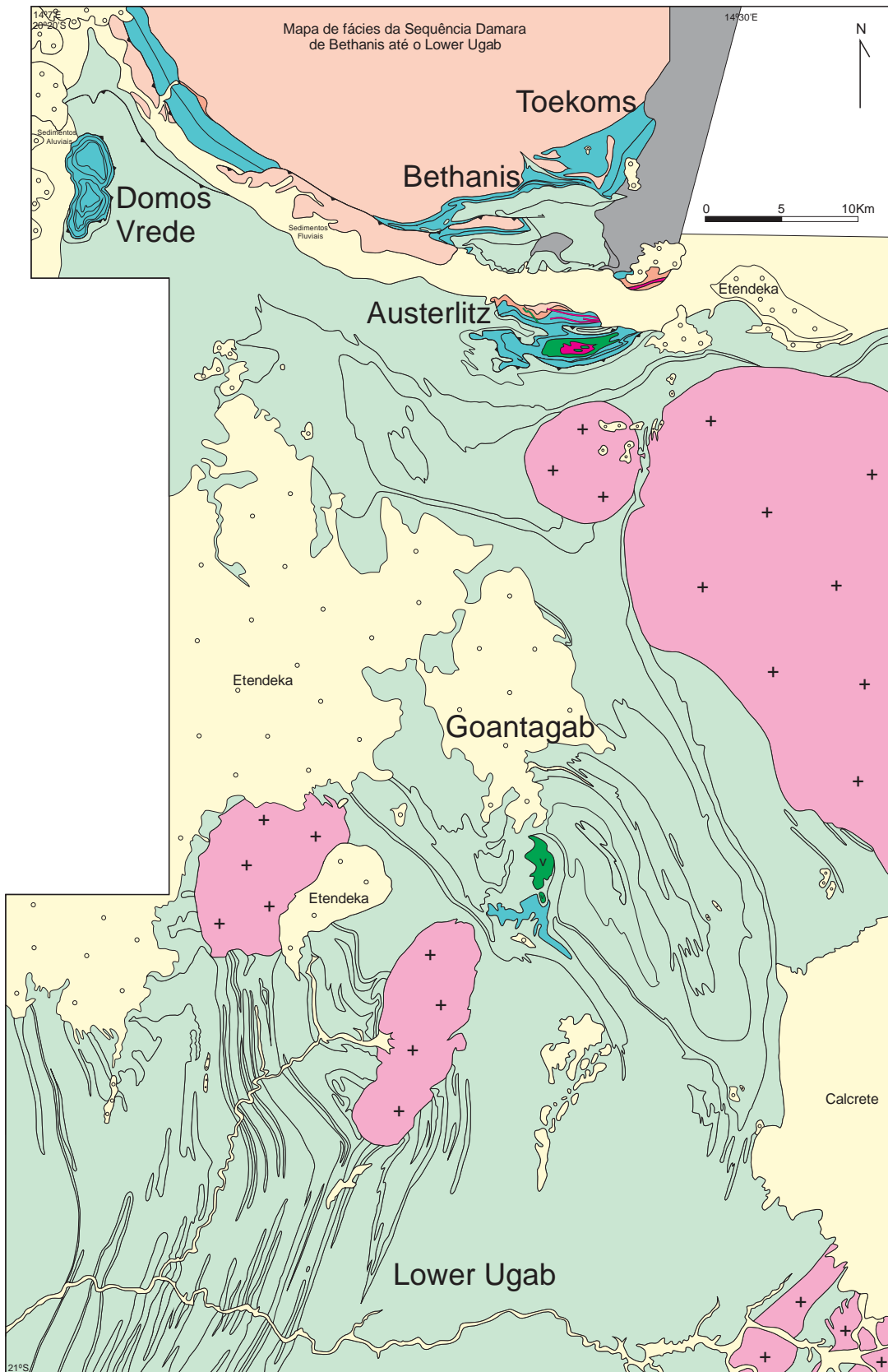


Figura 12. Mapa estrutural mostrando traços de eixos de dobras F1, F2 e F3. Simplicado da figura 13.220 de Miller (2008), figura que é baseada em Freyes e Häldich (1994) e Goscombe *et al.* (2003).

Apesar da deformação as estruturas primárias preservadas e as relações entre unidades litológicas indicam que as sucessões da Sequência Damara na área da figura 10 representam depósitos sedimentares em uma bacia rifte que evoluiu para margem continental (Miller, 1983). Ocorrem três conjuntos de associações de fácies. O mais antigo inclui brechas graníticas e arcóseos de leques aluviais da fase rifte. Sobre estes ocorrem ciclos debrito-turbidito/pelito até decamétricos, arcoseanos e carbonáticos, interpretados como depósitos de talude e leque submarino proximal. Em transição lateral e vertical ocorre um conjunto formado por

turbiditos clássicos e pelitos, também arcoseanos e carbonáticos, interpretados como depósitos de leque médio e distal. Um quarto conjunto de associação de fácies aluvial/fluvial é a Formação Mulden, interpretada como depósito de antepaís (Fig. 13).

Um felsito intercalado na fácies de talude do domínio 1 no Domo Austerlitz forneceu idade U-Pb (SHRIMP) em zircões de 756 ± 4 Ma (Renata Schmitt, inédito). Este dado registra a fase rifte da bacia e baliza a idade máxima dos sedimentos. Dados geocronológicos semelhantes foram obtidos por Fretz (1969, in Miller, 2008) nesta mesma área.



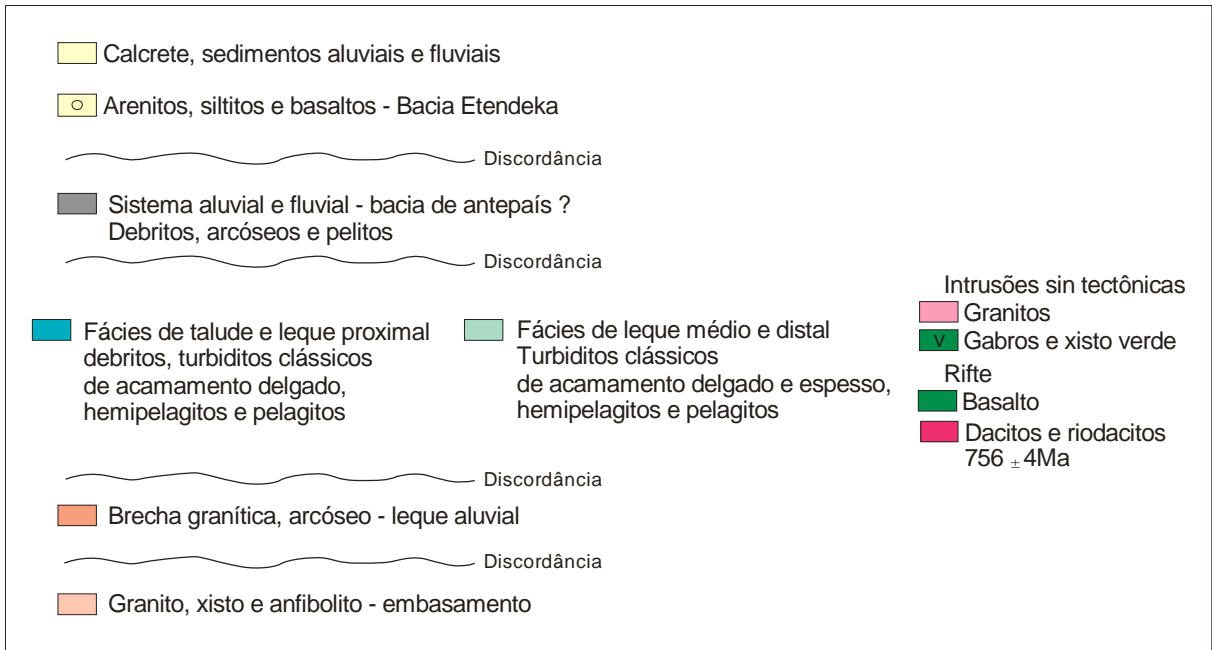


Figura 13. Sucessões da fase rifte, de bacia de margem continental e de bacia de ante-país, da Sequência Damara na área do Projeto Namíbia, noroeste da Namíbia. Mapa inédito de André Ribeiro baseado em dados de campo incluindo perfis estratigráficos e nos trabalhos de Miller (1983), Swart (1992) e Paciullo *et al.* (2007).

3. GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA

3.1. Geologia Estrutural

Este capítulo visa mostrar a posição das unidades litológicas nas principais estruturas tectônicas da área. O arcabouço estrutural é fundamental para o entendimento da geologia sedimentar, principal objetivo do trabalho. A área merece, ainda, um estudo detalhado de geologia estrutural.

As estruturas impressas nas sucessões registram eventos geotectônicos Pan-Africanos, relacionados à aglutinação do Gondwana, durante o fechamento da Bacia Outjo e outras bacias que margeavam os crátons do Congo/Angola, Kalahari e Rio de La Plata (Fig. 14).

Normalmente, descreve-se e interpreta-se o registro estrutural dos processos orogênicos em termos de fases de deformação, em uma ordem cronológica. Na área estudada é possível reconhecer um sistema de empurrões e dobras associadas formando um estilo estrutural do tipo dobra-falha com vergência para norte (Fig. 15). Este sistema pode ser interpretado como produto de um único evento tectônico que gerou e, progressivamente, dobrou os empurrões. Assim, neste trabalho optou-se por usar a seguinte nomenclatura para o registro estrutural: D1- primeira fase de deformação, que gerou empurrões e D2- segunda fase de deformação, contínua com a primeira, originando dobras que dobram os empurrões. O resultado final que se observa no campo é uma progressão de D1 para D2.

Uma terceira fase de deformação, D3, gerou dobras de traço axial variando de norte-sul a nordeste-sudoeste que registram uma compressão aproximadamente perpendicular ao primeiro evento tectônico que gerou D1+D2. Esta terceira fase é bem expressiva nos Domos Vrede (Fig. 16).

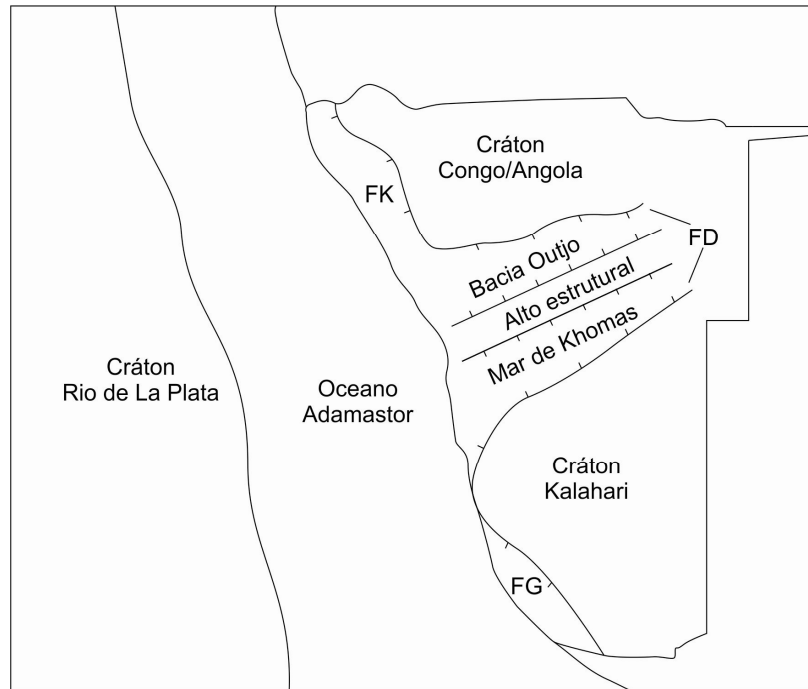


Figura 14. Bacias que deram origem as faixas Damara (FD), Kaoko (FK) e Gariep (FG). Simplificado de Miller, 1983; Miller, 2008 e Gray *et al.*, 2006.



Figura 15. Empurrões e dobras associadas, análogo em afloramento do estilo estrutural típico da área. Dolomito da unidade 3 na área de Bethanis.

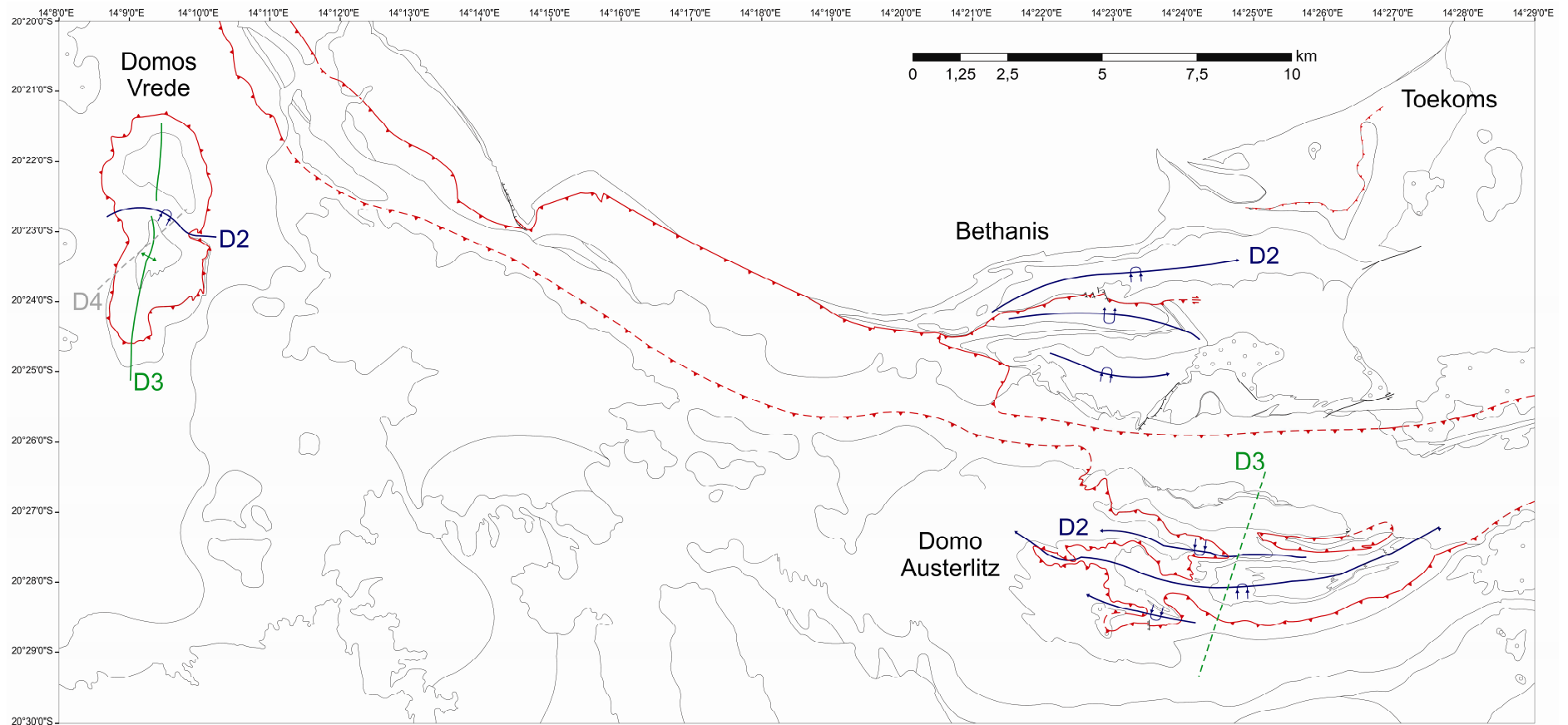


Figura 16. Mapa simplificado mostrando os traços das principais estruturas: vermelho – empurrões D1. Traço de plano axial de dobras: roxo – D2, verde – D3, cinza – D4, de ocorrência local no domo sul dos Domo Vrede.

3.1.1. Primeira fase de deformação (D1)

Como mostram o mapa e as seções geológicas (Anexo 1), existem diversos truncamentos litológicos que geraram pontos tríplices. Os truncamentos produzidos pelas unidades fanerozóicas 18 e 20 e neoproterozóicas 16 e 17 (Anexo 1) são discordâncias bem caracterizadas no campo. Já o truncamento e pontos tríplices gerados pelas unidades 1, 11 e 12 são interpretados como falhas de empurrão D1, pois ao longo destes contatos ocorrem brechas tectônicas (Fig. 17) e, localmente, lineação de estiramento norte-sul possivelmente relacionada aos empurrões. Além disso, as unidades 11 e 12, que são interpretadas como de leque submarino médio a distal cobrem em contato tectônico diversas unidades de talude e leque proximal (vide 3.2). As brechas tectônicas sugerem empurrões durante fase reológica rúptil-dúctil, que evoluiu para uma deformação predominantemente dúctil que deu origem as dobras da segunda fase de deformação D2.



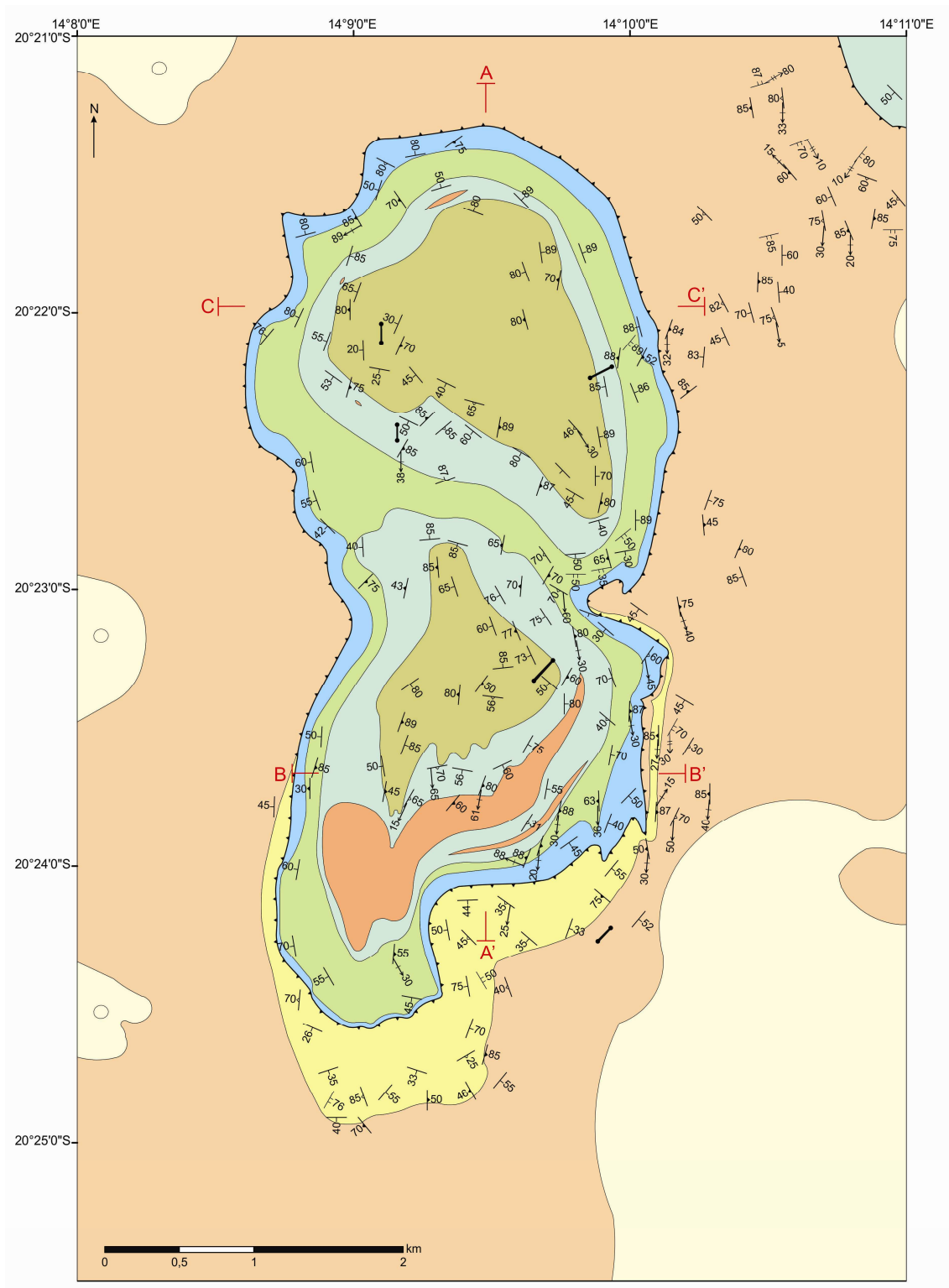
Figura 17. Brecha tectônica em quartzito da unidade 11, na base de uma falha de empurrão no Domo Austerlitz.

3.1.2. Segunda fase de deformação (D2)

Esta fase de deformação, D2, é interpretada como resultado de deformação progressiva durante o mesmo evento tectônico que gerou as falhas de empurrão. Esta fase D2 produziu dobras reviradas assimétricas, muitas delas com flanco curto íngreme e flanco longo mais suave, com amplitudes até quilométricas como mostram as figuras 18, 19, 20 e 21. A vergência geral para norte e a geometria das estruturas sugerem encurtamento norte-sul.

A foliação principal em toda área é resultada de D1+D2 e neste trabalho é denominada S1+2. Em geral, é uma clivagem de crenulação nas rochas de origem pelítica e arenitos finos, mas, localmente, pode ser uma clivagem ardosiana (Fig. 22) Nos debritos e arenitos grossos geralmente a foliação S1+2 não se desenvolveu ou é uma clivagem espaçada (Fig. 22). Os planos axiais das dobras D2 e a foliação S1+2 mostram normalmente mergulhos íngremes para os quadrantes sul, sudeste e sudoeste (Fig. 23). No Domo Austerlitz e na área de Toekoms ocorrem também mergulhos para nordeste (Fig. 23). Essa variação na atitude de S2 pode ser interpretada como fruto da heterogeneidade da deformação devido à presença de fatias de embasamento colocadas entre os metassedimentos durante a fase precoce de empurrões, D1. Os eixos das dobras D2, a lineação de interseção S0xS1+2 e lineações de estiramento L2 mostram caimentos suaves até íngremes também para quadrantes do sul devido ao redobramento pela terceira fase de deformação, D3 (Fig. 24). Provavelmente antes de D3, os eixos de D2 devem ter sido aproximadamente leste-oeste com baixo caimento para leste ou oeste e os planos axiais provavelmente tinham baixo mergulho para sul. Na área de Bethanis ocorre ainda um empurrão oblíquo tardio, associado à dobra D2, que evoluiu para uma zona de cisalhamento subvertical. Seixos estirados em debritos carbonáticos registram movimento destrógiro nesta zona de cisalhamento de Bethanis (Fig. 25 e seções D, E, F, G na figura 21). Esta estrutura também pode ser interpretada como produto de deformação contínua, neste caso gerando primeiro a dobra D2 e culminando com a zona de cisalhamento paralela ao plano axial S1+2. Estereogramas (Figs. 26, 27 e

28) mostram as variações de atitudes de planos axiais, foliações e lineações das fases D1+D2, e também das fases D3 e D4.



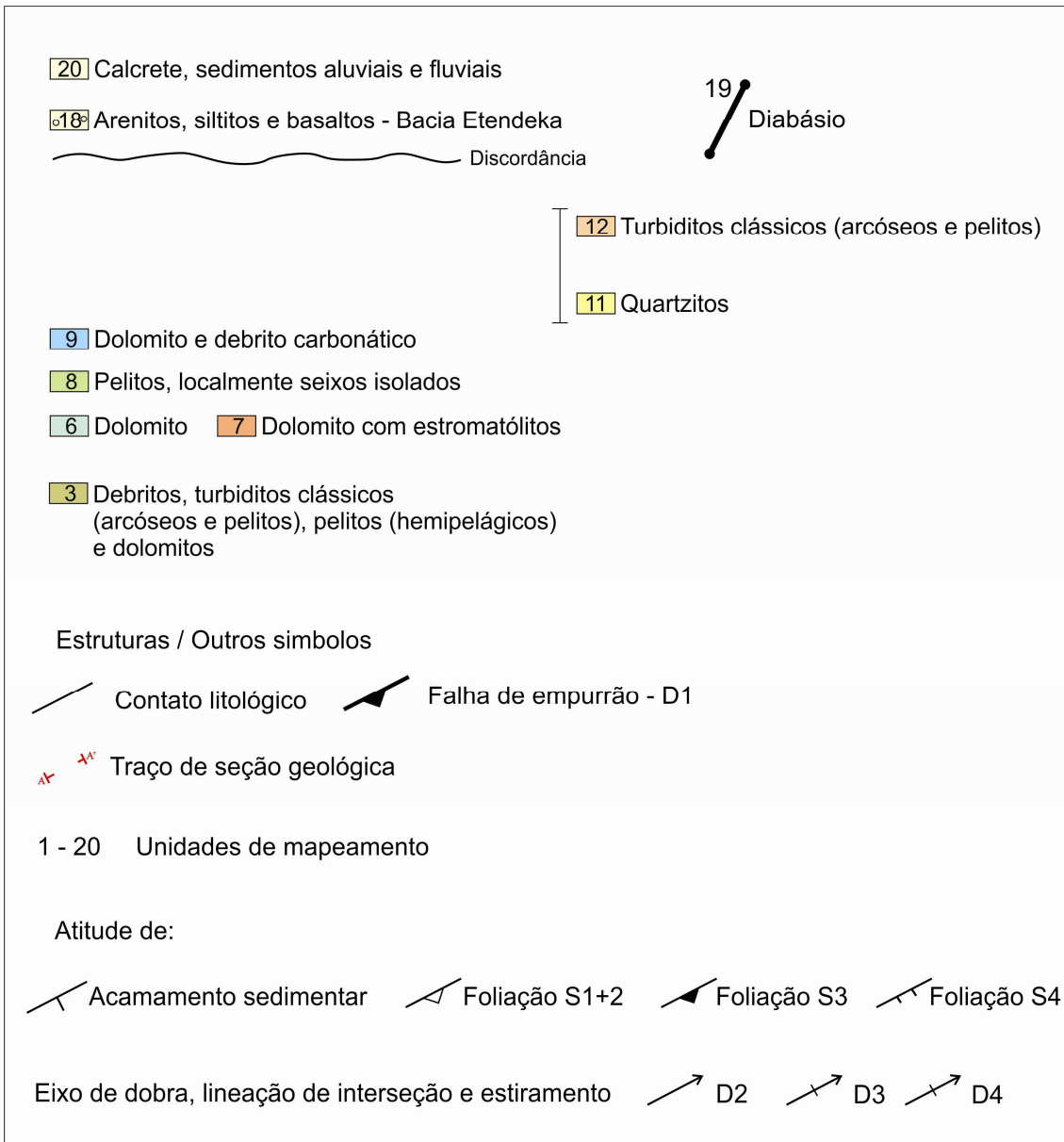


Figura 18. Mapa geológico dos Domos Vrede. A idade de 756 ± 4 Ma (Renata Schmitt, informação verbal) foi obtida em um felsito encaixado em unidade correlata no Domo Austerlitz (Anexo 1).

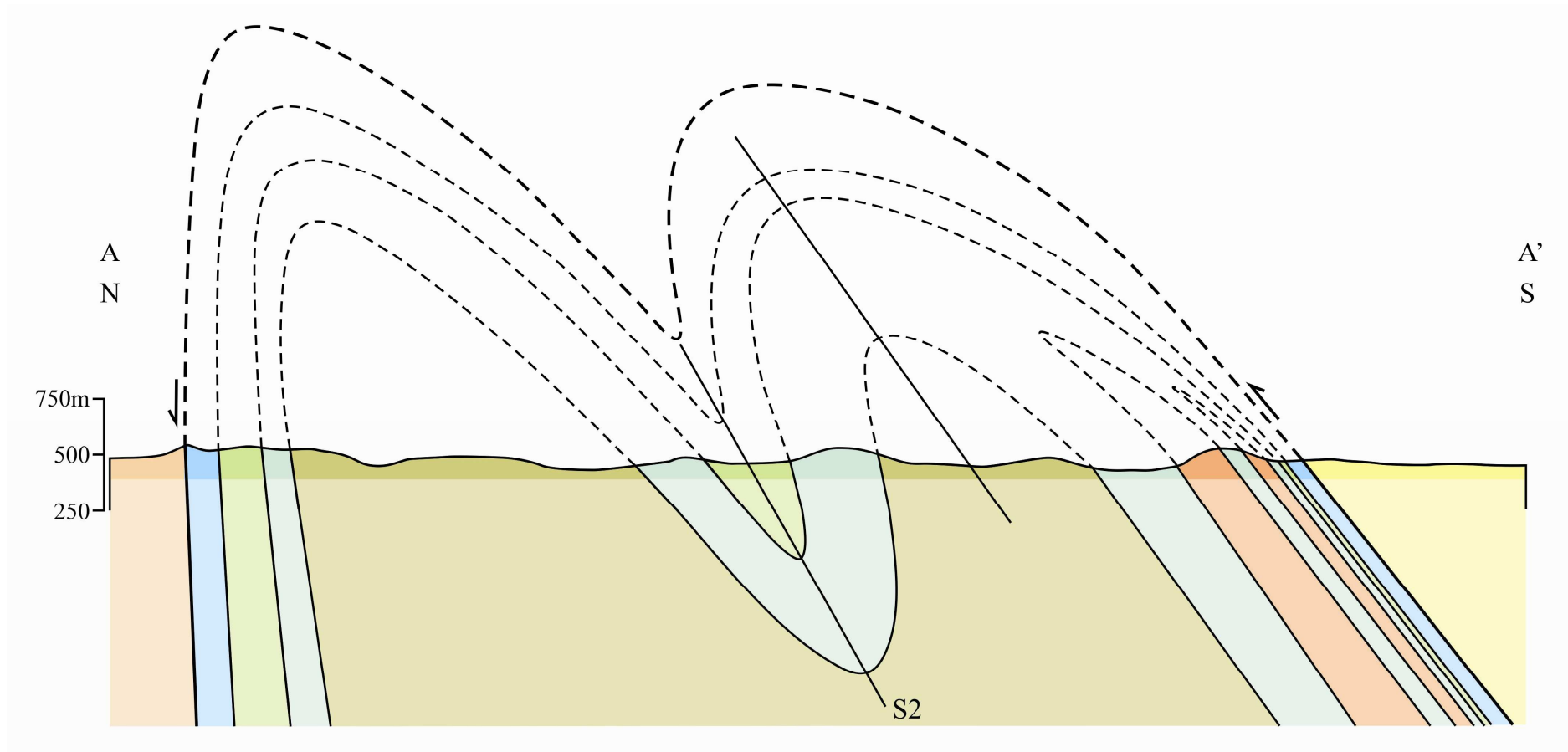
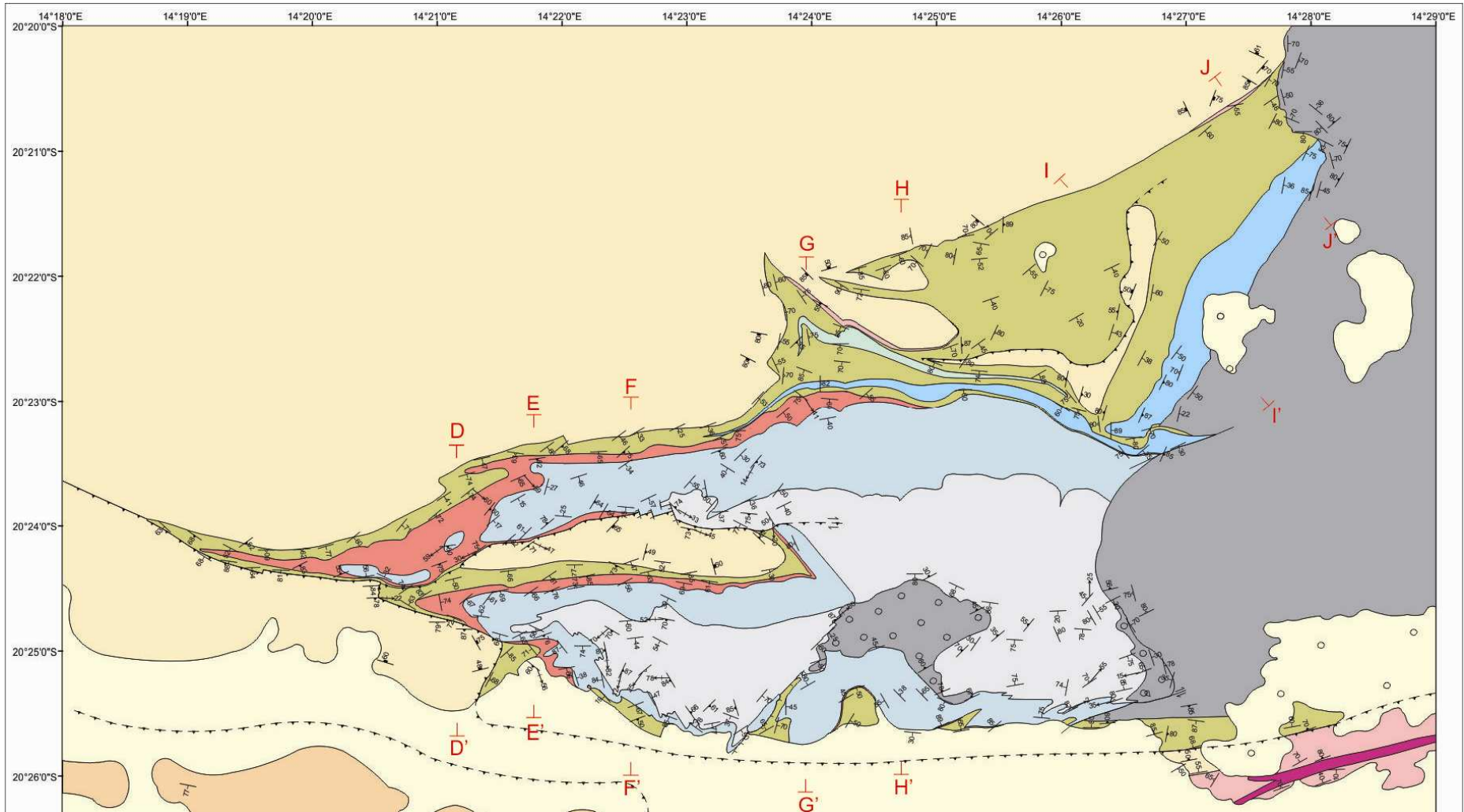


Figura 19. Seção geológica norte-sul através dos Domos Vrede mostrando empurrão associado a dobras D1 assimétricas com vergência para norte. Localização da seção e legenda das unidades vide figura 18.



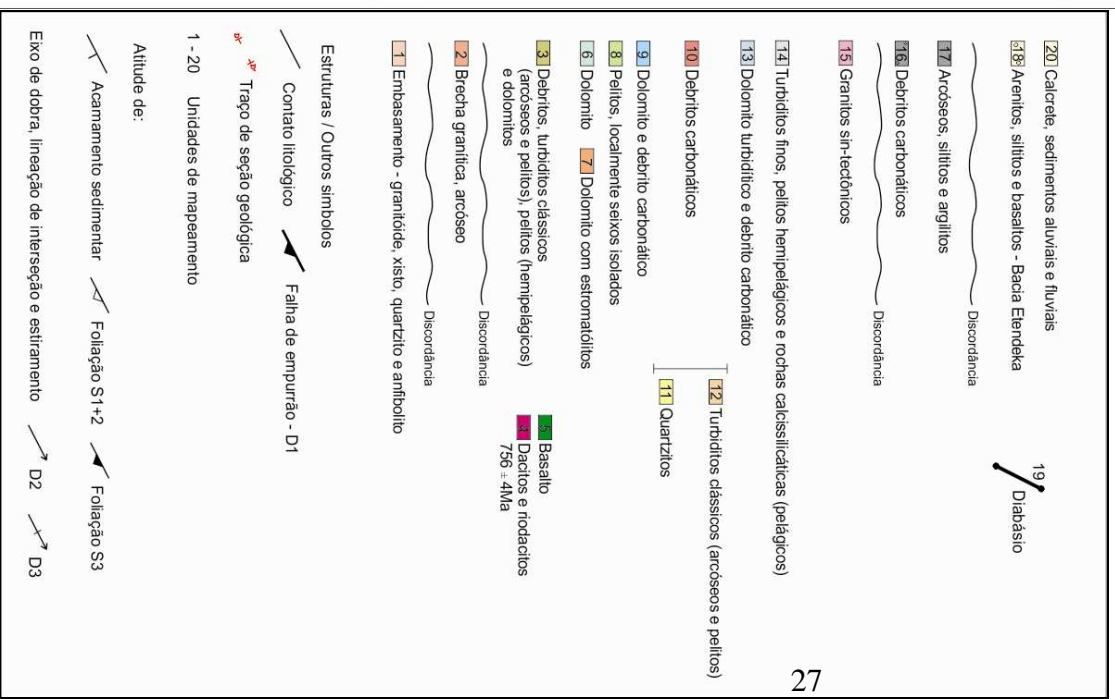
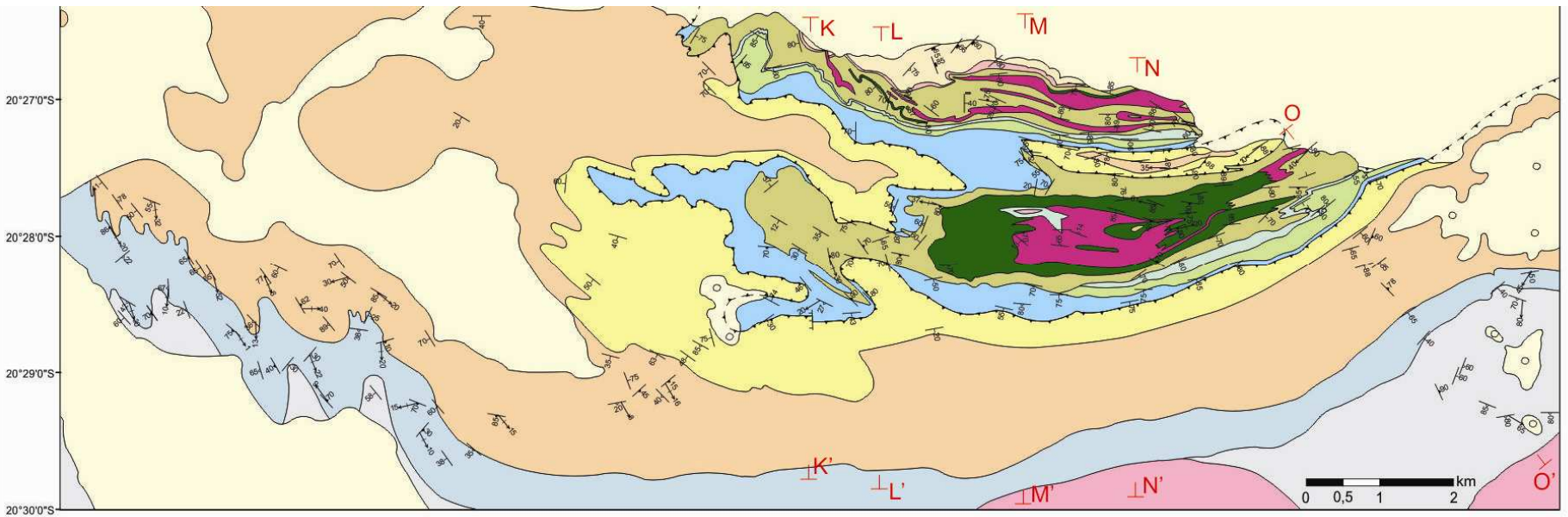
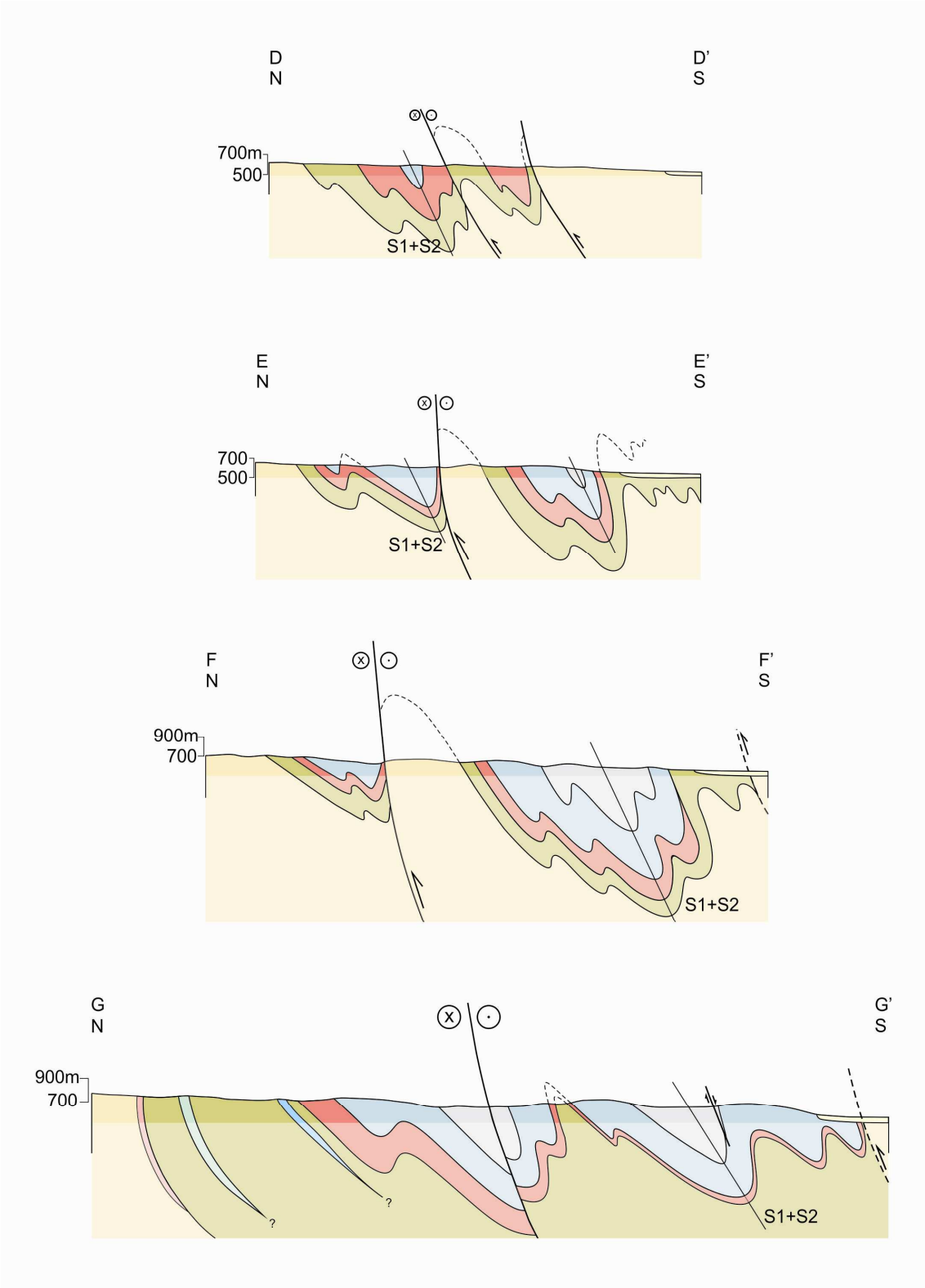
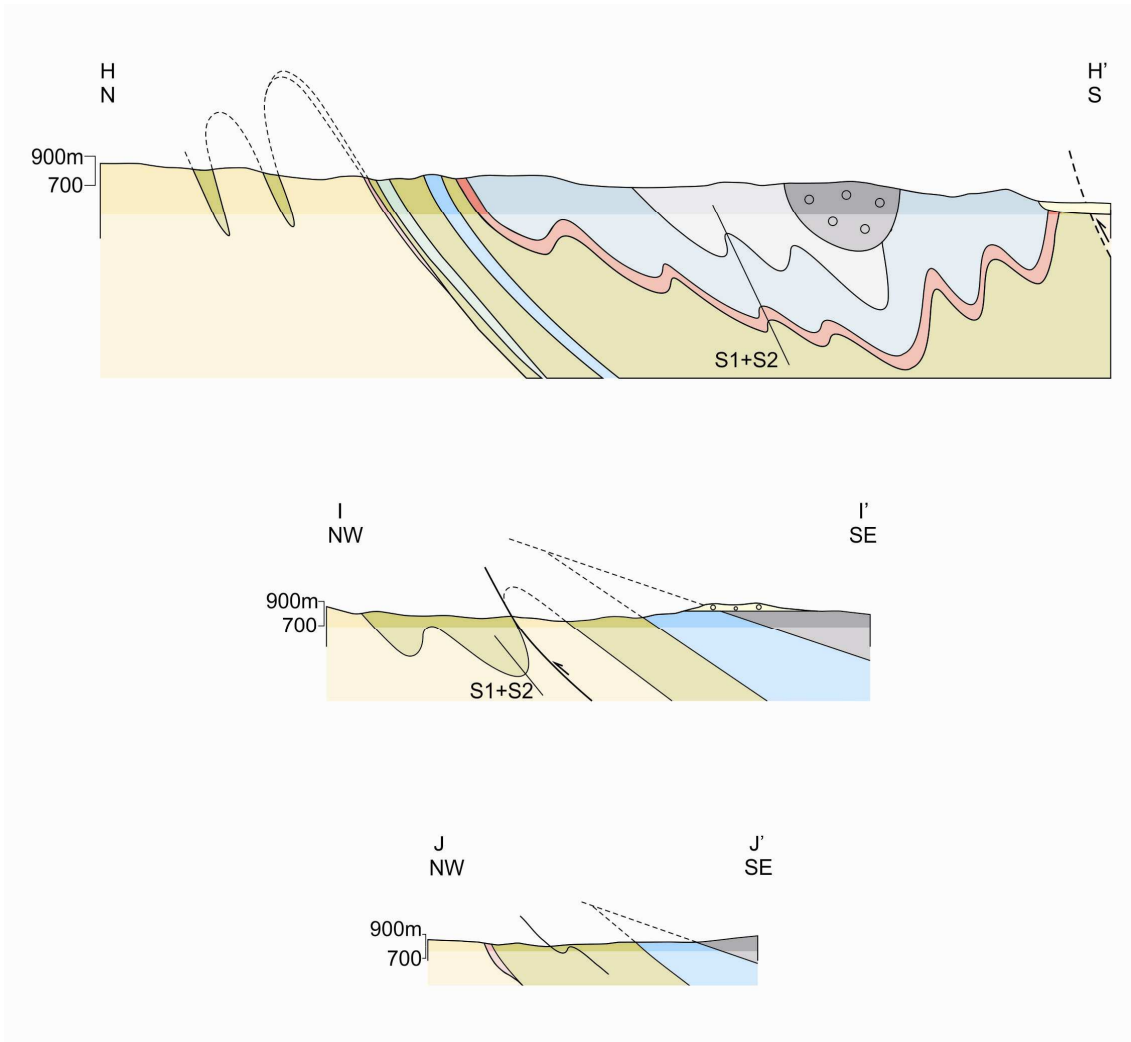
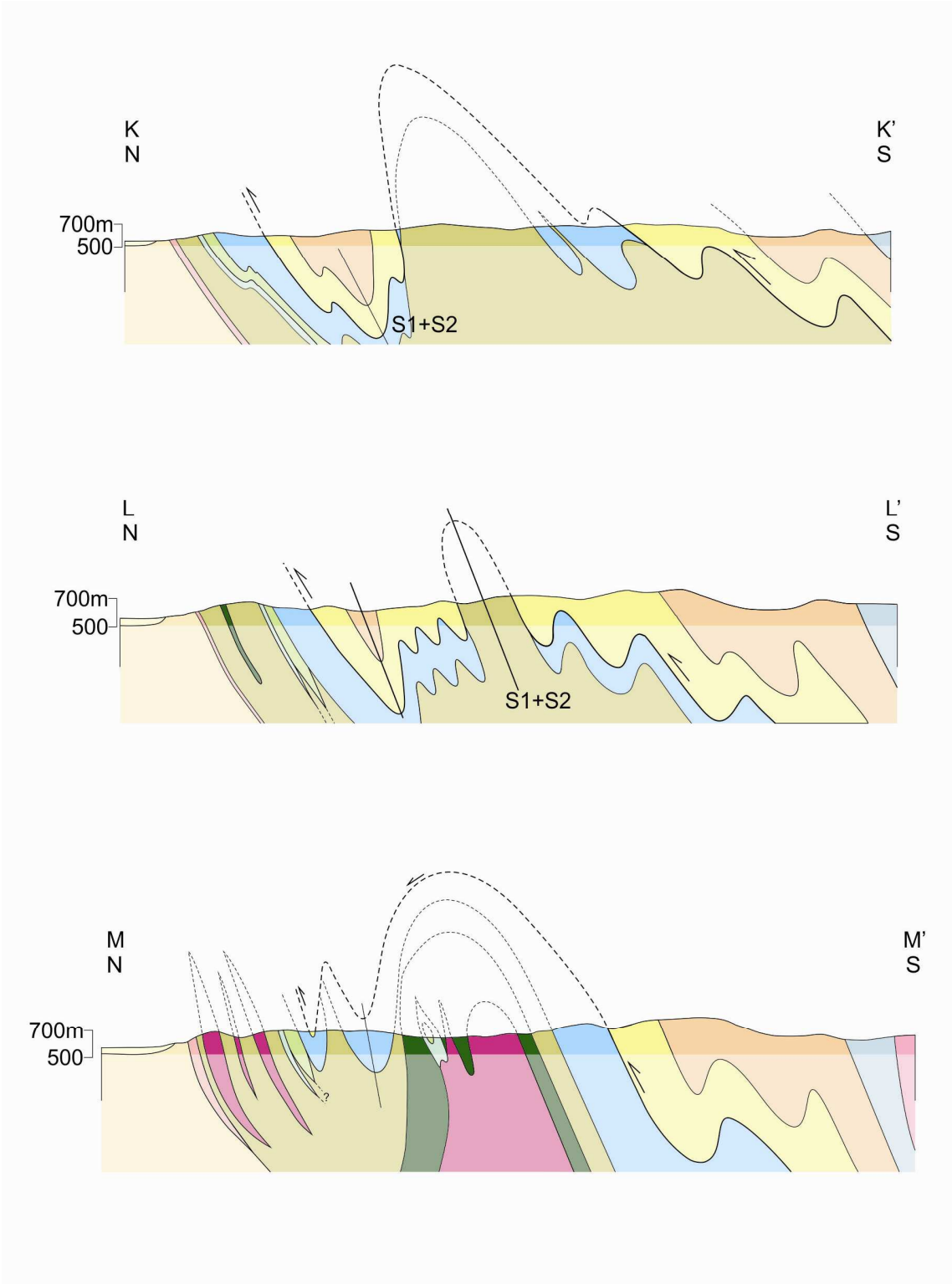


Figura 20. Mapa geológico da área Bethanis-Toekoms e Domo Austerlitz.







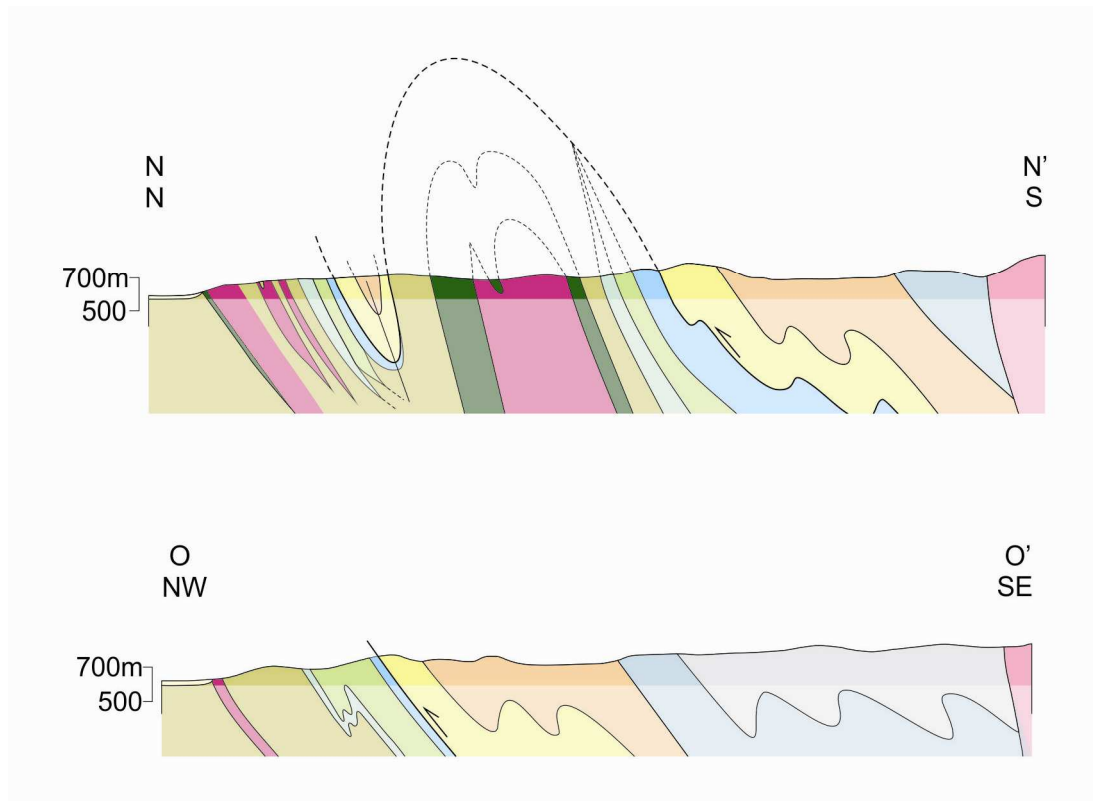


Figura 21. Seções geológicas através das áreas de Bethanis-Toekoms (D a J) e Domo Austerlitz (K a O). Legenda das unidades e localização das seções na figura 20. A escala vertical e horizontal em cada uma das seções é igual, mas varia de seção para seção. Todas as seções aparecem com a mesma escala no Anexo 1.

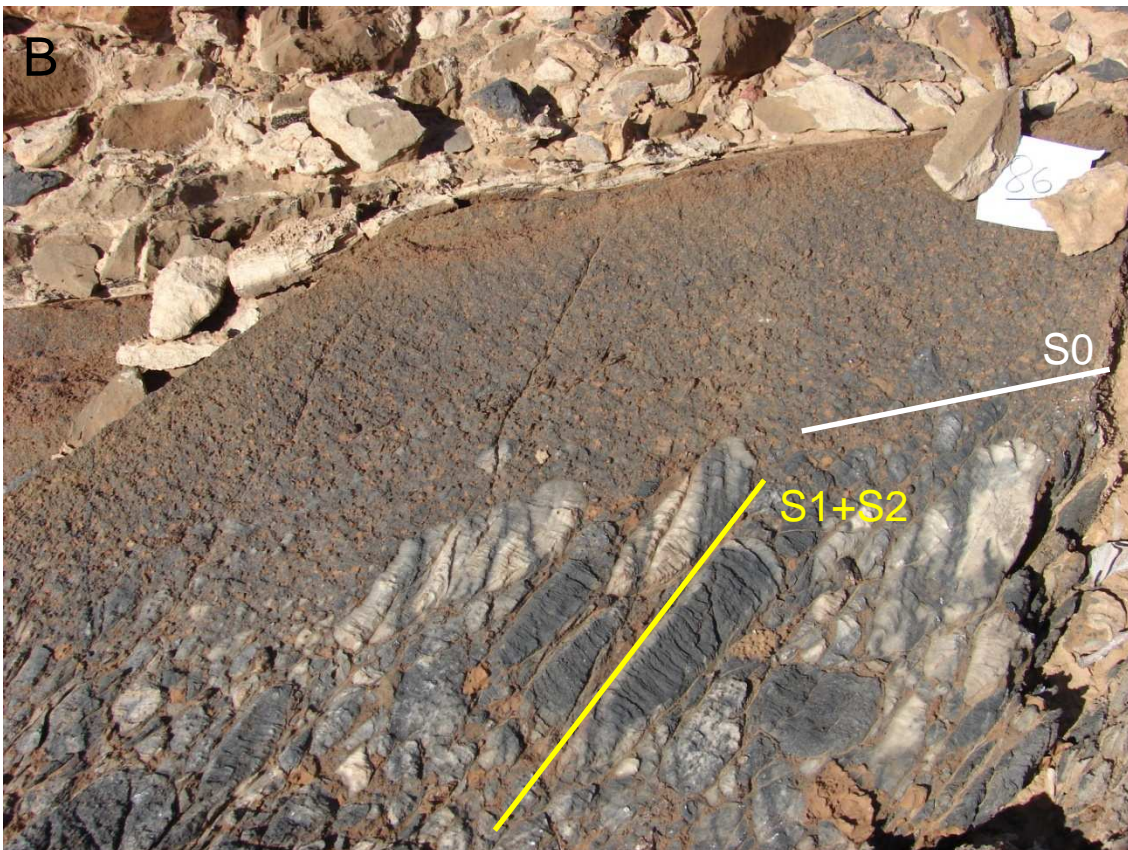
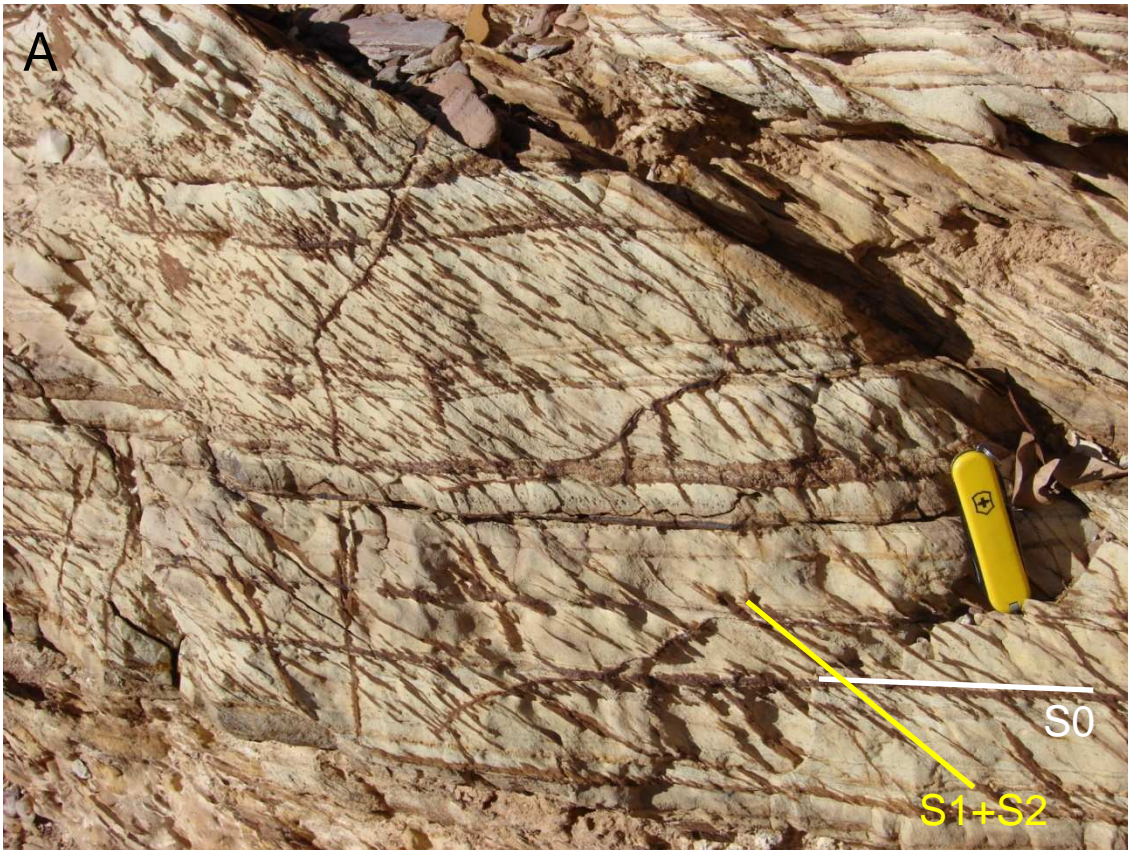


Figura 22. Foliação S1+2 ardosiária em siltito ressaltada por percolação de óxido de ferro (A) e clivagem espaçada em debrito carbonático.



Figura 23. Dobras apertadas D2, com plano axial mergulhando para sudeste no Domo Austerlitz (A) e nordeste na área de Toekoms (B).

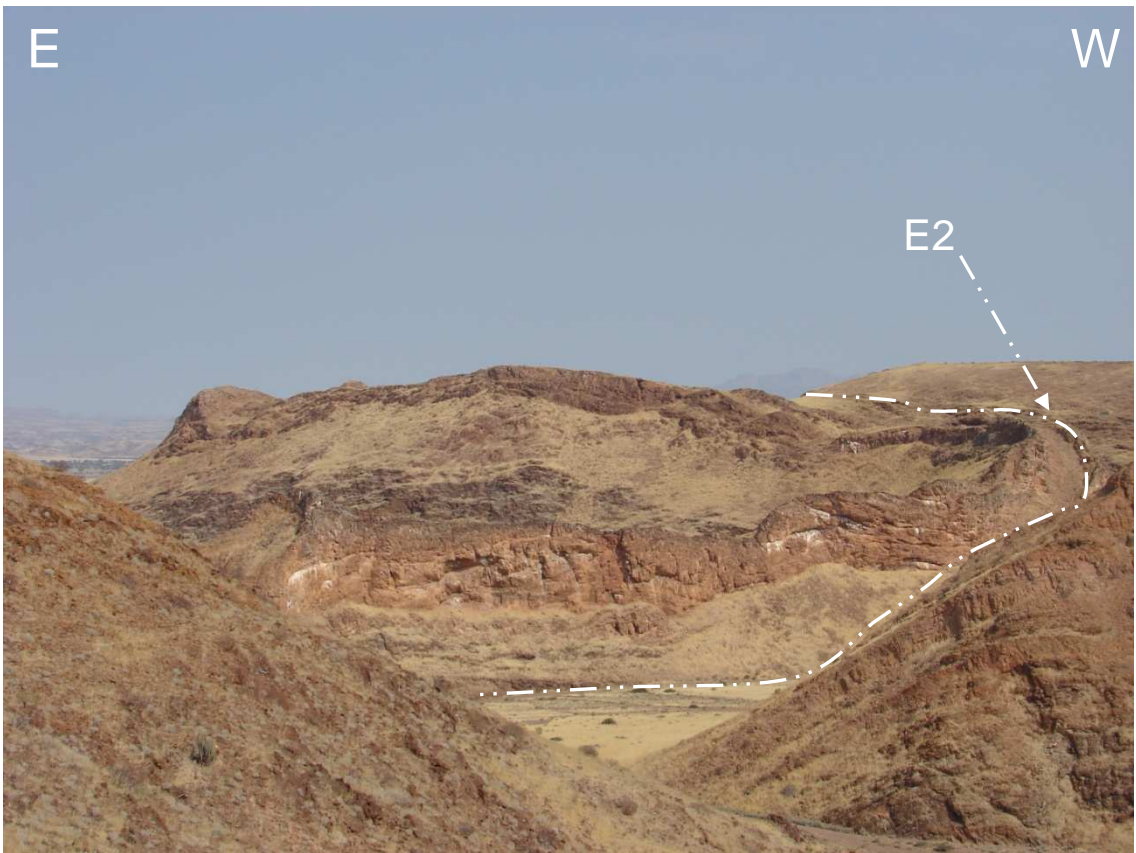
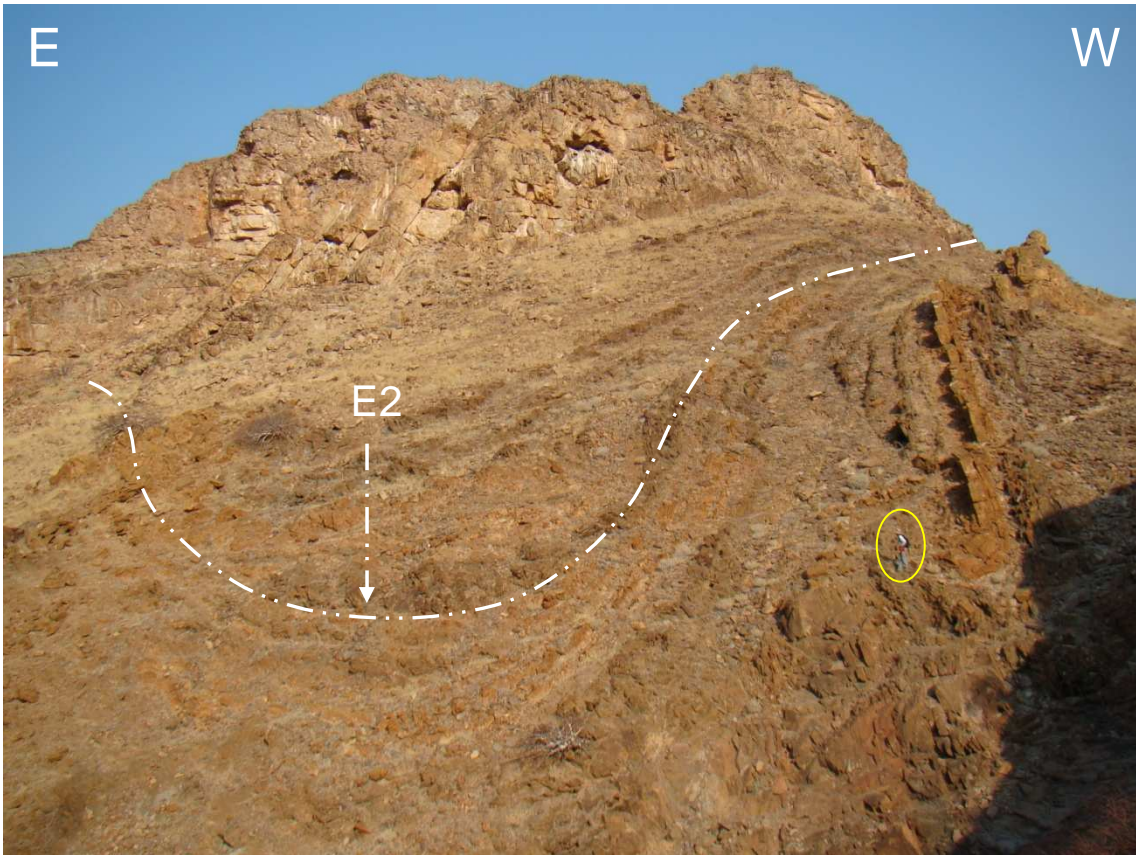


Figura 24. Dobras D2 com plano axial e eixo subverticais devido ao redobramento D3. Unidade 9 na parte leste dos Domos Vrede.

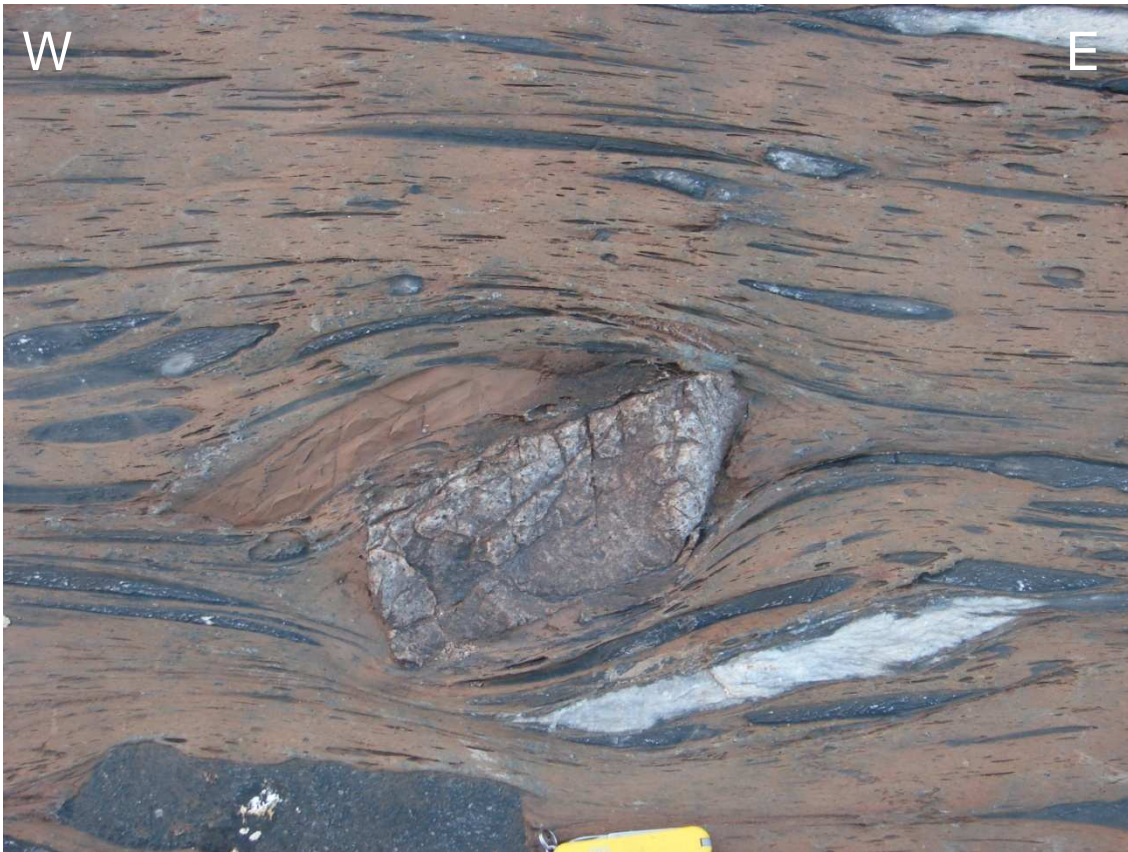


Figura 25. Estruturas assimétricas em debrito carbonático indicando movimento destrógiro na zona de cisalhamento subvertical de Bethanis.

Domos Vrede

B

D

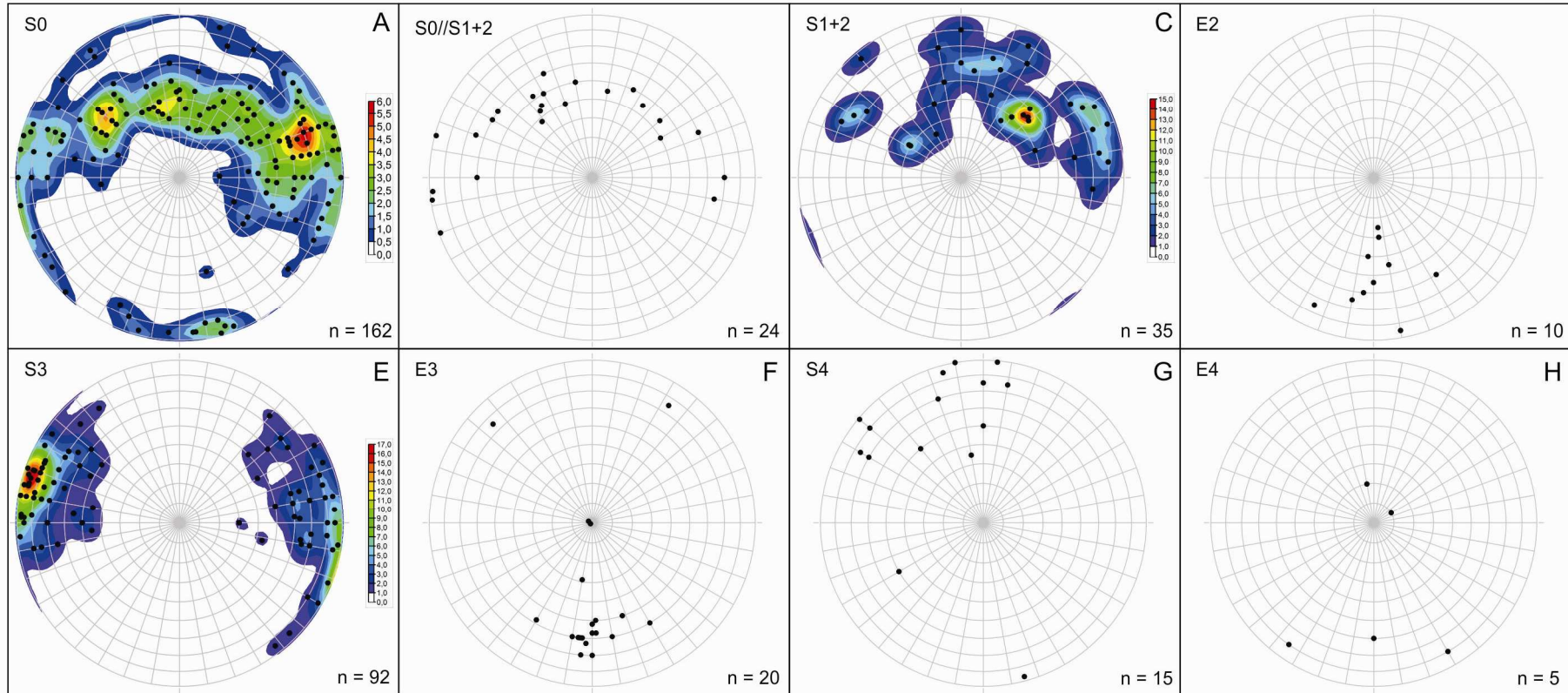


Figura 26. Estereogramas de igual área, com projeção no hemisfério inferior, mostrando polos de: A- acamamento sedimentar (S0); B- S0 paralelo à clivagem S1+2; C- S1+2. D- eixos D2; E- polos de S3; F- eixos D3; G- polos de S4; H- eixos D4.

Bethanis-Toekoms

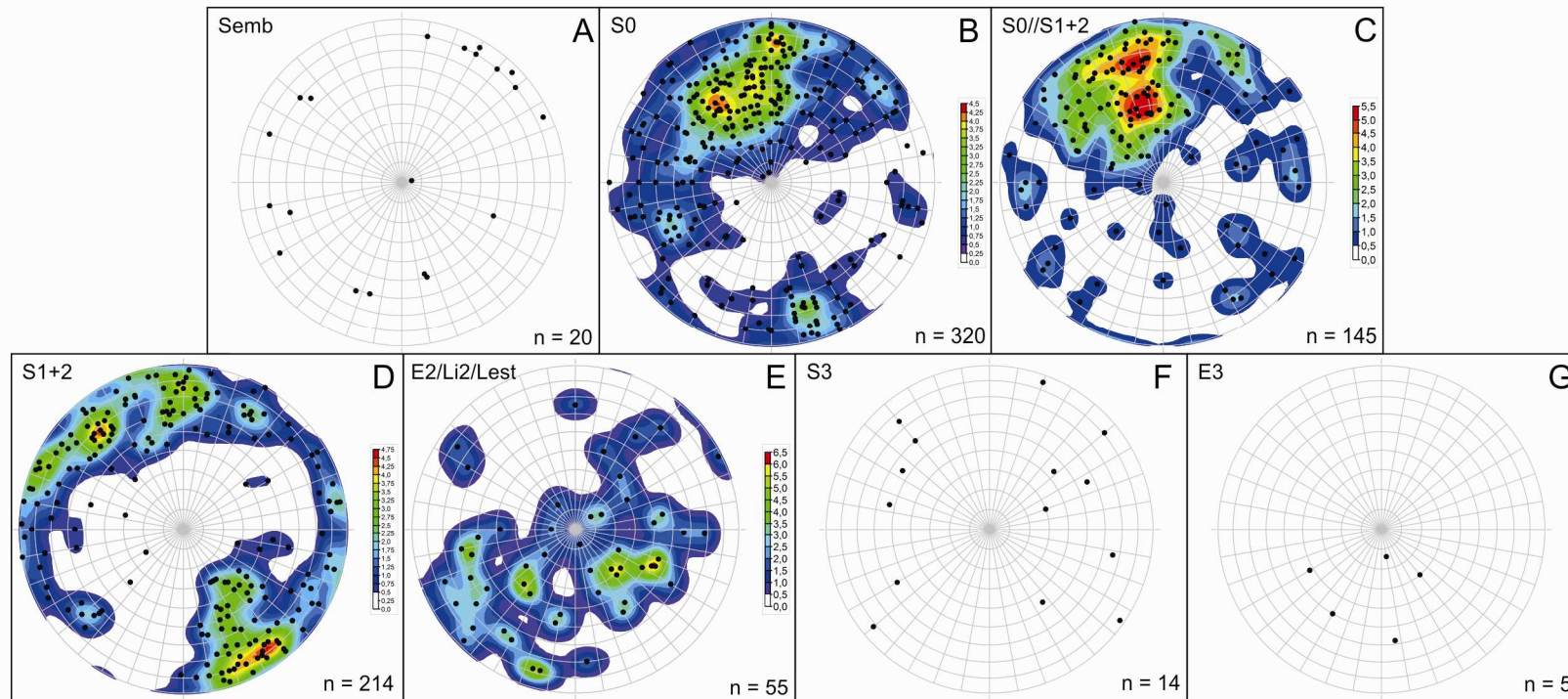


Figura 27. Estereogramas de igual área, com projeção no hemisfério inferior, mostrando na área Bethanis-Toekoms, polos de: A- foliação no embasamento; B- acamamento sedimentar (S0); C- S0 paralelo à clivagem S1+2; D- S1+2. E- eixos D2, lineação de interseção Li2 e lineação de estiramento. F- polos de S3; G- eixos D3.

Domo Austerlitz

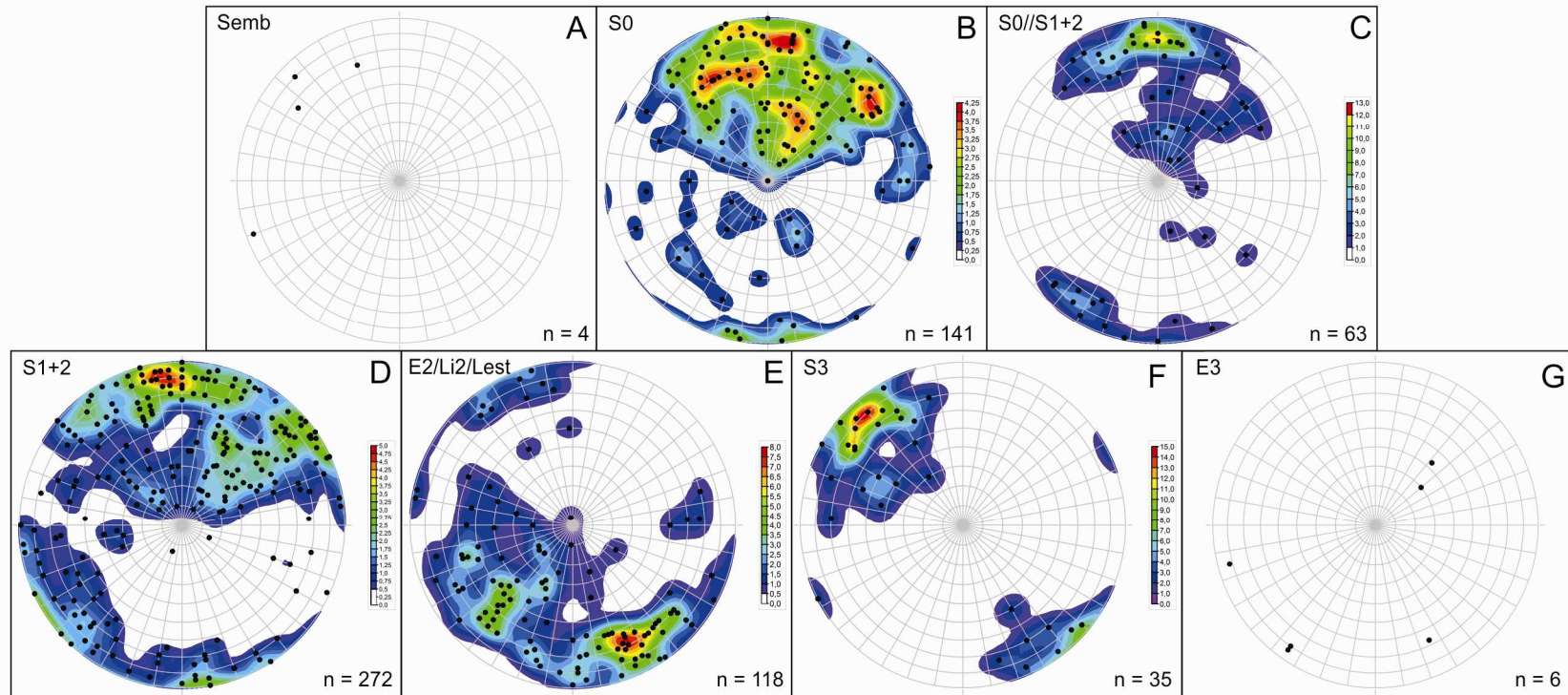


Figura 28. Estereogramas de igual área, com projeção no hemisfério inferior, mostrando no Domo Austerlitz, polos de: A- foliação no embasamento; B- acamamento sedimentar (S0); C- S0 paralelo à clivagem S1+2; D- S1+2. E- eixos D2, lineação de interseção Li2 e lineação de estiramento. F- polos de S3; G- eixos D3.

3.1.3. Terceira fase de deformação (D3)

Uma terceira fase de deformação, D3, gerou dobras simétricas ou com discreta assimetria e vergência para leste (Fig. 29).

Nos Domos Vrede as dobras D3 aparecem até na escala megascópica. Os planos axiais e clivagem S3 mergulham íngreme para oeste ou leste e fazem um ângulo grande com acamamento nas charneiras D3 (Fig. 30), mas são subparalelos ao acamamento nos flancos das dobras D3. Os eixos D3 mostram baixo caimento para sul nos flancos deitados da dobra D2 e podem ser até verticais nos flancos íngremes D2 (Fig. 31). No Domo Austerlitz e área Bethanis-Toekoms, esta fase D3 é mais discreta. Os planos axiais mostram mergulhos variados com predomínio para sudeste no Domo Austerlitz. Os eixos D3 também são variados. Nestas duas áreas a heterogeneidade das estruturas D3 possivelmente é um reflexo de sua posição nas estruturas mais antigas e/ou da presença de blocos rígidos de embasamento.

3.1.4. Interferência de D2 e D3: os domos Vrede e Austerlitz

Um par de domos estruturais, os domos sul e norte, gerados pela interferência das fases de deformação D2 e D3 constituem os Domos Vrede (Fig. 18 e Anexo 1). Esta estrutura é aproximadamente similar ao padrão de redobramento domos e bacias de Ramsay (1967), porém com uma forma mais elíptica, pois os eixos das dobras D3 possuem comprimentos maiores do que os eixos das dobras D2. O Domo Austerlitz é um tipo de braquianticlinal também gerado pela interferência entre dobras D2 e D3. Porém, o dobramento D3 é mais suave e menos expressivo que nos Domos Vrede. Baseado nos dados acima, pode-se especular que a área Bethanis-Toekoms seja a parte oeste de um braquisinclinal cuja parte leste estaria encoberta em discordância angular pelos depósitos das unidades 16 e 17.

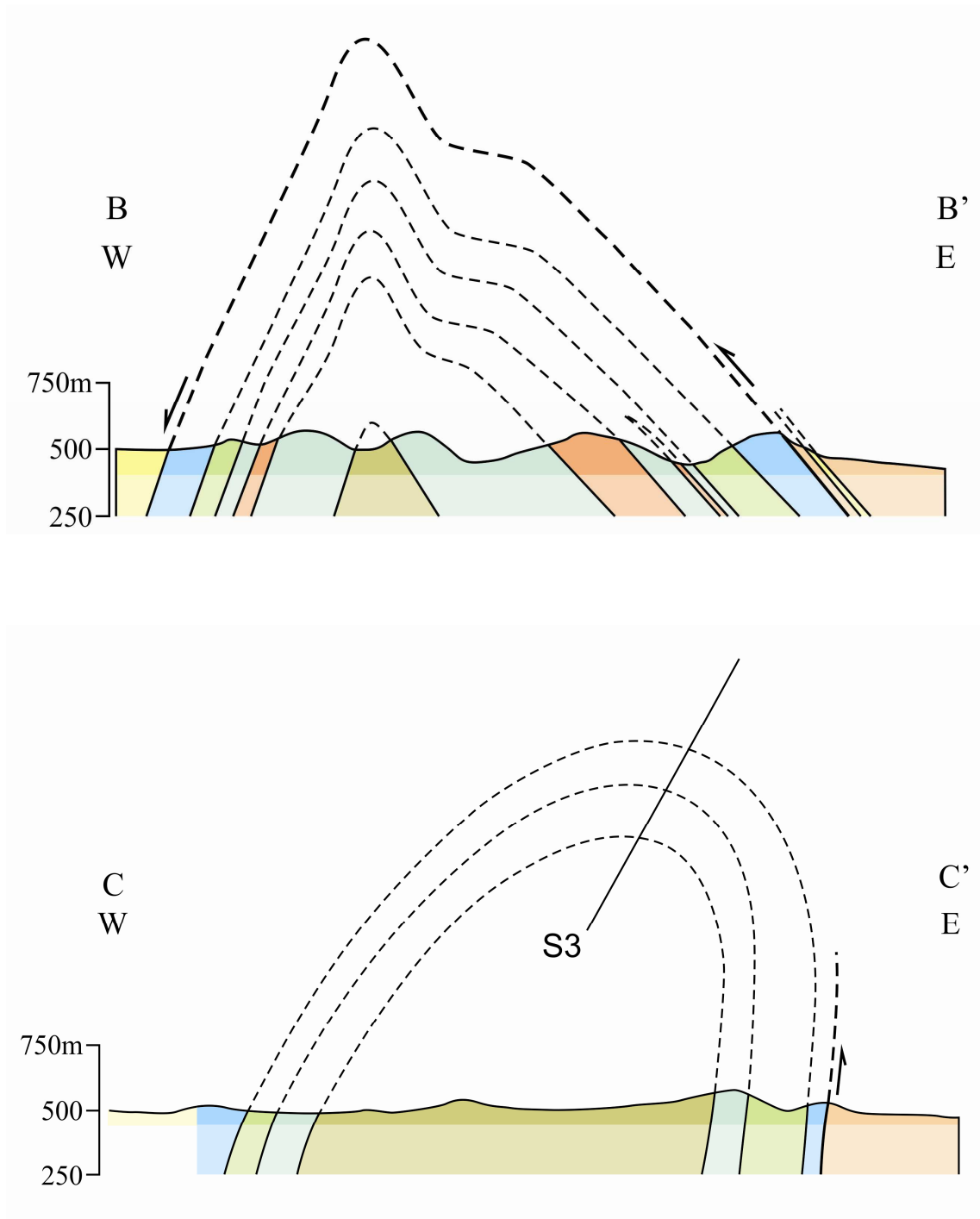


Figura 29. Seções geológicas leste-oeste nos Domos Vrede mostrando dobra D3 simétrica no domo sul (B-B') e levemente assimétrica com discreta vergência para leste no domo norte (C-C'). Localização das seções e legenda das unidades na figura 18.



Figura 30. Clivagem ardosiária S3 em alto ângulo com o acamamento definido por dolomitos e siltitos da unidade 3 no domo sul, Domos Vrede.



Figura 31. Dobras D3 com planos axiais e eixos subverticais em flanco íngreme de D2. Dolomito da unidade 6, nos Domos Vrede.

3.1.5. Quarta fase de deformação (D4)

Uma quarta fase de deformação foi reconhecida localmente no domo sul dos Domos Vrede. São dobras abertas na clivagem S3 com planos axiais íngremes para sudeste e eixos variados conforme sua posição na dobra D3.

3.1.6. Falhas subverticais

Localmente foram encontradas falhas subverticais aparentemente normais truncando as estruturas antigas. A maioria mostra rejeitos de pequena ordem, centimétricos. Localmente, ao longo dessas falhas, encontram-se superfícies com ressaltos e estrias (Fig. 32).



Figura 32. Superfície com ressaltos e estrias em plano de falha na área de Bethanis.

3.2. Geologia Sedimentar

Este item aborda os atributos sedimentares das rochas e unidades litológicas que as compõem a fim de entender processos deposicionais, relações entre unidades e posição estratigráfica destas e o sítio deposicional. A maioria das litofácies (rochas e suas estruturas primárias) e unidades litológicas podem ser interpretadas como sedimentos depositados por fluxos gravitacionais em ambiente de água profunda onde são frequentes estes tipos de fluxos.

3.2.1. Fluxos gravitacionais de sedimentos

Os fluxos gravitacionais de sedimentos são misturas de água e sedimento que se deslocam devido à ação da gravidade e tem densidade maior do que o meio envolvente. Eles podem se iniciar lentamente ou de forma súbita como, por exemplo, por abalos sísmicos associados a falhas durante a evolução de uma bacia sedimentar. A velocidade desses fluxos pode chegar a muitos quilômetros por hora. Os principais tipos de fluxos gravitacionais são os fluxos granulares, fluxos liquefeitos, fluxos de detritos e correntes de turbidez (Fig. 33). Podem relacionar-se também a deslizamentos e escorregamentos.

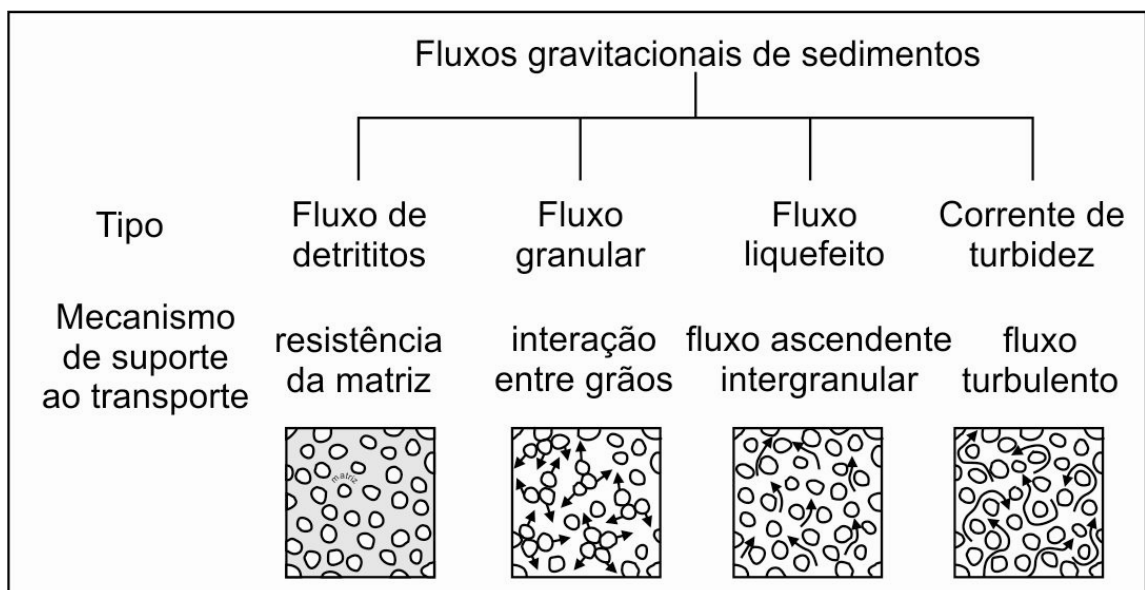


Figura 33. Tipos de interação água x grãos clásticos gerando a mobilidade necessária nos principais tipos de fluxos gravitacionais de sedimentos. Figura de Middleton e Hampton (1973), in Collinson e Thompson, 1982.

Fluxos granulares (*grain flows*) – são fluxos onde a dispersão dos sedimentos e sua manutenção em suspensão se deve a colisão entre as partículas. Gradação inversa é um produto comum destes fluxos.

Fluxos liquefeitos – nestes fluxos os grãos são mantidos em suspensão pelo movimento ascendente da água entre eles.

Fluxos de detritos – nos fluxos de detritos existe grande quantidade de material fino em suspensão, que sustenta os grãos maiores. Os depósitos desses fluxos são geralmente maciços e pobremente selecionados.

Correntes de turbidez – nestes fluxos os grãos se mantêm em suspensão devido à própria turbulência do fluxo e a colisão entre os grãos. O material fino também contribui para manter os grãos maiores em suspensão, como nos fluxos de detritos. Quando começa a perder competência e velocidade ocorre uma seleção dos sedimentos e o depósito resultante normalmente contem os materiais mais grossos e pesados na base e mais finos no topo. A clássica sequência de Bouma pode conter 4 intervalos: A- areia maciça na base que passa para B- areia laminada, C- areia fina ou silte com microlaminação cruzada, geralmente do tipo marca de onda cavalgante indicando início de processos tracionais e, D- lama da calda do fluxo túrbido.

É comum, em ambientes de mar profundo, a intercalação de depósitos de fluxos gravitacionais e sedimentos pelágicos. A acumulação destes últimos normalmente se dá em um tempo muito maior do que os eventos catastróficos gerados pelos fluxos gravitacionais.

3.2.2. LITOFÁCIES

O termo litofácies será usado neste trabalho para englobar os atributos da textura e estruturas primárias das rochas e dos corpos que constituem. Além disso, alguns tipos de rocha como, por exemplo, arenitos feldspáticos e arcóseos foram separados também por sua petrofácies.

Na área mapeada ocorrem litofácies rudíticas, areníticas e pelíticas, siliciclásticas e carbonáticas, deformadas em fácies xisto verde, zona da biotita. Trata-se de rochas metamórficas, porém, para facilitar a leitura do texto o prefixo

meta, que deveria preceder o nome das rochas, não será utilizado. Assim, por exemplo, o termo metaconglomerado será abreviado para conglomerado. Exceção são os metaquartzos arenitos que serão chamados conforme a nomenclatura metamórfica de quartzito. Nas rochas finas (arenitos finos, siltitos e argilitos) normalmente ocorre foliação que as transforma em filito dificultando o reconhecimento de estruturas primárias. A recristalização nas rochas carbonáticas também mascarou parcialmente feições sedimentares originais. Nas rochas grossas os atributos primários estão relativamente bem preservados. As abreviações das litofácies no texto seguinte correspondem às abreviações que aparecem nos perfis estratigráficos (Anexo 2).

3.2.2.1. Litofácies siliciclásticas

Conglomerados (Cgm) e brechas (Bcm) polimíticos

São ruditos clastosuportados constituídos por seixos e às vezes por blocos e, no caso das brechas, até matacões. Normalmente apresentam de até 10% de matriz de vaque arcoseana ou, em alguns casos, somente matriz lamítica. A proporção de fragmentos angulosos e arredondados permite denominar estes ruditos ora como conglomerados, que é uma rocha com arcabouço de seixos arredondados, ora como brecha, que contém arcabouço anguloso. No entanto, em muitos afloramentos, ocorrem transições de conglomerados para brechas. Por suas características individuais e em coerência com interpretação paleoambiental das unidades, estes ruditos, inclusive os diamictitos descritos a seguir, podem ser coletivamente denominados de debritos. Debritos são litofácies rudíticas geradas por fluxos de detritos. Estes debritos são frequentes nas unidades 2, 3 e 16 (Anexo 1).

Os conglomerados e brechas formam corpos tabulares ou lenticulares, de espessuras centimétricas a decamétricas, separados por litofácies mais finas, siliciclásticas ou carbonáticas (Fig. 34). Em corpos muito espessos é difícil saber se constituem estratos únicos ou formados por diversas camadas amalgamadas. Os contatos basais geralmente são superfícies planas ou irregulares e foram vistas

poucas evidências de erosão, exceto intraclastos. A estrutura maciça é dominante, mas ocorre também estrutura gradada (Fig. 35) definida pela passagem de debritos grossos a finos e de debritos a arenitos.

Quanto à petrofácies, ocorrem dois tipos principais, debritos petromíticos e polimíticos. Os primeiros, característicos da unidade 2 (vide descrição das unidades no próximo item), são constituídos essencialmente por fragmentos de rochas graníticas provenientes do embasamento (Fig. 36). Ocorrem também debritos petromíticos transicionais a polimíticos, pois contém alta proporção de fragmentos graníticos, mas também fragmentos de arenitos e dolomitos. Essas rochas aparecem na base da unidade 3 nos Domos Vrede (Fig. 37).

Os debritos polimíticos tem seu caráter lítico fornecido por fragmentos de rochas carbonáticas, arenitos, granitos, pelitos, vulcanitos, quartzo de veio e K-feldspato plutônico (Fig. 38). A maioria dos clastos carbonáticos é de dolomito marrom maciço ou com laminação plano-paralela. Ocorrem também fragmentos de rocha carbonática cinza azulada, maciça. Os fragmentos de arenitos são maciços, finos até grossos, feldspáticos ou arcoseanos com variável proporção de mica clástica grossa. Os granitos aparecem em seixos e blocos angulosos até arredondados, esses últimos provavelmente uma herança de esfoliação esferoidal na área fonte. São granitos rosados, maciços ou com fraca foliação, finos até grossos, muitos com fenocristais de K-feldspato rosado. Os fenocristais aparecem também como cristaloclastos. No Domo Austerlitz ocorrem fragmentos de rochas vulcânicas porfíricas cinzentas até esverdeadas (Fig. 39). Fragmentos angulosos de quartzo de veio e menor proporção de rochas pelíticas maciças ou filíticas completam a petrofácies.



Figura 34. Conglomerados polimíticos (Cgm) separados por bancos de dolomitos laminados. Na foto superior os contatos irregulares registram compactação mecânica.



Figura 35. Gradação normal em debritos polimíticos nos Domos Vrede.



Figura 36. Brecha com caráter petromítico definido pela abundância de fragmentos de rochas graníticas. Unidade 2 na área de Toekoms.



Figura 37. Debrito arcoseano gradando para arcóseo grosso. Domos Vrede.



Figura 38. Fragmentos de dolomito marrom (D), arenito (A), granito (G) e quartzo de veio (Qv) mostrando o caráter polimitico do debrito.



Figura 39. Fragmentos de granito e vulcanitos e matriz arcoseana em debrito polimítico no Domo Austerlitz.

Diamictito maciço (Dm)

Esta litofácies é pouco frequente, aparece na unidade 3, nos perfis 1, 4, 5 e 9 (Anexo 2) formando camadas maciças com espessura que variam de centimétricas como no perfil 1 até métricas no perfil 5 (Fig. 40). São rochas com abundantes seixos angulosos até arredondados suspensos em uma matriz esverdeada ou marrom que constitui mais de 30% da rocha (Fig. 41). A matriz geralmente é uma vaque feldspática ou, mais raramente, um lamito. A composição do arcabouço é polimítica semelhante a dos conglomerados e brechas polimíticos.



Figura 40. Camadas maciças de diamictito com seixos angulosos e arredondados separadas por bancos de arenitos. Unidade 3, Domo Austerlitz.



Figura 41. Diamictitos com matriz marrom rica em ferro e esverdeada com clorita. Note um grande fragmento de dolomito marrom e fragmentos rosados de granito. Domo Austerlitz, perfil 5 no Anexo 2.

Interpretação dos ruditos

Os debritos são interpretados como produtos de fluxos de detritos. Os conglomerados e brechas com baixa proporção de matriz lamosa devem representar fluxos de detritos de baixa viscosidade, ou seja, fluxos de detritos não coesivos. Os diamictitos com abundante matriz de vaque ou lamito registram fluxos de detritos coesivos. A intercalação de turbiditos clássicos, dolomitos laminados (pelagitos, biolaminitos?), a gradação normal e as transições debrito-arenito reforçam a interpretação que esses debritos são depósitos subaquosos de águas profundas.

Os fragmentos de granitos e k-feldspato são derivados da erosão de rochas do embasamento. Os fragmentos de dolomitos, arenitos, pelitos e vulcanitos são de origem intrabacial.

O debrito petromítico, de fonte granítica do embasamento, grada para arcóseos e aparece na base da sucessão logo acima do embasamento. É interpretado como brecha de leque aluvial, ou seja, fanglomerado.

Arenitos (Sm-Q, Sm-A, Smf, St, Sr)

Trata-se de quartzito, arcóseo e arenito feldspático.

Quartzitos ou metaquartzo arenito (Sm-Q) - constituem a unidade 11, ocorrem intercalados na base da unidade 12 e raramente no topo da 3. São rochas grossas a muito grossas, constituídas essencialmente por quartzo (Fig. 42), podendo conter intraclastos pelíticos e de rochas carbonáticas formando debritos (Fig. 43). Formam camadas de espessuras centimétricas até métricas, tabulares maciças ou com discreta gradação normal, com contatos planos ou irregulares devido à compactação mecânica. As camadas aparecem amalgamadas ou separadas por laminas (<1cm) e camadas delgadas (1-10cm) de pelitos (Fig. 44).

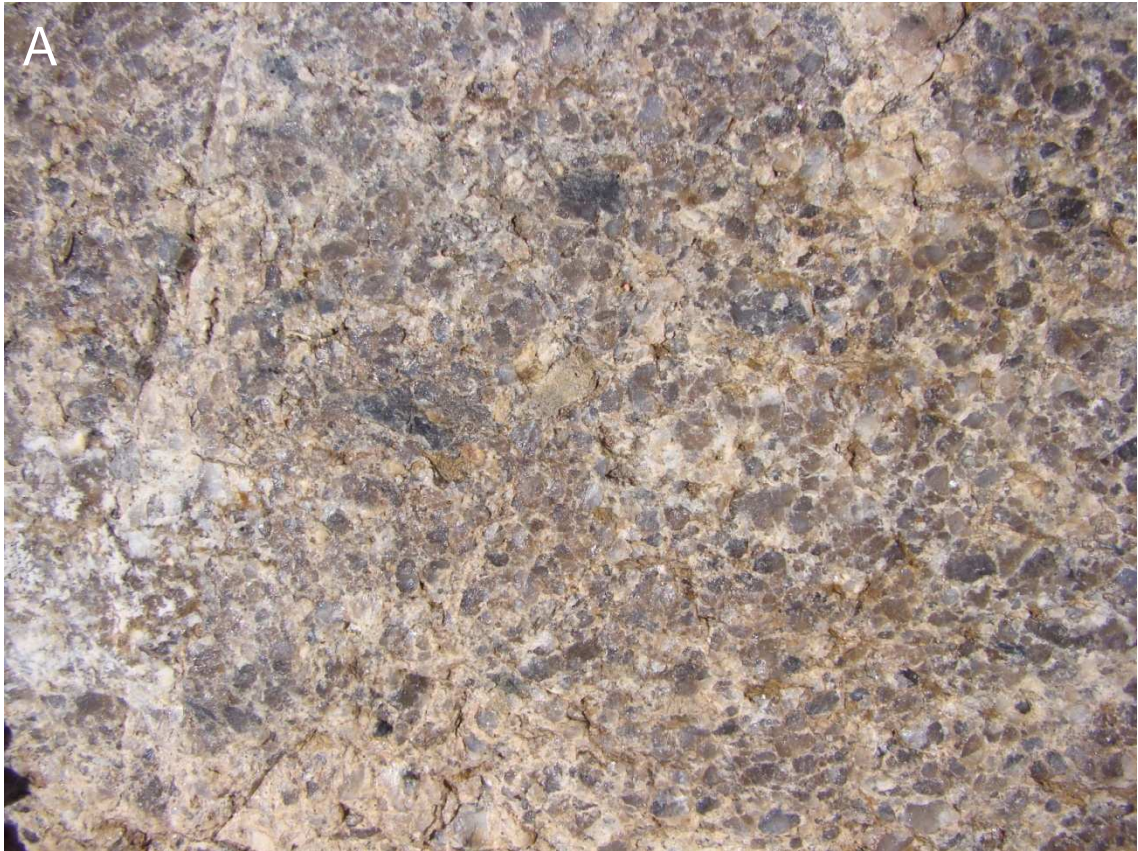


Figura 42. Contato entre camadas espessas de quartzito, o banco superior mostra gradação – seixos na base (B) que passam a quartzitos com grânulos e areia grossa no topo (A).



Figura 43. Quartzito da unidade 11 com intraclastos de dolomito, Domo Vrede (A) e com as cavidades deixadas pela erosão destes intraclastos, Domo Austerlitz (B).



Figura 44. Separações pelíticas deformadas (A) e empilhamento de camadas maciças no quartzito da unidade 11 no Domo Austerlitz.

Arcóseos (Sm-A) – formam camadas tabulares maciças ou gradadas (Fig. 45) de espessura variada, centimétrica a métrica, nas unidades 2, 3, 12 e 13. São rochas rosadas devido ao predomínio de K-feldspato (unidades 2, 3) ou cinzentas devido à maior porcentagem de plagioclásio (unidades 12, 13). São moderada a pobremente selecionadas e possuem arcabouço médio a muito grosso anguloso. Podem transicionar para vaque arcoseana e debritos graníticos. São compostas essencialmente por quartzo, K-feldspato, muscovita clástica, plagioclásio. Localmente contêm fragmentos de vulcanitos félsicos/intermediários (Fig. 46) e seixos espalhados ou isolados de K-feldspato, quartzo e granito fino. Esta petrofácies reflete a área fonte granítica do embasamento, os vulcanitos podem ser intraclastos derivados das rochas vulcânicas intrabaciais.



Figura 45. Arcóseo rosado com gradação normal entre camadas delgadas de pelito. Turbidito A-D mostrando intervalo A gradado e D, pelítico. Unidade 3 no Domo Austerlitz.

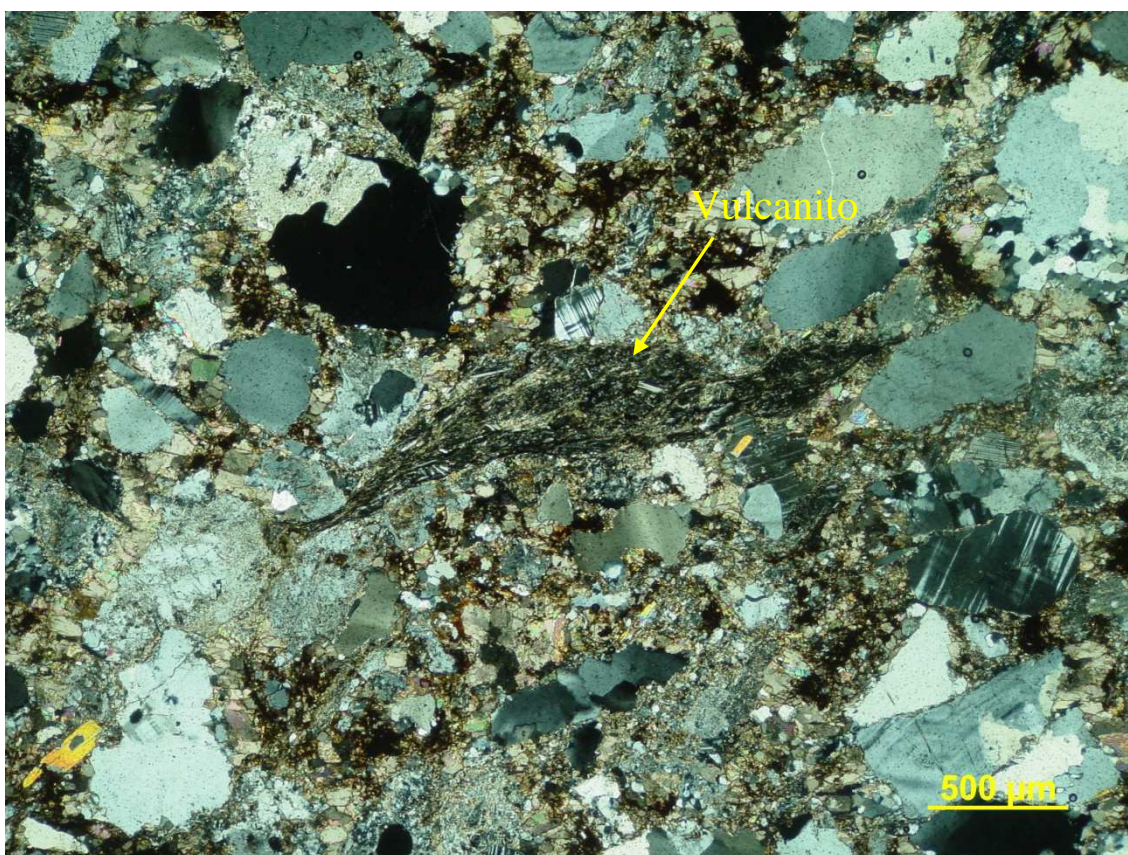
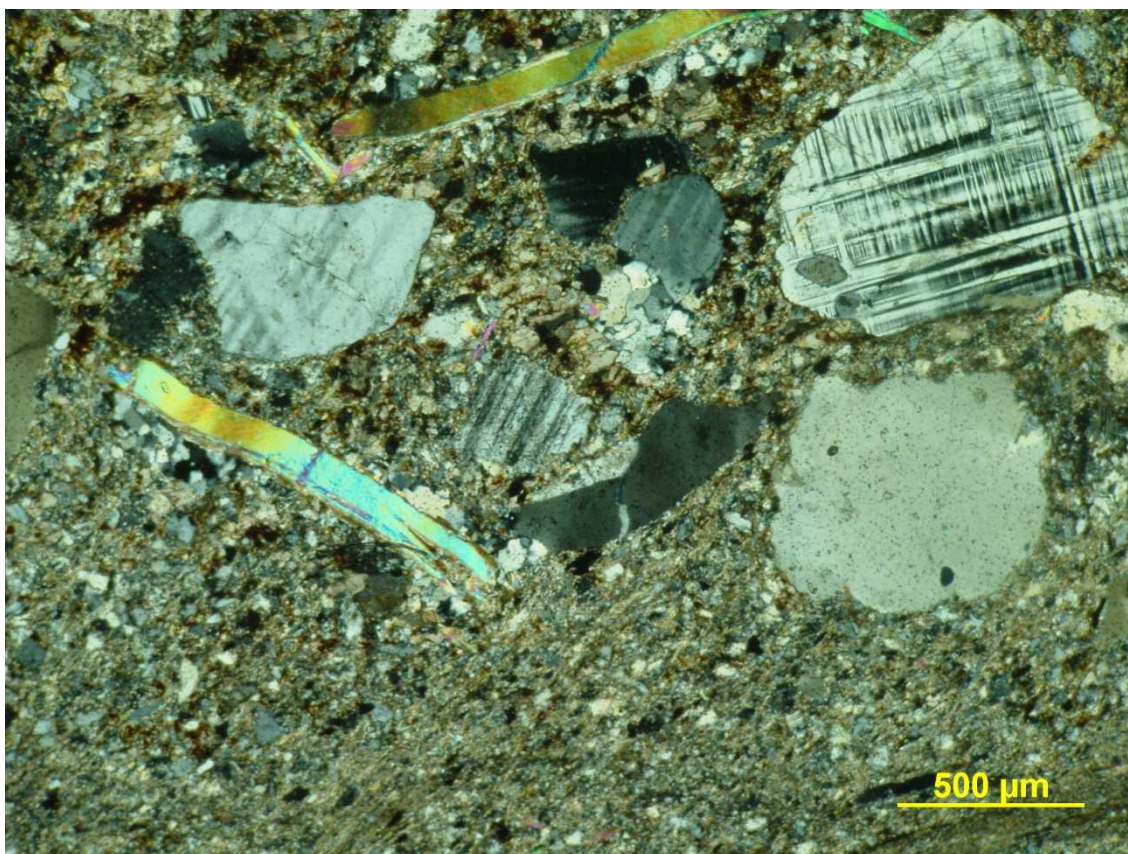


Figura 46. Feldspatos, quartzo e muscovita plutônicos (A) e fragmento de vulcanito (B) em vaque arcoseana no Domo Austerlitz.

Arenitos feldspáticos (Smf) – esta litofácies ocorre em laminas e camadas tabulares delgadas empilhadas em estratos métricos nas unidades 3, 8, 12 e 14. Nos debritos polimíticos podem aparecer em lentes delgadas a médias (10-30cm). Gradação normal definida pela passagem de arenitos finos para pelitos (siltitos e argilitos) é frequente. Duas variedades de ocorrência local são: a) arenitos com estratificação cruzada de pequeno porte (Sx, Fig. 47) que aparece isolada entre debritos nos Domos Vrede e b) arenitos com marcas de onda do tipo cavalgante e microlaminação cruzada (Sr). Em um ponto, na área de Bethanis, ocorrem marcas de onda de corrente (Fig. 48). Estas estruturas registram paleocorrentes para sudoeste. Os arenitos fazem parte também das sucessões de acamamento delgado (Tb-S) descritas a seguir.

Os arenitos feldspáticos são rochas cinzentas finas constituídas essencialmente por quartzo, plagioclásio, mica branca e K-feldspato. O aumento da proporção de micas gera transições para vaques. Biotita ocorre ao longo da foliação principal. Por sua granulometria e porcentagem de matriz, estes arenitos transicionais a vaques, geralmente aparecem como rochas filíticas. Por tal razão, muitas vezes é difícil distinguir no campo filitos cujos protólitos são arenitos finos de filitos cujos protólitos são siltitos ou lamitos.



Figura 47. Estratificação cruzada em arenitos feldspáticos da unidade 14 na área de Bethanis.



Figura 48. Marcas de onda de corrente em arenitos da unidade 14 em Bethanis.

Interpretação dos arenitos

Os quartzitos, por sua disposição em camadas tabulares maciças muito espessas amalgamadas em estratos até decamétricos podem ser interpretados como produtos de fluxos de detritos arenosos. Sua associação e intercalação com a unidade 12 - turbiditos clássicos, sugerem deposição em ambiente de mar profundo. A areia quartzosa que deu origem aos quartzitos provavelmente representa a ressedimentação de material que estava estacionado na plataforma continental. Esta areia madura deve representar uma época de estabilidade tectônica e talvez também de intenso intemperismo químico na área fonte. Outra alternativa para a fonte da areia seria o retrabalhamento de possíveis unidades quartzíticas do embasamento.

Os arcóseos da unidade 2, que gradam para detritos graníticos de leque aluvial, são interpretados como fluxos de detritos em leques aluviais ativos na fase rifte da bacia. Já os arcóseos das unidades 3 e 12, que aparecem isolados em camadas maciças gradadas ou formando turbiditos clássicos, são interpretados como produtos de fluxos de detritos arenosos e de fluxos turbidíticos. A petrofácies mostra área fonte granítica e os fragmentos dos vulcanitos nos arcóseos da unidade 3 indicam provavelmente erosão intrabacia das lavas que se intercalaram nesta unidade.

Os arenitos finos maciços podem representar fluxos de detritos arenosos finos ou turbidíticos. As fácies com gradação normal, laminação plano paralela e microlaminação cruzada também podem ser interpretadas como intervalos clássicos dos fluxos turbidíticos. As raras fácies com estratificação cruzada podem representar fluxos trativos que não são comuns, mas que podem existir, na base de correntes de turbidez ou, representam o retrabalhamento de areias maciças durante a passagem de correntes turbidíticas (?). As marcas de onda assimétrica ou de corrente que só foram vistas em um ponto na unidade 14 podem ser interpretadas como retrabalhamento de areia fina por correntes de fundo, neste caso seriam contornitos.

Sucessões de acamamento delgado (Tb-S)

Trata-se de sucessões constituídas pelo empilhamento de camadas tabulares delgadas formadas por pares arenito-pelito (siltito, lamito, argilito) ou siltito-lamito/argilito. Os pares se empilham em estratos centimétricos a métricos (Fig. 49), geralmente separados por bancos de arenitos ou debritos. Nos arenitos destes pares podem ocorrer marcas de onda cavalgante (Sr, Fig. 50). Nestas fácies são comuns também dobras convolutas produzidas por escorregamentos penecontemporâneos à sedimentação (Fig. 51).

Este tipo de sucessão, por suas estruturas sin-genéticas, pode ser interpretada como turbidito clássico de acamamento delgado, *thin bedded turbidites*, conforme a nomenclatura de Walker (1992). Estas sucessões aparecem comumente nas unidades 3, 12 e constituem a maior parte da unidade 14. Ocorre esporadicamente na unidade 6.



Figura 49. Sucessão de acamamento delgado, litofácies Tb-S, típica da unidade 14 na área de Bethanis.



Figura 50. Marcas de onda cavalgantes em sucessão de acamamento delgado (Tb-S) da unidade 3 na área de Austerlitz.



Figura 51. Dobras convolutas geradas por escorregamento em sucessão de acamamento delgado na unidade 14, em Bethanis.

Rochas Pelíticas (Fm, FI)

As rochas pelíticas são siltitos, lamitos e argilitos, a maioria filíticos. Estas rochas podem conter quartzo, mica branca, clorita, minerais opacos e turmalina. Biotita metamórfica pode ocorrer ao longo da foliação principal.

Os pelitos aparecem em laminas e camadas tabulares delgadas, a maioria maciça (Fm) ou laminadas (FI) e formando sucessões com espessuras desde centimétricas até dezenas de metros. Comumente aparece separando camadas de quartzitos ou arenitos nas unidades 3, 11 e 12. Nas unidades 3 e 14, aparece nas sucessões de acamamento delgado formando pares com arenito. Na unidade 14 ocorrem associados com chert ou rocha calcissilicatada. Localmente ocorrem pelitos filíticos com fragmentos isolados de granitos, arenitos e dolomitos (Fig. 52).



Figura 52. Fragmentos isolados de arenito em sucessão de siltitos, e na foto inferior, seixo isolado de granito em pelito filítico. Unidade 8, Domos Vrede.

Interpretação dos pelitos

Os pelitos representam turbiditos finos, fazem parte dos turbiditos clássicos das sucessões de acamamento delgado, e podem representar também sedimentação hemipelágica. Os clastos isolados têm sido interpretados como seixos pingados, porém não foram observados pavimentos ou seixos estriados que seriam evidências de glaciação.

Chert (Ch) e rocha calcissilicatada

O chert é uma rocha constituída por quartzo microcristalino que pode ter várias origens, entre elas precipitação química direta de uma solução silicosa, origem biopelágica ou silicificação de outras rochas. O chert foi visto na base da unidade 3 na área de Bethanis (perfil 9), aparentemente substituindo um arenito seixoso. Nas unidades carbonáticas ocorrem também oólitos silicificados, formando camadas de chert oolítico.

Rochas calcissilicatadas ocorrem em camadas tabulares delgadas intercaladas em sucessões de pelitos ou de acamamento delgado na unidade 14. Estas rochas calcissilicatadas devem representar sedimentação química em água profunda.

3.2.2.2. Litofácies carbonáticas

As litofácies carbonáticas da área são ruditos, arenitos e pelitos. Conforme Embry e Klovan (1971, após Dunham, 1962; Fig. 53.) os *rudstone* correspondem aos ruditos clastosuportados siliciclásticos (brechas e conglomerados), *floatstone* são semelhantes aos diamictitos, *grainstone* aos arenitos, *wackestone* as vaques e *mudstone* aos pelitos siliciclásticos. As transições de arenito para vaque constituem o *packstone*.

Calcáreos alóctones					Calcáreos autóctones		
componentes originais* não cimentados organicamente durante deposição							
(*oólitos, bioclastos, pelóides, intraclastos)							
< 10% de grânulos e seixos				+ de 10% > 2mm			
com lama carbonática			Sem lama		Precipitação química ou carbonatos formados por organismos que constroem esqueletos rígidos, encrustam ou aprisionam sedimentos.		
suportado por lama		suportado por grãos					
> 10% areia		< 10% areia		matriz suportado			clasto suportado
<i>mudstone</i>		<i>wackestone</i>	<i>packstone</i>	<i>grainstone</i>			<i>floatstone</i>
<i>boundstone</i>							

Figura 53. Classificação de rochas carbonáticas de Embry e Klovan (1971).

Como visto na geologia regional as unidades litológicas da área podem ser incluídas no Grupo Otavi e no Grupo Swakop. A maioria das rochas carbonáticas destes grupos são dolomitos sendo os calcários e margas subordinados (Miller, 2008; Hoffman e Halverson, 2008). Dolomitos tem origem variada (singenética, epigenética, diagenética, detrítica) e grande parte deles é produto da dolomitização de calcários. Além disso, a recristalização metamórfica e deformação mascararam características originais e as rochas transformaram-se em mármore. As fácies grossas são melhor preservadas, sendo possível reconhecer brechas e conglomerados (*rudstones*), diamictitos (*floatstones*) e arenitos (*grainstones*) oolíticos. Algumas vezes, provavelmente devido à porosidade primária/secundária, os arenitos tem arcabouço silicificado, facilitando o reconhecimento da rocha. Um exemplo comum na área são *grainstones* com oólitos silicificados. Em outros casos, a estrutura primária preservada, por exemplo empilhamento de lamina ou camadas delgadas formando ritmitos, indica que a rocha original era um arenito fino ou pelito.

Mas, na maioria dos casos, a diferença entre arenitos (*grainstones*) e pelitos (*mudstones*) é de difícil reconhecimento no campo. Essas rochas muitas vezes foram incluídas sob a designação comum de dolomito.

Assim, neste trabalho, que é baseado essencialmente em geologia de campo, para as rochas carbonáticas cujo arcabouço é bem reconhecido, com fins de simplificar o texto, usaremos a nomenclatura similar a das rochas siliciclásticas: rudito, brecha, conglomerado, diamictito, arenito e pelito. Para as rochas onde a deformação e recristalização mascararam a textura e/ou estrutura original, serão utilizados os termos composicionais dolomito e rocha carbonática. Neste último caso a rocha pode ser *mudstone*, *packstone* ou *grainstone*, calcítico ou dolomítico.

As rochas carbonáticas da área tem cor cinza, esverdeada, rosada, creme, marrom ou preta, as quatro últimas, geralmente correspondendo a dolomitos. Na área dos Domos Vrede, carbonatos maciços, com gretas de ressecamento, oólitos e estromatólitos foram interpretados como corpos exóticos do tipo olistolitos e olistostromas carbonáticos.

Ruditos carbonáticos

Entre os ruditos carbonáticos predominam brechas sobre conglomerados e diamictitos. Localmente ocorrem brechas intraformacionais. Estas rochas são comuns nas unidades 6, 9, 10, 13 e 16, sendo a unidade 10 constituída quase totalmente por ruditos carbonáticos grossos (sigla Rg-C nos perfis, Anexo 2). Na unidade 13 ocorre rudito fino designado como Rf-C.

Estas rochas formam corpos tabulares, lenticulares estendidos ou lentes mais restritas. Estes corpos têm espessuras que variam de decímetros a alguns metros, mas podem se empilhar formando sucessões de dezenas de metros. Separando os corpos rudíticos ocorrem bancos de dolomitos (Fig. 54) e sucessões carbonáticas de acamamento delgado. Mais raro são separações por litofácies mistas carbonática-siliciclástica areníticas e pelíticas.

Os ruditos grossos (Rg-C) são maciços ou gradados (Fig. 55), com arcabouço composto por seixos, blocos e até matacões, angulosos ou arredondados, de variados tipos de rocha carbonática, pelíticas até rudíticas: rocha carbonática cinza,

branca, preta; dolomito marrom, creme, esverdeado, preto; dolomito oolítico marrom, creme, branco e também fragmentos de brecha carbonática (Fig. 56). Localmente ocorrem escassos fragmentos de granitos e arenitos. A matriz geralmente é composta por areia ou uma mistura de areia e lama carbonática, mas pode aparecer menor proporção de material siliciclástico (quartzo, feldspatos, Fig. 57).

O rudito fino (Rf-C) da unidade 13 é constituído essencialmente por fragmentos de rocha carbonática cinza e dolomito marrom com forte contraste reológico (Fig. 58). Nessa unidade ocorre também brecha intraformacional carbonática gerada por deslizamento penecontemporâneo a sedimentação (Bi-C, Fig. 59).



Figura 54. Ruditos carbonáticos separados por bancos de dolomito marrom. Unidade 9, Domo Austerlitz.



Figura 55. Rudito carbonático grosso mostrando gradação para fácies de rudito fino e granulo arenito. Unidade 10, Bethanis.

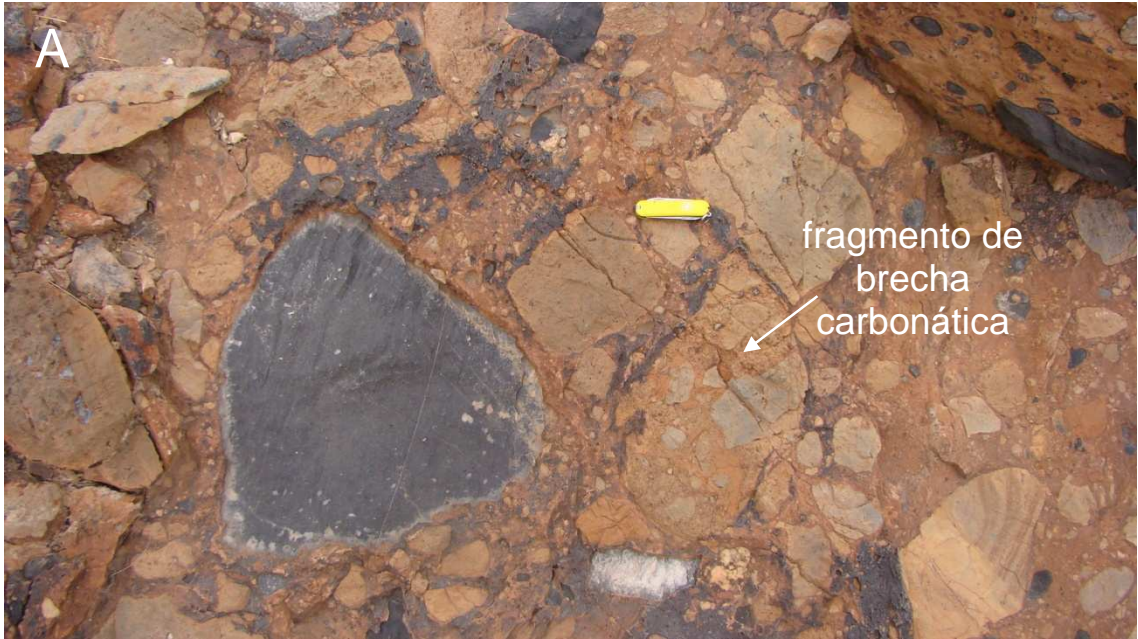


Figura 56. Variedades de fragmentos de rochas carbonáticas em rudito da unidade 10 em Bethanis (A) e 16 em Toekoms (B).



Figura 57. Fragmentos de dolomitos verde e marrom em matriz siliciclástica arcoseana. Brecha carbonática da unidade 10 em Bethanis.



Figura 58. Rudito fino com seixos de rocha carbonática cinza e dolomito marrom mostrando diferentes competências à deformação. Unidade 13, Domo Austerlitz.



Figura 59. Brecha intraformacional carbonática formada por deslizamento penecontemporâneo. Unidade 13, Bethanis.

Arenito carbonático (*grainstone/packstone*, Gm)

São calciarenitos (*grainstones*) finos até granulo arenitos, oolíticos (Fig. 60) ou constituídos por intraclastos carbonáticos, ou contendo tanto oólitos quanto intraclastos como, por exemplo, no topo de estruturas gradadas (Fig. 55) e formando par com pelito em sucessões de acamamento delgado. Em alguns casos ocorre também menor proporção de material siliciclástico como quartzo e feldspatos. Estes arenitos aparecem em camadas delgadas (1-10cm) até espessas (<1m) nas unidades 3, 6, 9 e 10.

Sucessões carbonáticas de acamamento delgado (Tb-C)

Ocorrem dois tipos de sucessões carbonáticas formadas por camadas delgadas, ou seja, com espessuras entre 1 e 10cm. Um tipo é formado por pares arenito-pelito, com arenitos oolíticos ou com intraclastos e pelitos maciços ou com laminação plano-paralela (Fig. 61). O outro é um tipo de ritmito formado pelo empilhamento de lamina/camadas delgadas de dolomitos finos, provavelmente arenitos finos, siltitos e argilitos (Figs. 62 e 15).



Figura 60. Camada vertical de granulo arenito dolomítico (B) com oólitos de variada granulometria (A).



Figura 61. Ciclos arenito-pelito compostos por *grainstone* oolítico e *mudstone* de cor creme, interpretados como turbiditos de acamamento delgado.



Figura 62. Ritmito formado por camadas delgadas de dolomito creme, cinza e esverdeado, encaixando veios de calcita.

Dolomitos (D)

Os dolomitos são comuns nas unidades 3, 6, 7, 9, 13, 16 e 17. Conforme mencionado acima os dolomitos tem cores variadas (cinza, esverdeada, rosada, creme, marrom ou preta) e às vezes é difícil distinguir seu protólito, se arenito, pelito ou rocha de precipitação (bio)química. A maioria provavelmente são arenitos e pelitos, e localmente podem correr seixos carbonáticos isolados ou espalhados (Fig. 63). Aparecem em camadas tabulares delgadas (1-10cm) até muito espessas (>1m), maciças ou com gradação normal (Fig. 64), empilhadas em sucessões decamétricas ou isoladas entre bancos de ruditos, arenitos e sucessões delgadas, carbonáticos ou siliciclásticos (Fig. 65). Estruturas penecontemporâneas como dobras convolutas e pós deposicionais como marcas de carga (Fig. 66) também foram observadas.

Nos Domos Vrede dolomitos maciços ou com estratificação tabular difusa, rosados ou amarronzados, aparecem na unidade 7 associados à dolomitos oolíticos, pelitos com gretas de ressecamento (Fig. 67) e dolomitos com estromatólitos colunares (Fig. 68). Este conjunto de dolomitos rosados forma corpos lenticulares com até dezenas de metros de espessura (Anexo 1), contendo estromatólitos considerados como do tipo *Tungussia* por Hoffman e Halverson (2008).

Interpretação das rochas carbonáticas

Estruturas típicas de turbiditos como a das figuras 61, 63 e 64 e a intercalação dos carbonatos nos turbiditos siliciclásticos permitem também interpretar essas rochas como depósitos de fluxos gravitacionais. Os ruditos carbonáticos registram fluxos de detritos no sopé de taludes íngremes tais como escarpas de falha e limites instáveis de plataformas carbonáticas. Os arenitos maciços podem ser interpretados como fluxos de detritos arenosos e os gradados como turbiditos Ta-d, Ta-b-c. As sucessões de acamamento delgado devem representar turbiditos de acamamento delgado no sentido de Walker (1992). Os corpos lenticulares com estromatólitos, oólitos e gretas de ressecamento podem ser interpretados como fácies plataformais introduzidas no ambiente de mar profundo por deslizamentos e escorregamentos. Neste caso seriam olistolitos e olistostromas.



Figura 63. Banco de dolomito com seixos espalhados mostrando gradação normal. Unidade 3 em Toekoms.



Figura 64. Dolomito com gradação normal definida por fácies maciça (A) que passa para laminada (B) e no topo para microlaminação cruzada (C), semelhante aos turbiditos Ta-b-c. Unidade 9 em Toekoms.



Figura 65. Bancos de dolomito intercalados em sucessão siliciclástica de acamamento delgado (Tb-S). Unidade 6, domo sul, Domos Vrede.



Figura 66. Marcas de carga em dolomitos da unidade 9 em Toekoms.



Figura 67. Gretas de ressecamento em bloco de dolomito pelítico creme. Domo sul, Domos Vrede.



Figura 68. Estromatólitos colunares formando biostroma em dolomitos. Domo sul, Domos Vrede.

3.3. Estratigrafia

Na área estudada, Domos Vrede, Bethanis-Toekoms e Domo Austerlitz ocorrem 13 unidades metassedimentares e 2 metaígneas, neoproterozóicas incluídas na Sequência Damara, Cinturão Outjo, que é parte do Cinturão Damara. Granitos sin-tectônicos se encaixam nestas unidades (Anexo 1). Essas unidades aparecem em discordância sobre o embasamento Paleoproterozóico (Fig. 69) e foram deformadas em fácies xisto verde, zona da biotita, durante a Orogênese Pan-Africana. São sucessões mapeáveis em escala 1:25.000 e portanto podem ser consideradas formações. O levantamento estratigráfico foi feito com base em mapeamento geológico detalhado e perfis estratigráficos colunares em sucessões chaves para ajudar na interpretação das unidades (Anexo 2). A seguir são descritas as unidades metassedimentares siliciclásticas, carbonáticas e mistas, constituídas pelas litofácies descritas no item anterior.

3.3.1. Unidade 1 - embasamento

O embasamento faz parte do microcráton Angola, que se conecta ao Cráton do Congo. Corresponde ao Complexo Plutônico-Metamórfico Paleoproterozóico que aflora na extremidade sudoeste do Kamanjab Inlier (Fig. 4; Hoffman e Halverson, 2008). Apesar de não ser o alvo do trabalho, constitui parte da área fonte das sucessões metassedimentares e por isso, foram visitados vários afloramentos ao longo do contato com estas. Nos locais visitados ocorrem ortognaisses granitoides, a maioria de composição granítica, ricos em mica branca e biotita e pegmatitos. Associados a estes gnaisses ocorre menor proporção de anfibólito, quartzito micáceo e quartzito xisto grosso.



Figura 69. Carbonatos da unidade 6 que “onlaparam” unidades mais antigas e aparecem em discordância angular e litológica sobre o embasamento. Norte dos Domos Vrede. Na foto A detalhe da discordância.

3.3.2. Unidade 2

Aparece em discordância litológica sobre o embasamento formando corpos tabulares ou lenticulares descontínuos, com espessuras variadas desde zero até cerca de 100 metros. É formada na base predominantemente por brechas graníticas (Bcm, Fig. 36) e intercalações de arcóseos (Sm-A) e no topo por arcóseos Sm-A (Fig. 70). Localmente, na base da sucessão, ocorrem matacões graníticos, arcóseos e brechas graníticas finas o que pode dificultar o reconhecimento do contato com granitos fraturados do embasamento.

Por suas características de petrofácies, estrutura gradada (brecha-arcóseo, arcóseo grosso-fino) e sua posição em relação a outras unidades, logo acima do embasamento, esta unidade pode ser interpretada como representante de sistemas de leques aluviais na fase rifte precoce da bacia. Na literatura, por exemplo, Miller (2008) e Borg (2000), a unidade tem sido considerada como de leque aluvial e fluvial.



Figura 70. Empilhamento de camadas tabulares delgadas de arcóseo Sm-A cortadas pela clivagem S1+2 no topo da unidade 2, em Austerlitz.

3.3.3. Unidade 3

Aflora sobre o embasamento e unidade 2 na área Bethanis-Toekoms e na parte norte do Domo Austerlitz (Fig. 71). Cobre as rochas vulcânicas no núcleo do Domo Austerlitz e é a unidade mais basal exposta nos Domos Vrede (Anexo 1). No núcleo dos destes domos, sem base exposta, tem espessura mínima de 130 metros. No Domo Austerlitz a espessura mínima é 100 metros e em Toekoms chega a cerca de 500 metros (Perfis 1, 9, Anexo 2).

Nesta unidade 3 aparecem quase todas as litofácies siliciclásticas, faltando apenas brechas graníticas. As intercalações carbonáticas são de dolomitos (D, *grainstones*, *mudstones*). A unidade apresenta grande variedade lateral em litologia e, como visto acima, também em espessura.

No domo norte dos Domos Vrede predominam conglomerados polimíticos na base, litofácies Cgm (Figs. 34 e 35). Acima ocorre uma sucessão de arcóseos maciços ou gradados (Sm-A, Fig. 37) com intercalação de pelito seguido por dolomito. No topo da sucessão aparece um quartzito. No domo sul, acima dos ruditos basais, ocorre uma sucessão até decamétrica de dolomito coberta por outra também espessa de pelito. Ambas contém bancos de brechas e arenitos (Perfis 1, 2, Anexo 2).

No Domo Austerlitz predominam sucessões de acamamento delgado (Tb-S) onde se intercalam ruditos polimíticos e petromíticos (Fig. 72), dolomitos e arenitos feldspáticos maciços, gradados, localmente com microlaminação cruzada (Fig. 50). Seixos isolados aparecem nas sucessões delgadas e nos arenitos. Os conglomerados podem conter além de fragmentos do embasamento, dolomito, arenito, pelito e fragmentos de rochas vulcânicas (Fig. 39). Nesta área a unidade encaixa rochas ígneas descritas no próximo item.

Na área de Bethanis predominam rochas pelíticas da litofácies Fm e Fl, com intercalações de arenitos feldspáticos (Smf) e dolomitos (D). Ocorrem também bancos de chert (Ch) que parecem resultado da silicificação de pelitos. Seixos isolados também foram observados.

Em Toekoms acima das brechas e conglomerados basais aparece um intervalo rico em arenitos feldspáticos (litofácies Smf) e pelitos (Fm, Fl). No topo da

sucessão predominam sucessões de acamamento delgado com intercalações de arcóseos, dolomitos e, menos frequentemente, pelitos. Nestas podem aparecer seixos espalhados ou isolados.

Os ruditos, por sua estrutura maciça ou gradada e associação com turbiditos clássicos – sucessões de acamamento delgado, são interpretados como debritos, ou seja, produtos de fluxos de detritos. Bancos de dolomitos laminados que se intercalam nestes ruditos (Fig. 34) devem representar a sedimentação normal de talude ou mar profundo. Os arenitos que se intercalam na sucessão são em parte turbiditos clássicos (Ta, Ta-b) ou fluxos de detritos arenosos. Os dolomitos também podem ser turbiditos arenosos ou finos. Os pelitos da base da sucessão na área de Bethanis devem representar turbiditos finos durante uma fase de afogamento das sucessões clásticas.



Figura 71. A unidade 3 em contato aparentemente concordante sobre a unidade 2 no norte do Domo Austerlitz.



Figura 72. Sucessões de acamamento delgado capeadas por rudito polimítico, perfil 4 (Anexo 2) no Domo Austerlitz.

3.3.4. Unidades 4 e 5 – rochas metaígneas

No Domo Austerlitz e logo a noroeste ocorrem rochas ígneas félsicas a intermediárias (unidade 4) e máficas (unidade 5), intercaladas nas unidades 2 e 3 (Anexo 1). São metafelsitos e metabasitos com estruturas primárias e mineralogia parcialmente preservadas ou transformados em filitos e xistos félsicos e máficos ricos em clorita e sericita. Os metafelsitos são maciços ou laminados com fenocristais de quartzo e feldspato potássico em uma matriz afanítica (Fig. 73). Provavelmente são riolitos, riodacitos e dacitos. As rochas máficas são xistos verdes ou metabasaltos esverdeados, com estrutura maciça, de fluxo ou almofadada (pillow, Fig. 74). No perfil 5 um vulcanito porfirítico dacítico/riodacítico com amígdalas aparece em corpos centimétricos a métricos formando uma sucessão com mais de 100 metros de espessura encaixado na unidade 3 (Fig. 75). No núcleo do Domo Austerlitz provavelmente estas rochas ígneas formam corpos que alcançam espessuras na ordem de centenas de metros (Anexo 2). As rochas com estruturas

em almofadas e as que aparecem como fragmentos nos epiclastitos sobrepostos (unidade 3) são vulcânicas contemporâneas à sedimentação desta unidade. Outras podem ser diques ou soleiras rasas contemporâneas ao vulcanismo, como, por exemplo, o corpo que atravessa as unidade 2 e 3 no noroeste do Domo Austerlitz.

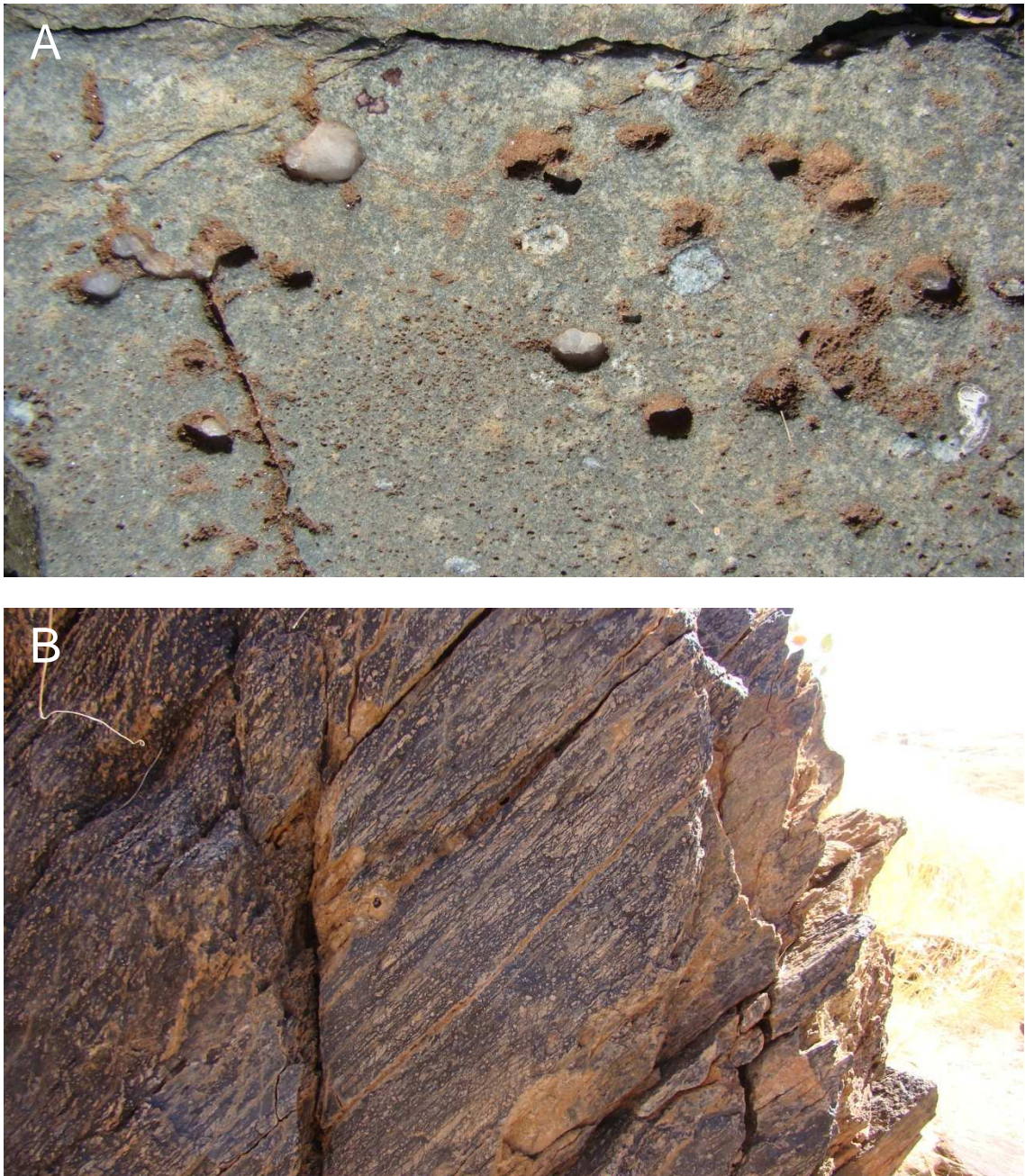


Figura 73. Metafelsitos maciço com fenocristais de quartzo (A) e com laminação de fluxo acentuada pela deformação (B).



Figura 74. Lavas almofadadas em metabasito no núcleo do Domo Austerlitz.



Figura 75. Lava porfírica intercalada em sucessão de acamamento delgado da unidade 3, com cerca de 5cm de margem resfriada no contato (A). Na foto B o corpo de lava destacando-se no relevo. Perfil 5, Domo Austerlitz.

3.3.5. Unidades 6 e 7

Nessas unidades predominam rochas carbonáticas sobre as siliciclásticas. A unidade 6 ocorre nas três áreas e a 7 é restrita aos Domos Vrede. A espessura do conjunto 6 e 7, inferida com base nos dados de campo e seções geológicas, varia de 0 até cerca de 300 metros Domos Vrede e até cerca de 100 metros para unidade 6 nas outras áreas.

Unidade 6 - é um pacote de dolomito que acunha lateralmente. São dolomitos a maioria de cor creme, em camadas delgadas até espessas, maciças, gradadas ou com laminação plano-paralela. As camadas gradadas parecem arenitos (*grainstones*) que passam para arenitos finos ou pelitos (*mudstones*). Nos Domos Vrede aparecem intercalações de bancos com até 2 metros de espessura compostos pelo empilhamento de camadas delgadas a espessas de arenitos feldspáticos filíticos (Smf) ou com microlaminação cruzada (Sr; perfil 3, Anexo 2). Ocorrem também intercalações de sucessões mistas compostas de camadas delgadas de dolomitos e arenitos e pelitos siliciclásticos (Fig. 65, Anexo 2). No Domo Austerlitz a unidade é representada por uma sucessão de acamamento delgado (Tb-C) formando um pacote com espessura variável, desde 8 metros (perfil 4, Anexo 2) até de cerca de 100 metros. Na área Bethanis-Austerlitz predomina a fácies de acamamento delgado.

Unidade 7 - forma lentes com até cerca de 150m de espessura, intercalada na unidade 6 (Fig. 76). Estas lentes são compostas por dolomitos maciços, dolomitos oolíticos maciços ou gradados, dolomitos pelíticos com gretas de ressecamento (Fig. 67) e dolomitos com estromatólitos colunares centimétricos (Fig. 68). Estas fácies aparecem com distribuição irregular e o acamamento é mal definido. Observam-se paredes com dezenas de metros de espessura de rochas maciças (Fig. 77) formando lentes (Fig. 76) e truncando sucessões estratificadas da unidade 6 (Fig. 78).

Os dolomitos da unidade 6 são interpretados como debritos arenosos e turbiditos. Os pares arenito-pelito siliciclásticos desta unidade também devem ser turbiditos. A unidade 7 contendo gretas de ressecamento e estromatólitos (tipo *Tungussia*, Hoffman e Halverson, 2008) forma corpos interpretados como de água rasa que deslizaram e escorregaram talude abaixo e se depositaram sobre turbiditos

dolomíticos e siliciclásticos da unidade 6. Portanto, a unidade 7 pode ser considerada como constituída por olistolitos e olistostromas como mencionado na caracterização das litofácies. Devido à presença de estromatólitos e oólitos a sucessão dos Domos Vrede tem sido interpretada como de água rasa por diversos autores, entre eles Maloof (2000) e Hoffman e Halverson (2008).

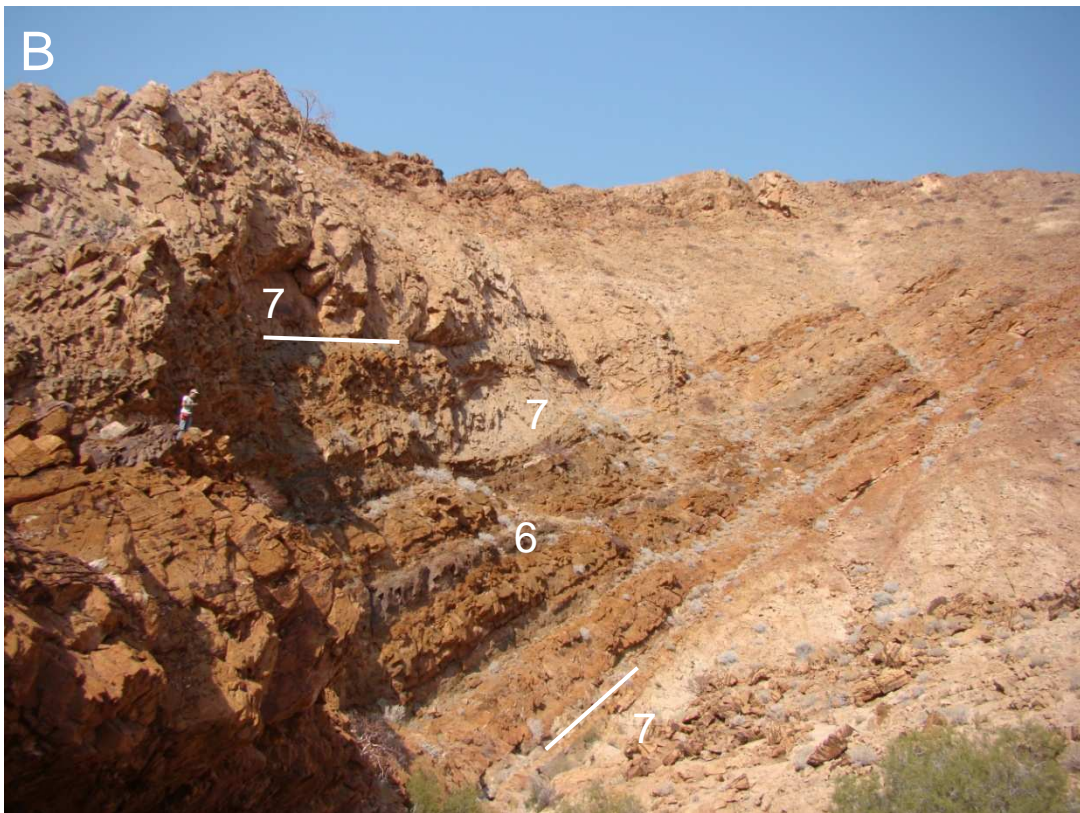
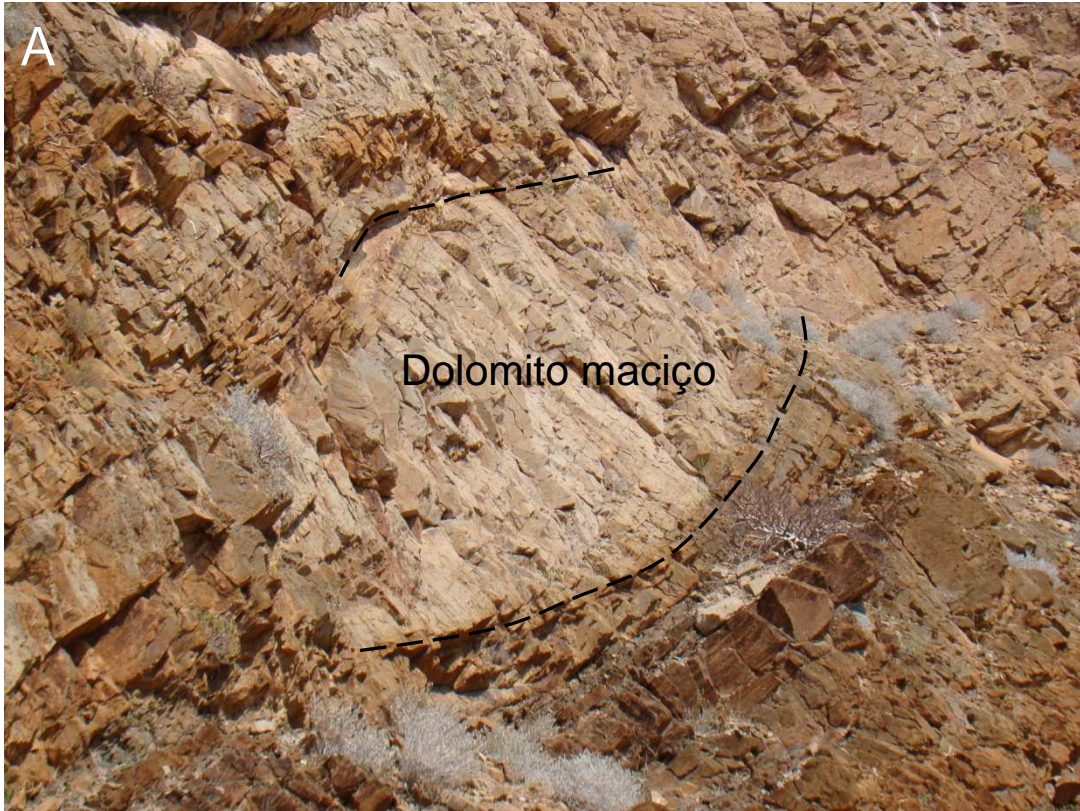


Figura 76. Unidade 6 estratificada truncada por dolomitos maciços da 7 (B). Na foto A uma lente da unidade 7 na 6. O afloramento corresponde as duas primeiras colunas do perfil 3 (Anexo 2). Domos Vrede, ponto 173.



Figura 77. Paredão de dolomito maciço da unidade 7 sobre dolomito estratificado da sucessão mista da unidade 6 (A). Na foto B o contato entre as unidades maciça (7) e estratificada (6). Domos Vrede, ponto 161.

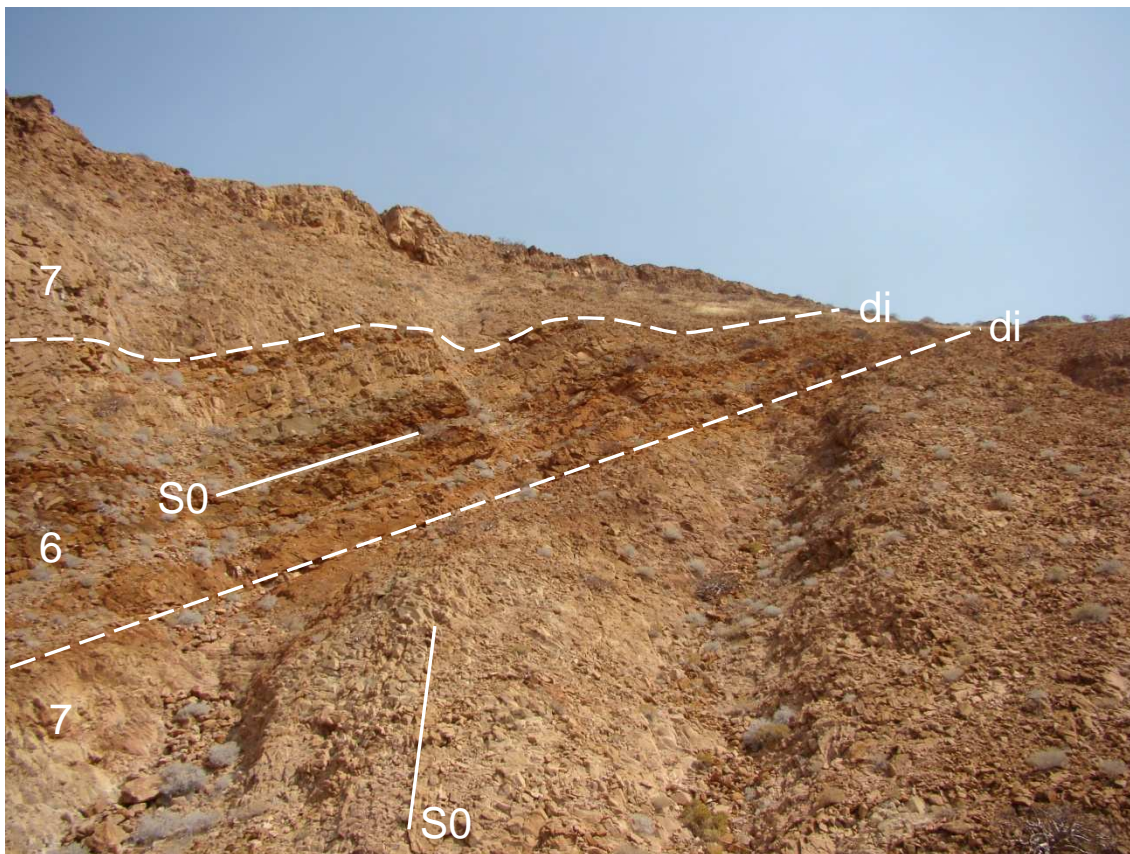


Figura 78. Olistostromas da unidade 7 truncando em discordância intraformacional (di) a sucessão mista carbonática-siliciclástica da unidade 6. Domos Vrede, vista do ponto 161.

3.3.6. Unidade 8

Com até cerca de 250m de espessura (Domos Vrede) essa unidade acunha lateralmente. O contato sobre a unidade 6 pode ser brusco ou transicional. A unidade 8 é composta, essencialmente, por filitos derivados de arenitos finos (Smf) e pelitos (Fm, Fl). Nestas rochas aparecem intercalações de conglomerados polimíticos (Cgm), arcóseos (Sm-A), sucessões de acamamento delgado carbonática (Tb-C) e dolomitos (D). Seixos isolados de granitos, arenitos e dolomitos ocorrem nos filitos e dolomitos (Fig. 52).

A unidade 8 pode ser interpretada como uma sucessão de depósitos finos em ambiente de baixa energia. A associação com as outras unidades permite ainda supor um ambiente de mar profundo. Os pelitos e dolomitos devem representar depósitos hemipelágicos e talvez pelágicos (dolomitos). Os arenitos, as sucessões

de acamamento delgado e parte dos pelitos (siltitos que passam a argilitos) devem registrar episódios de deposição turbidítica.

Os seixos isolados têm sido interpretados como seixos pingados de *icebergs* relacionados à glaciação Marinoana (Hoffmann, 1996; Maloof, 2000; Hoffman e Halverson, 2008) e a unidade correlacionada ao tilito Ghaub. Em nossa interpretação a unidade é depósito de mar profundo, onde pavimentos com estrias e sulcos, feição típica de tilitos continentais, não devem ocorrer. No entanto, seixos estriados no ambiente continental ou litorâneo podem ser transportados para partes fundas das bacias. Essas feições não foram observadas nos afloramentos estudados. O que apoia a interpretação glacial dos autores é a química isotópica dos carbonatos logo acima do “tilito” Ghaub. Alternativamente, os fragmentos isolados podem ser interpretados como detritos solitários peneirados de fluxos de gravitacionais com extraclastos durante sua passagem destes fluxos sobre depósitos do fundo marinho. Seixos solitários também podem ter sua origem relacionada ao rolamento gravitacional talude abaixo de fragmentos deixados em encostas instáveis autóctones ou também durante a passagem de fluxos gravitacionais (Leppard e Gawthorpe, 2006; Eyles e Januszczak, 2007) e turbiditos (Postma *et al.*, 1988). Em um ambiente tectonicamente ativo, como durante a abertura da Bacia Outjo, pode ser comum esse tipo de processo deposicional não relacionado à glaciação.

3.3.7. Unidade 9

É um pacote que acunha lateralmente com espessuras variando de 0 até cerca de 200m. Cobre os pelitos da unidade 8 nos Domos Vrede (Fig. 79) e Domo Austerlitz e, aparece cobrindo e como lente na unidade 3 no Domo Austerlitz e área Bethanis-Toekoms (Fig. 80, Anexo 1). Na unidade 9 predominam rochas carbonáticas dolomíticas de cor marrom, creme, verde oliva e negra, que aparecem em três tipos de associações de litofácies:

1) dolomitos (D, *grainstone*) formando dois tipos de sucessão gradada, uma de acamamento espesso e outra de acamamento delgado (Tb- C, Fig. 81). A gradação pode ser definida por *grainstone* maciço-laminado-microlaminação cruzada (Figs. 82 e 64) às vezes, com *mustone* no topo. Nestes dolomitos gradados se intercalam

arcóseos (Sm-A), arenitos feldspáticos (Smf) e pelitos (Fm, Fl). Esta associação constitui a unidade no perfil de Toekoms (perfil 9, Anexo 2).

2) dolomitos (D) que podem ser arenitos ou pelitos, formando sucessões até decamétricas de camadas aparentemente maciças, tabulares delgadas a espessas. Essa associação constitui a base da unidade no perfil de Austerlitz e predomina nos Domos Vrede (perfis 2, 3 e 4, Anexo 2).

3) brecha carbonática (Rg-C) com intercalações de dolomitos (D) e dolomitos (*grainstones*) seixosos e mais escassos arenitos siliciclásticos (Smf). Esta associação rica em brechas forma lentes que chegam a mais de 50 metros de espessuras observadas no topo da unidade nos Domos Vrede (Fig. 83) e no Domo Austerlitz (Fig. 54, perfil 4, Anexo 2).

Apesar de aparecerem lateralmente, estas associações poderiam ser empilhadas da seguinte maneira: 1, 2 e 3. Em diversas camadas, nas três associações, seixos, grânulos e areia quartzosos parecem ter sua origem na silicificação de material carbonático, possivelmente oólitos.

As estruturas e associação de fácies permitem interpretar os depósitos desta unidade como turbiditos clássicos carbonáticos, de acamamento espesso e delgado. As intercalações siliciclásticas também devem ser produtos de fluxos gravitacionais. As brechas representam fluxos de detritos carbonáticos.

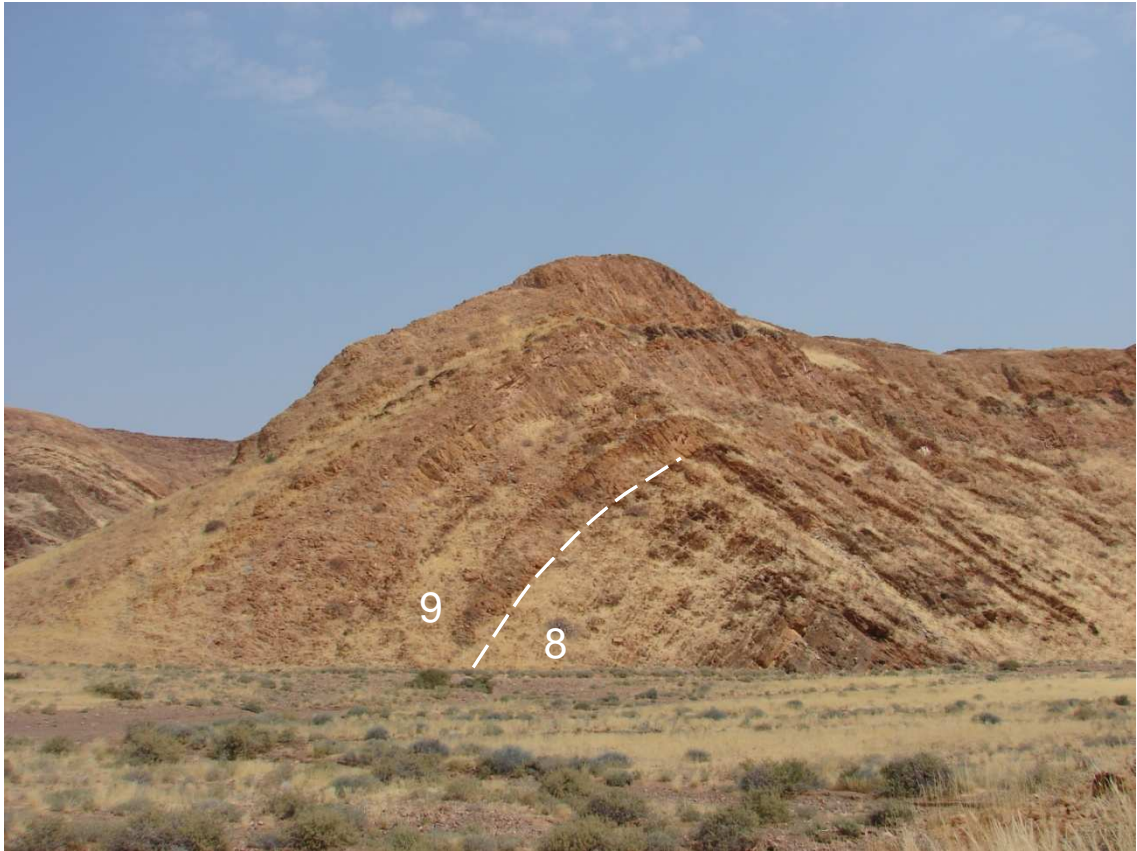


Figura 79. Carbonatos da unidade 9 cobrindo pelitos da unidade 8 nos Domos Verde.

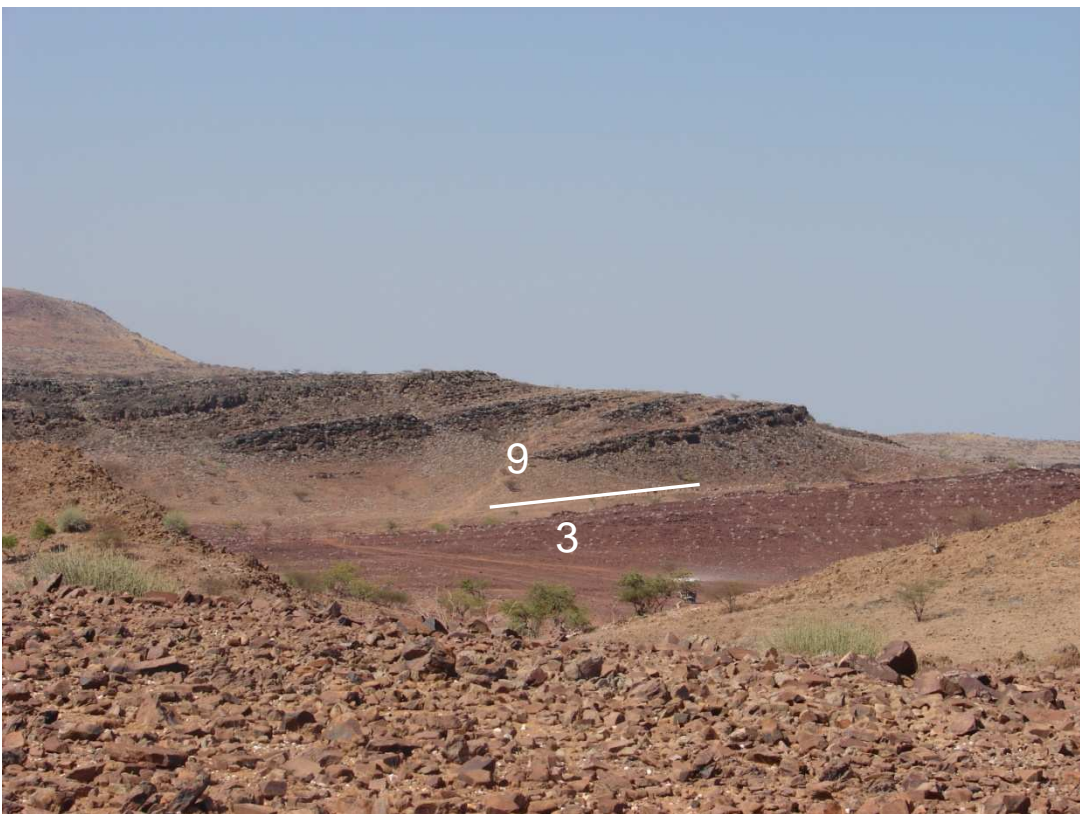


Figura 80. Carbonatos da unidade 9 cobrindo a unidade 3, área de Toekoms.



Figura 81. Sucessões de acamamento espesso (detalhe na figura 64) e delgado na unidade 9 em Toekoms.

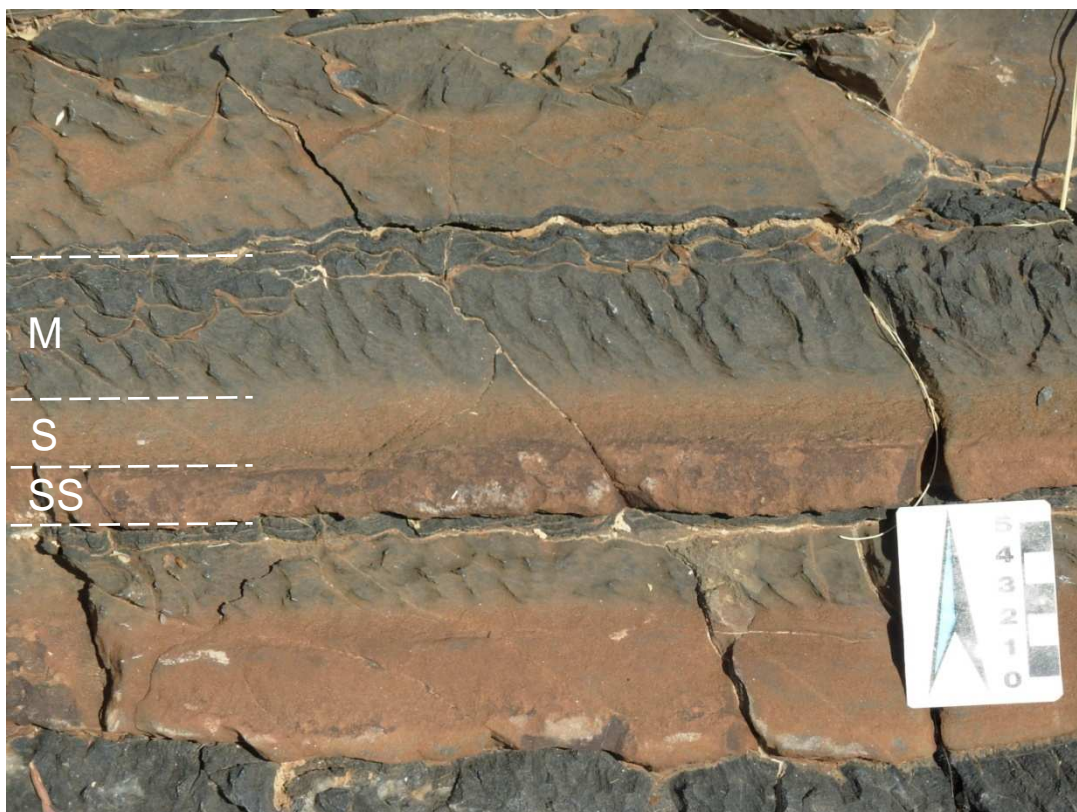


Figura 82. Camadas gradadas semelhantes aos turbiditos Ta-b-d típicas das sucessões de acamamento delgado da unidade 9 na área de Toekoms. SS – arenito (*grainstone*), S – siltito e M – argilito.



Figura 83. Fragmentos de rocha carbonática azulada (calcáreo?) e dolomito marrom em matriz de areno-pelítica (*packstone*) formando brecha (Rg-C) no topo da unidade 9 nos Domos Vrede.

3.3.8. Unidade 10

Aflora em Bethanis e ao norte dos Domos Vrede. Mostra grande variedade lateral com espessuras de 0 até cerca de 150 metros. Os contatos basais e de topo são irregulares bruscos. A unidade é formada essencialmente por ruditos carbonáticos grossos, conforme descrito na litofácies Rg-C. São brechas (Fig. 57), conglomerados (Fig. 56) ou diamictitos (Fig. 25) em camadas tabulares ou lenticulares muito espessas, maciças ou gradadas (Fig. 55), amalgamadas ou separadas por bancos de dolomitos.

Como os ruditos das outras unidades, por sua associação no conjunto estratigráfico, estes também são considerados detritos gerados por fluxos de detritos que se depositaram em um ambiente de água profunda. Entretanto, a unidade tem sido interpretada como um depósito glacial, o tilito Ghaub.

3.3.9. Unidades 11 e 12

A unidade 11 é formada por quartzitos da litofácies Sm-Q. A unidade 12 é constituída por pares arcóseo-pelito (Sm-A/Fm-FI) ou arenitos feldspáticos-pelitos, filíticos (Smf/Fm-FI) e intercalações de quartzitos Sm-Q e no topo pelitos (Fm, FI). O contato entre as duas unidades é transicional. Esporádicos bancos de dolomito ocorrem nas duas unidades. Estas estão empurradas sobre as unidades inferiores dos domos Vrede e Austerlitz, como descrito no item 3.1.1.

Unidade 11 – é constituída pelo empilhamento de camadas tabulares maciças espessas (30-100cm) e muito espessas (>1m), amalgamadas ou separadas por delgados pelitos constituindo uma sucessão com até cerca de 200 metros de espessura (Fig. 84). Quartzitos com intraclastos de dolomitos e pelitos (Fig. 43) podem ocorrer. Na base das camadas podem ocorrer quartzos conglomerados finos.

Unidade 12 - é uma sucessão com pelo menos 300 metros de espessura onde predominam pares arenito-pelito. No perfil do Domo Austerlitz a unidade é formada na base por pares arcóseo-pelito (Sm-A/Fm-FI) e intercalações de quartzito (Sm-Q). Em direção ao topo ocorrem pares arenito feldspático-pelito (Smf/Fm-FI) e sucessões de acamamento delgado (Tb-S). No topo aparece um espesso pacote pelítico (perfil 6, Anexo 2). Ao redor dos Domos Vrede predominam as sucessões do tipo Smf/Fm-FI e pelitos, sendo essas rochas na maioria dos afloramentos filíticas. Esta mudança pode representar uma variação lateral de fácies.

Os pares arenito-pelito formam camadas compostas espessas e muito espessas que se empilham formando sucessões decamétricas separadas por quartzitos ou, mais para o topo da seção, por sucessões de acamamento delgado. Nesses pares ocorre gradação de arenitos grossos maciços para arenitos médios maciços ou laminados e destes para pelitos (Fig. 85). Nos arenitos podem ocorrer intraclastos pelíticos e de dolomito às vezes formando brechas intraformacionais (Fig. 86).

A unidade 11, como explicado nas litofácies (item 3.2) pode representar fluxos de detritos arenosos que introduziram areia plataformal quartzosa em ambiente de água profunda. Na unidade 12 os pares arenito-pelito e as sucessões de acamamento delgado podem ser interpretados como turbiditos clássicos de acamamento espesso e de acamamento delgado, respectivamente, conforme a

definição de Walker (1992). A sucessão pelítica de topo reflete uma subida do nível relativo do mar que pode ter afogado a plataforma fonte dos detritos grossos que alimentavam os turbiditos. Neste caso estes pelitos podem ser interpretados como a superfície de inundação marinha que precedeu o trato de mar alto, onde foram depositados os carbonatos da unidade 13.



Figura 84. Bancos de quartzitos maciços formando sucessões típicas da unidade 11 no Domo Austerlitz. Vide também figura 44.



Figura 85. Bancos de arenito Sm-A e pelitos formando pares interpretados como turbiditos clássicos de acamamento espesso. Domo Austerlitz.



Figura 86. Fragmentos de dolomito esverdeado e de pelitos cinzentos na base de uma camada de arcóseo grosso na unidade 12. Domo Austerlitz.

3.3.10. Unidade 13

Trata-se de um pacote carbonático com cerca de 300 m de espessura mínima que recobre concordantemente a unidade 12 e ultrapassa os limites desta até cobrir a unidade 10 na área de Bethanis e a 3 em direção a Toekoms. Na maioria dos afloramentos é difícil reconhecer estruturas primárias e, às vezes, até mesmo o limite das camadas, devido à recristalização. No entanto foi possível identificar camadas, de coloração cinza-azulada e marrom, muito espessas de aparência maciça ou gradada normal e sucessões de acamamento delgado (Tb-C, Fig. 87). Ao sul do Domo Austerlitz ocorrem ruditos finos com clastos de rocha carbonática cinzenta e dolomitos marrom, litofácies Rf-C, figura 58. Brechas intraformacionais penecontemporâneas geradas por deslizamentos foram observadas na área de Bethanis (Figs. 88 e 59). Um perfil na base da unidade, no sul do Domo Austerlitz (perfil 7, Anexo 2), mostra predomínio de ruditos finos separados por sucessões carbonáticas de acamamento delgado e dolomitos. Acima ocorrem estratos formados por camadas maciças e outros compostos por sucessões de acamamento delgado.

As camadas maciças ou gradadas e as sucessões de acamamento delgado podem ser interpretadas como turbiditos clássicos derivados da ressedimentação de material carbonático plataformar. Os ruditos devem representar fluxos de detritos, também carbonáticos.



Figura 87. Pacote carbonático formado por empilhamento de camadas maciças ou gradadas e sucessões de acamamento delgado. Unidade 13, Bethanis.

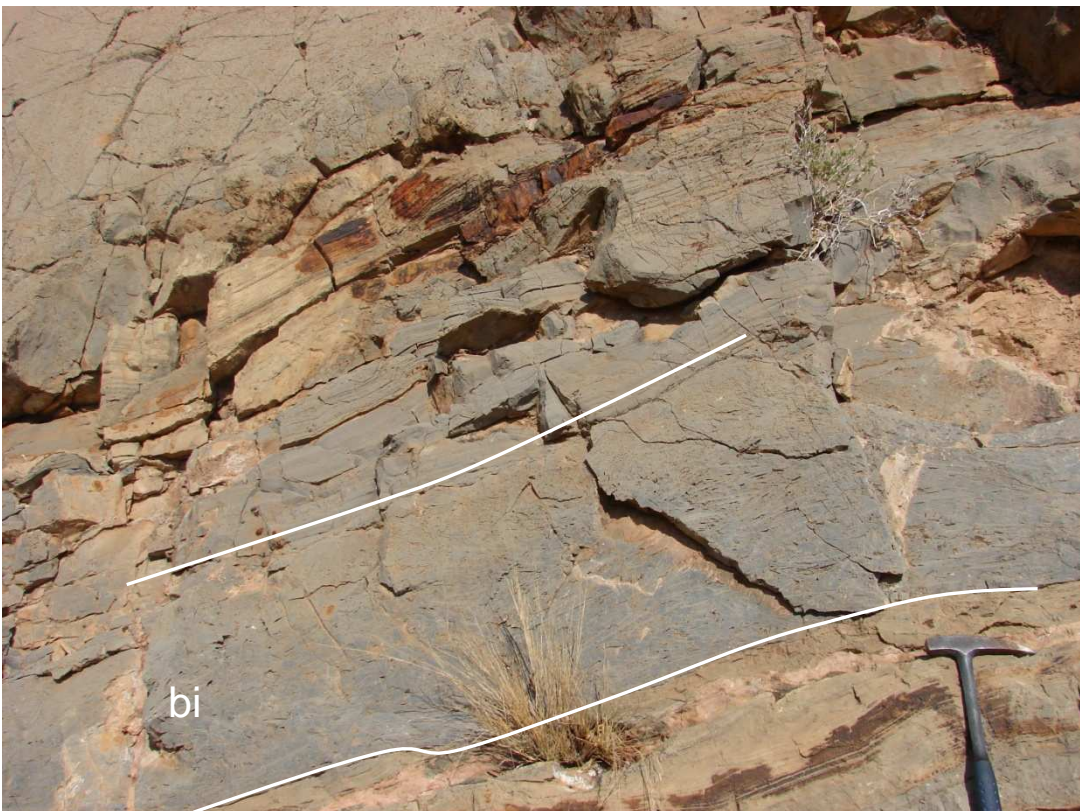


Figura 88. Brecha intraformacional (bi) gerada por deslizamento interno em sucessão de acamamento delgado na unidade 13 na área de Bethanis.

3.3.11. Unidade 14

Essa unidade aparece concordante sobre a unidade 13 e tem cerca de 300 metros de espessura mínima. É formada por uma sucessão siliciclástica de acamamento delgado (Fig. 49). Nestas sucessões se observa gradação normal de arenitos (Smf) finos maciços ou laminados para pelitos, semelhantes aos turbiditos Ta-d e Ta-b-d. Localmente nestas fácies aparece estratificação cruzada de pequeno porte (Fig. 47) e microlaminação cruzada registrando paleocorrentes para sudoeste, e marcas de onda de corrente (Fig. 48). Ocorrem estruturas penecontemporâneas como dobras convolutas (Fig. 51) e pós deposicionais como marcas de carga. Existem também rochas filíticas cuja origem pode ser a fácies de acamamento delgado deformada e com clivagem muito penetrativa mascarando o acamamento original ou fácies mais fina totalmente pelítica.

As sucessões de acamamento delgado são turbiditos clássicos. Os filitos, se representam pelitos, seriam depósitos hemipelágicos, se não, turbiditos muito finos. Por suas características a unidade representa um afogamento da plataforma carbonática que deu origem à unidade 13.

3.3.12. Unidade 15 – Granitos sin-tectônicos

No canto sudoeste do mapa afloram granitóides que fazem parte do Plúton Omangambo, um conjunto de rochas plutônicas conhecidas regionalmente como Granitos Damara. Mais ao sul, na área do domínio estrutural 3 – Lower Ugab, os plutons Voetspoor e Doros constituído por rochas graníticas, dioríticas e sieníticas foram interpretados como magmatismo relacionado a subida da astenosfera devido a *slab-breakoff* durante a colisão entre os crátons Kalahari e Congo. Esses granitoides sin-tectônicos forneceram idades U-Pb (SHRIMP) em zircões em torno de 530Ma (Schmitt *et al.*, 2012).

3.3.13. Unidades 16 e 17

O contato entre estas duas unidades é gradacional e elas compõem uma unidade maior que trunca as metassedimentares mais antigas (2, 3, 9, 13, 14) conforme pode ser observado no mapa geológico (Anexo 1). Regionalmente este contato é uma discordância angular, mas localmente é paraconcordante (Fig. 89). Durante o mapeamento foi estudado somente a base destas duas unidades. Na 16 predominam ruditos polimíticos carbonáticos sobre intercalações de arenitos feldspáticos maciços, com laminação plano paralela e localmente com estratificação cruzada (Fig. 90) e bancos de dolomitos. Sobre esta base gradacionalmente passam a predominar arenitos maciços ou localmente com estratificação cruzada. Sobre estes aparecem arenitos finos filíticos do tipo Smf e pelitos (Fm, FI) que, aparentemente, compõem a maior parte da unidade 17. A transição pode ser observada no perfil 10 em Toekoms. Nesta área também foi observado em um rudito um fragmento de rocha carbonática dobrado indicando que as unidades 16 e 17 são posteriores a, pelo menos, uma fase de dobramento impressa nas unidades mais velhas.

Possivelmente as fácies rudíticas com intercalação de arenito com estratificação cruzada representam depósitos aluviais e as fácies superiores da unidade 17 talvez possam ser interpretadas como depósitos fluviais. No entanto, para interpretações mais apuradas ainda é necessário um estudo destas unidades. Na literatura estas unidades são consideradas como depósitos de bacia de antepaís relacionada à Orogênese Pan-Africana (Miller, 1983, 2008).

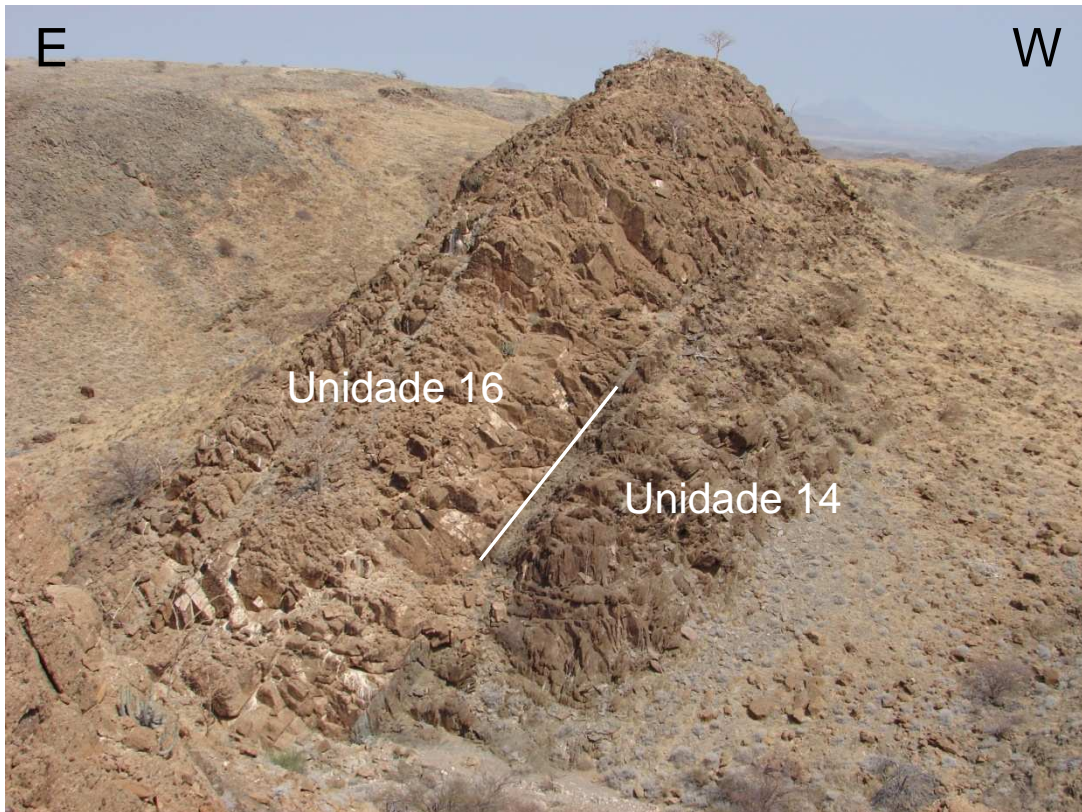


Figura 89. Contato paraconcordante entre as unidades 16 e 14 na área de Bethanis.



Figura 90. Brecha carbonática e arenito misto (siliciclástico-carbonático) com estratificação cruzada deformada da unidade 16 na área de Bethanis.

4. DIQUES DE ROCHAS MÁFICAS – UNIDADE 19

Foram encontrados seis diques de rocha máfica, a maioria diabásio afanítico maciço, cinza escuro a quase negro, esverdeado quando alterado (Fig. 91). Um dos diques, na área de Toekoms, é um lamprófiro com fenocristais de biotita. Estas rochas constituem corpos subverticais, com espessuras variando de 6m até 1m, às vezes com fácies de margem resfriada. Os diques têm orientação quase norte-sul, com rumo em torno de 355-175 ou nordeste-sudoeste em torno de 60-240. Apresentam fraturas subhorizontais perpendiculares e subverticais paralelas ao rumo dos corpos.



Figura 91. Dique de diabásio NE-SW/subvertical com cores esverdeadas de alteração e fraturas subhorizontais e subverticais. Ponto 35, parte leste do domo norte, Domos Vrede.

5. ROCHAS E SEDIMENTOS FANEROZÓICOS – UNIDADES 18 E 20

O registro Fanerozóico na área é representado por rochas da Bacia Etendeka e sedimentos aluviais, fluviais e depósitos de talus neógenos.

A Bacia Etendeka nesta região inclui três formações do Cretáceo: Etjo, Awahab e Tafelberg (Fig. 92). A Formação Etjo é constituída por arenitos eólicos cronocorrelatos aos da Formação Botucatu na Bacia do Paraná. As outras duas formações correspondem a lavas basálticas que derramaram sobre o deserto Etjo e, são correlatas dos basaltos da Formação Serra Geral, também na Bacia do Paraná (Mountney & Howell, 2000; Jerram et al., 1999; Mountney et al., 1998).

Os sedimentos aluviais são constituídos por blocos e seixos angulosos em uma matriz areno-siltosa, os fragmentos derivados das unidades pré-cambrianas e da Bacia Etendeka (Fig. 93). Os sedimentos fluviais são areno-cascalhosos e argilosos de canal abandonado, de rios efêmeros entrelaçados (Fig. 94, 95). Os depósitos de tálus recentes são comuns nas encostas íngremes das montanhas (Fig. 96).



Figura 92. Unidades da Bacia Etendeka a oeste dos Domos Vrede.



Figura 93. Leque aluvial recente com área fonte em rochas da Bacia Etendeka. Vista para oeste dos Domos Vrede.

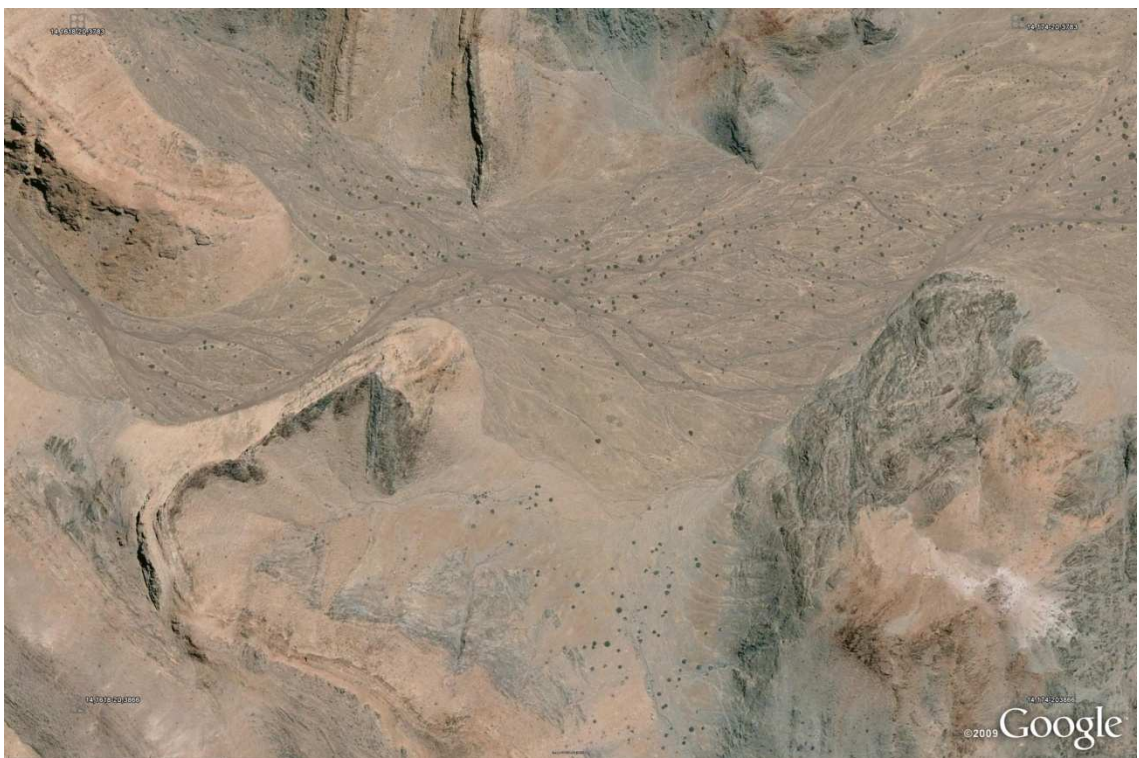


Figura 94. Rio entrelaçado efêmero no vale que separa os domos norte e sul nos Domos Vrede. Imagem do Google Earth fornecida pela *Mainz University*.



Figura 95. Gretas de ressecamento em lama de canal abandonado do Rio Huab. Parte leste dos Domos Vrede.



Figura 96. Depósito de tálus em encosta carbonática na parte norte do domo sul, Domos Vrede.

6. CONCLUSÕES

Conforme o objetivo as conclusões desta dissertação focam a evolução estratigráfica das sucessões da Sequência Damara na área Vrede, Bethanis-Toekoms e Austerlitz na Zona tectono-estratigráfica Norte ou Zona Outjo do Cinturão Damara. No entanto, para entender a estratigrafia, foi necessário o mínimo de entendimento da posição das unidades nas estruturas tectônicas, falhas e dobras, geradas durante a Orogênese Pan-Africana. A síntese deste entendimento é mostrada nas seções geológicas e no item 3.1.

As características das litofácies e associações de litofácies, tanto siliciclásticas quanto carbonáticas, ricas em ciclos debritos-arenito e arenito-pelito, as unidades que compõem e as relações entre estas unidades, permitem interpretar o conjunto estratigráfico como constituído predominantemente por depósitos de fluxos gravitacionais nos quais se intercalam hemipelágicos e pelágicos. Os debritos e arenitos maciços/gradados registram fluxos de detritos seixosos e arenosos, respectivamente. A maioria dos pares arenito-pelito e siltito-argilito são turbiditos clássicos de acamamento espesso e delgado. O predomínio de fluxos gravitacionais não coesivos (baixa proporção de finos), a escassez de diamictitos (abundante matriz lamítica) e petrofácies rica em materiais graníticos frescos, sugerem área fonte com clima úmido e rápido soterramento dos depósitos. Nestas condições granitoides do embasamento podem fornecer clastos arredondados por esfoliação esferoidal e argila que é lavada dos depósitos e transportada em nuvens hemipelágicas ou fluxos de detritos finos para partes fundas da bacia.

As unidades 2 e 3 encaixam lavas félsicas a máficas, soleiras e diques associados, incluídos nas unidades 4 e 5. Esse conjunto deve representar a fase rifte inicial e a transição para bacia profunda. Idade em um felsito em torno de 750 milhões de anos baliza a idade máxima destas fases.

A análise das unidades, suas relações e dos perfis colunares detalhados permitiram montar a síntese estratigráfica mostrada na figura 97. A alternância de unidades siliciclásticas e carbonáticas de águas profundas deve refletir períodos de falhamento durante a abertura de bacia, o que gerou abatimento de blocos e mar

alto relativo com formação de plataformas carbonáticas que deram origem aos fluxos gravitacionais carbonáticos.

A unidade 2 é interpretada como depósito continental de leque aluvial. A síntese da unidade 3 é um perfil grano-estrato decrescente para o topo com predomínio de debritos na base, turbiditos na parte média que passam a pelitos e turbiditos finos no topo. Sobre esta aparece a unidade 6, mista (carbonatos > siliclásticos), na qual se encaixam depósitos de olistolitos e olistostromas da unidade 7. Este conjunto é sobreposto pelo pacote pelítico da unidade 8. A unidade 9 representa deposição carbonática em um sistema de mar alto que sucedeu o afogamento pelítico. Desta forma, aplicando os conceitos de estratigrafia de sequencias, as unidade 2, a base e a parte média da unidade 3 devem representar o trato sistema de mar baixo, os pelitos e turbiditos finos do topo da unidade 3, a superfície de inundação marinha e a unidade 6 o trato de sistema transgressivo. Os pelitos da unidade 8 representam a máxima inundação na bacia seguida pelos carbonatos de mar alto da unidade 9. Apesar de não ter sido ainda reconhecido no campo, talvez devido a deformação orogênica posterior, é provável que exista uma discordância intraformacional entre as unidades 2 e 3, resultado do tectonismo que deve ter ocorrido na passagem da fase rifte para a fase de bacia aberta. Este conjunto deve representar uma sequência deposicional de origem tectônica, uma tectono-sequência. Os seixos isolados, comuns no topo da unidade 3 e na unidade 8, têm sido interpretados como de origem glacial. Podem representar também material peneirado de fluxos gravitacionais. Independente disto, uma tectono-sequência pode se formar durante um período glacial.

Acima dos carbonatos da unidade 8 aparecem quartzitos maciços (fluxos de detritos arenosos, unidade 11) e turbiditos clássicos de acamamento espesso (unidade 12), ambos contendo fragmentos de carbonatos. Lateralmente aparecem debritos carbonáticos com derivados das rochas carbonáticas inferiores. No topo da unidade 12 aparece um pacote pelítico e acima destes os carbonatos da unidade 13 e pelitos da unidade 14. Da base até o topo, assim como a sequência deposicional descrita acima, a sucessão mostra uma tendência grano-estrato decrescente. O conjunto pode ser interpretado então como uma segunda sequência deposicional constituída na base pelos quartzitos, turbiditos e debritos carbonáticos das unidades 11, 12 e 10, que representariam o trato de sistema de mar baixo. O pelito no topo da

unidade 12 representa a superfície de inundação marinha, os carbonatos da unidade 13 o trato de sistema transgressivo, e a sucessão fina da unidade 14 o mar alto. No domínio 3, área do Lower Ugab, foi reconhecido que a unidade 13 pode ser dividida em três sub-unidades: carbonatos, pelitos e turbiditos finos carbonáticos. Estas sub-unidades são interpretadas como trato de sistema transgressivo e inundação máxima (Fig. 97). Na área de estudo ocorrem somente os carbonatos inferiores “onlapando” as unidades 12 e 10.

Essas duas sequências, inferior e superior, estão limitadas por discordâncias: basal com o embasamento e de topo com as unidades 16 e 17. O limite entre elas deve ser uma discordância (unidades 10, 11 e 13 sobre unidades inferiores), no entanto, o mapa mostra que este limite quando feito pelas unidades 11 e 13 é uma falha de empurrão. Esta falha de empurrão deve ter se desenvolvido aproveitando a discordância intraformacional.

A correlação com as unidades previamente estabelecidas na literatura é mostrada na figura 98.

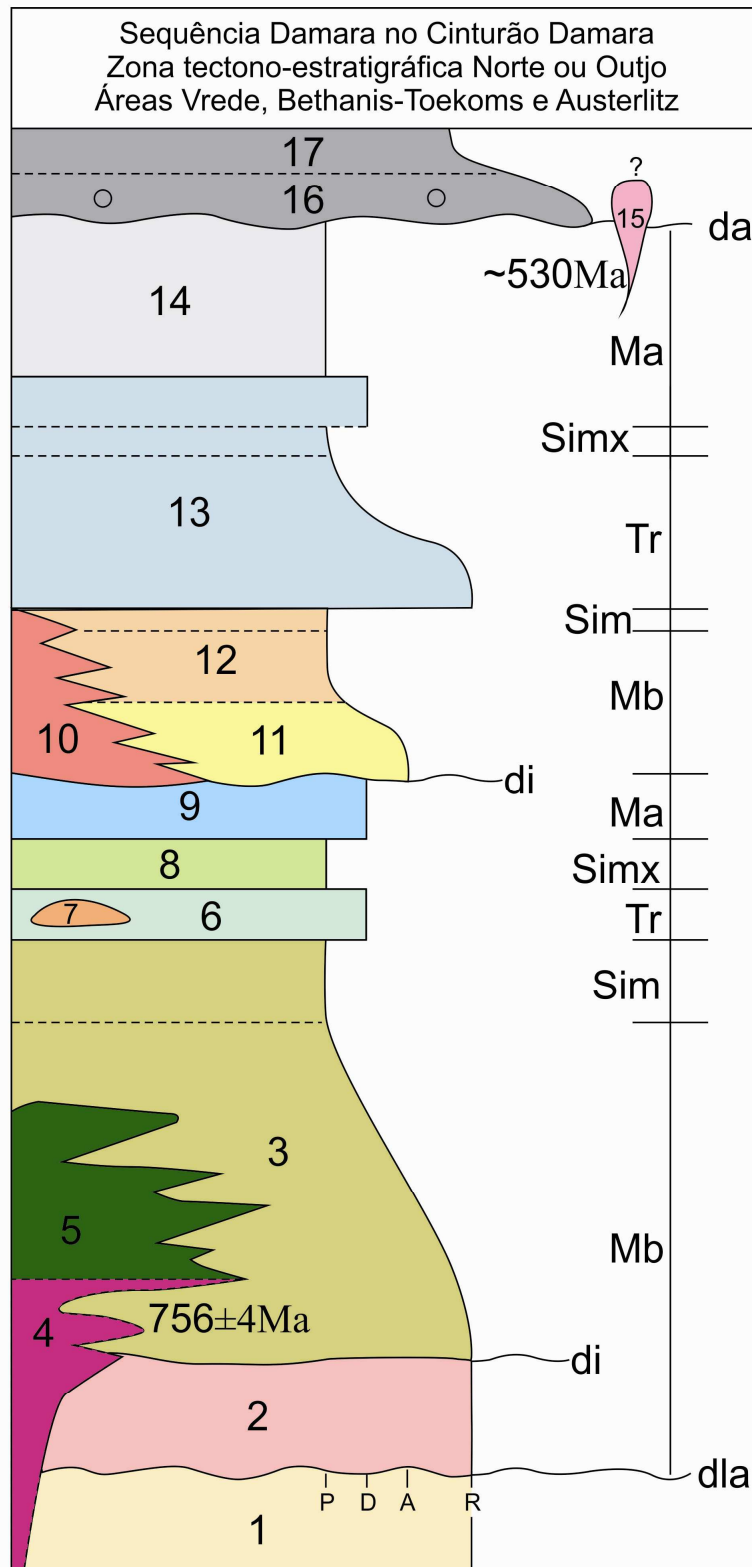


Figura 97. Síntese estratigráfica da área. Números: unidades de mapeamento, legenda no Anexo 1. Discordâncias: dla – litológica/angular; da – angular; di – intraformacional. Tratos de sistema: Mb – mar baixo; Tr – transgressivo; Ma – mar alto. Superfícies de inundação: Sim – marinha; Simx – máxima. P – pelito, D – dolomito e sucessões de acamamento delgado, A – arenito e sucessões de acamamento espesso, R – ruditos.

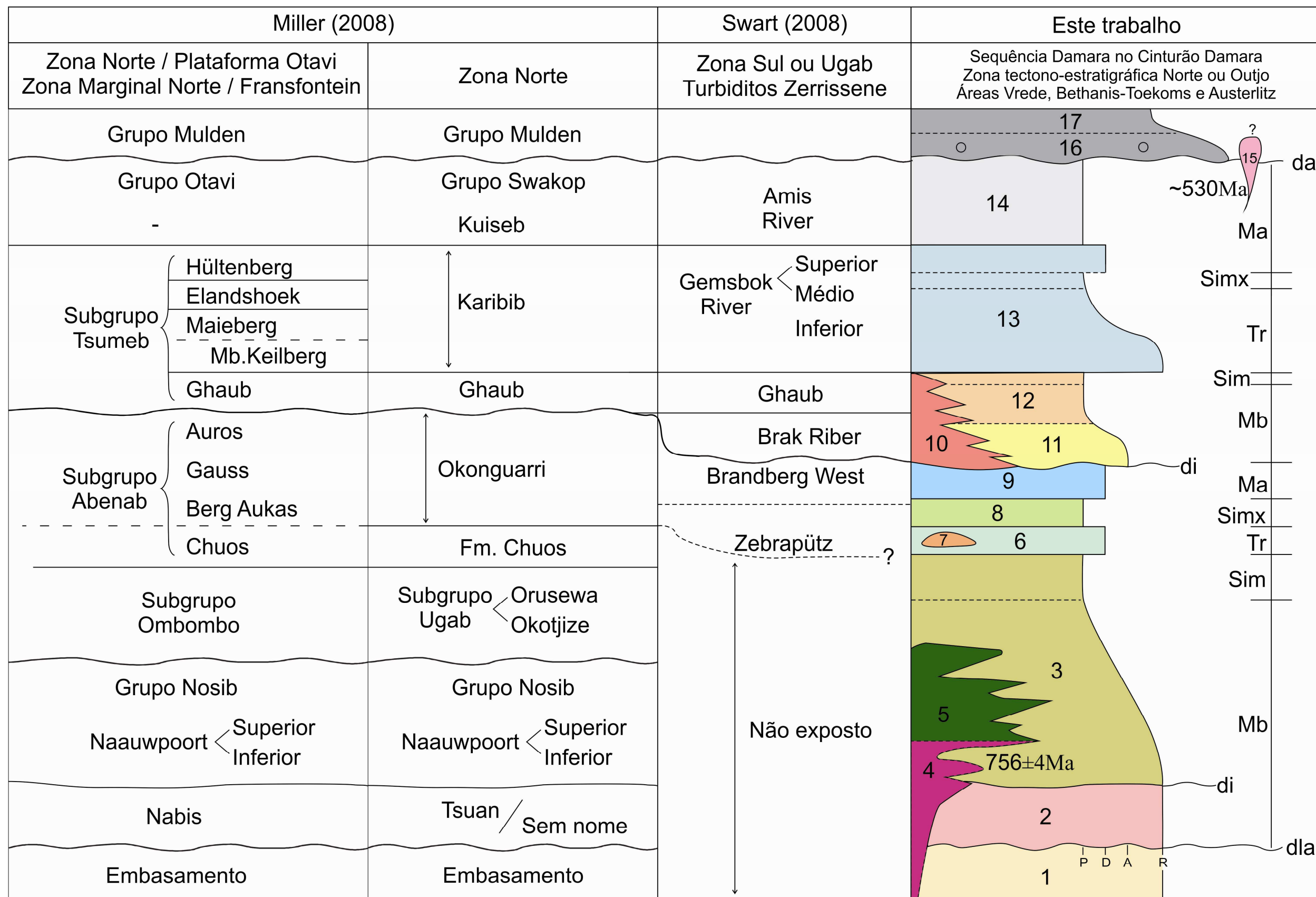


Figura 98. Coluna estratigráfica estabelecida para área de estudo comparada com a nomenclatura formal da Sequência Damara nas Zonas Tectono-estratigráficas Norte, Marginal Norte e Sul. Localização das zonas na figura 5. Os números correspondem às unidades de mapeamento - legenda no Anexo 1. Os demais símbolos são os mesmos da figura 97.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borg, G., 2000. Regional Controls on sediment-hosted Pb-Zn (Ba-Cu) occurrences within the Pan-African Orogenic Belts of Namibia. *Communications Geological Survey of Namibia*, 12, 211-220.
- Collinson J.D. e Thompson, D.B., 1982. *Sedimentary Structures* (London: Allen and Unwin) p. 194
- Dunham, R. J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W. E. (Ed.), *Classification of carbonate rocks: American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 108-121.
- Embry, A.F., Klovan, J.E., 1971. A Late Devonian reef tract on Northeastern Banks Island, NWT: *Canadian Petroleum Geology Bulletin*, 19, 730-781.
- Eyles, N., Januszczak, N., 2007. Syntectonic subaqueous mass flows of the Neoproterozoic Otavi Group, Namibia: where is the evidence of global glaciation? *Basin Research* 19, 179–198.
- Gray, D.R., Foster, D.A., Goscombe, B.D., Passchier, C.W., Trouw, R.A.J., 2006. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology of the Pan-African Damara Orogen, Namibia, with implications for tectonothermal and geodynamic evolution. *Precambrian Research* 150, 49-72.
- Hoffman, P.F., Halverson, G.P., 2008. Otavi Group of the western Northern Platform, the Eastern Kaoko Zone and the western Northern Margin Zone. In: Miller, R. McG. (Ed.), *The Geology of Namibia V2-13, Neoproterozoic to Lower Paleozoic*, Geological Survey of Namibia, 69-136.
- Hoffmann, K.H., Richards D.L., Schreiber, U.M., 2004. Geological map of Namibia, 1:250.000 Geological Series, Sheet 2014 – Fransfontein (provisional). Ministry of Mines and Energy, Geological Survey of Namibia.
- Jerram, D.A., Mountney, N., Holzförster, F., Stollhofen, H., 1999. Internal stratigraphic relationships in the Etendeka Group in the Huab Basin, NW Namibia. *Journal of Geodynamics* 28, 393-418.
- Leppard, C.W., Gawthorpe, R.L., 2006. Sedimentology of rift climax deep water systems; Lower Rudeis Formation, Hammam Faraun Fault Block, Suez Rift, Egypt. *Sedimentary Geology* 191, 67-87.

- Maloof, A.C., 2000. Superposed folding at the junction of the inland and coastal belts, Damara Orogen, NW Namibia. *Communications of the Geological Survey of Namibia* 12, 89-98.
- Miller, R.McG., 1983. The Pan-African Damara Orogen of South Africa/Namibia. In: Miller, R. McG. (Ed.), *Evolution of the Damara Orogen of South West Africa/Namibia*, Special Publication of the Geological Society of South Africa 11, 431–515.
- Miller, R.McG., 2008. Neoproterozoic and Early Paleozoic Rocks of the Damara Orogen. In: Miller, R. McG. (Ed.), *The Geology of Namibia, V2–13, Neoproterozoic to Lower Paleozoic*, Geological Survey of Namibia, 1-69.
- Miller, R.McG. e Grote, W., 1998. Geological map of the Damara Orogen, 1:500.000. Geological Society of South Africa: Addendum to Special publication 11.
- Mountney, N., Howell, J., 2000. Aeolian architecture, bedform climbing and preservation space in the Cretaceous Etjo Formation, NW Namibia. *Sedimentology* 47, 825-849.
- Mountney, N., Howell, J., Flinth, S., Jerram, D.A., 1998. Aeolian and alluvial deposition within the Mesozoic Etjo Sandstone Formation, northwest Namibia. *Journal of African Earth Science* 27, 175-192.
- Paciullo, F. V. P. ; Ribeiro, A. ; Trouw, R. A. J. ; Passchier, C. W. 2007 . Facies and facies association of the siliciclastic Brak River and carbonate Gemsbok formations in the Lower Ugab River valley, Namibia, W Africa. *Journal of African Earth Sciences* 47, 121-134.
- Passchier, C.W., Trouw, R.A.J., Ribeiro, A., Paciullo, F.V.P., 2002. Tectonic evolution of the southern Kaoko belt, Namibia. *Journal of Africa Earth Science* 35 (1), 61–75.
- Porada, H. 1989. Pan-African rifting and orogenesis in southern to equatorial Africa and eastern Brazil. *Precambrian Research* 44, 103–136.
- Postma, G., Nemeë, W., Kleinspehn, K.L., 1988. Large floating clasts in turbidites: a mechanism for their emplacement. *Sedimentary Geology* 58, 47–61.

- Ramsay, J.G. 1967. Folding and fracturing of rocks. McGraw-Hill Book Company, New York, 560p.
- SACS, 1980. South Africa Committee for Stratigraphy, 1980. Stratigraphy of South Africa. Kent, L.E. (Comp); Part 1. Litostratigraphy of the Republic of South Africa, South West Africa/Namibia, and the Republics of Bophuthatswana, Transkei and Venda. Geological Survey of South Africa, 8, 690 pp.
- Schmitt, R.S., Trouw, R.A.J., Passchier, C.W., Medeiros, S.R., Armstrong, R., 2012. 530 Ma syntectonic syenites and granites in NW Namibia — Their relation with collision along the junction of the Damara and Kaoko belts. Gondwana Research 21 (2012): 362-377.
- Stow, D.A.V., Johansson, M., 2000. Deep-water massive sands: nature, origin and hydrocarbon implications. Marine and Petroleum Geology 17, 145–174.
- Swart, R., 1992. The sedimentology of the Zerrissene turbidite system, Damara Orogen, Namibia. Geological Survey of Namibia, Memoir 13, 1992, 54 pp.
- Walker, R.G. 1992. Turbidites and Submarine Fans. In: Walker, R.G., James, N.P. (Eds.), Facies Models. Response to Sea Level Change. Geological Association of Canada, Berlin, 239–263.

8. ANEXOS

Mapa geológico da área Vrede, Bethanis-Toekoms e Austerlitz, Damaraland, noroeste da Namíbia

Débora Barros Nascimento

Anexo 1
Dissertação de Mestrado - 2012
Departamento de Geologia - IGEO/UFRJ

