

Figura 49 - Foto do cânion do Rio Catumbela em direção ao leste, mostrando os blocos rotacionados pelas falhas lístricas antitéticas e croqui mostrando a posição das falhas e a inclinação dos estratos rotacionados.

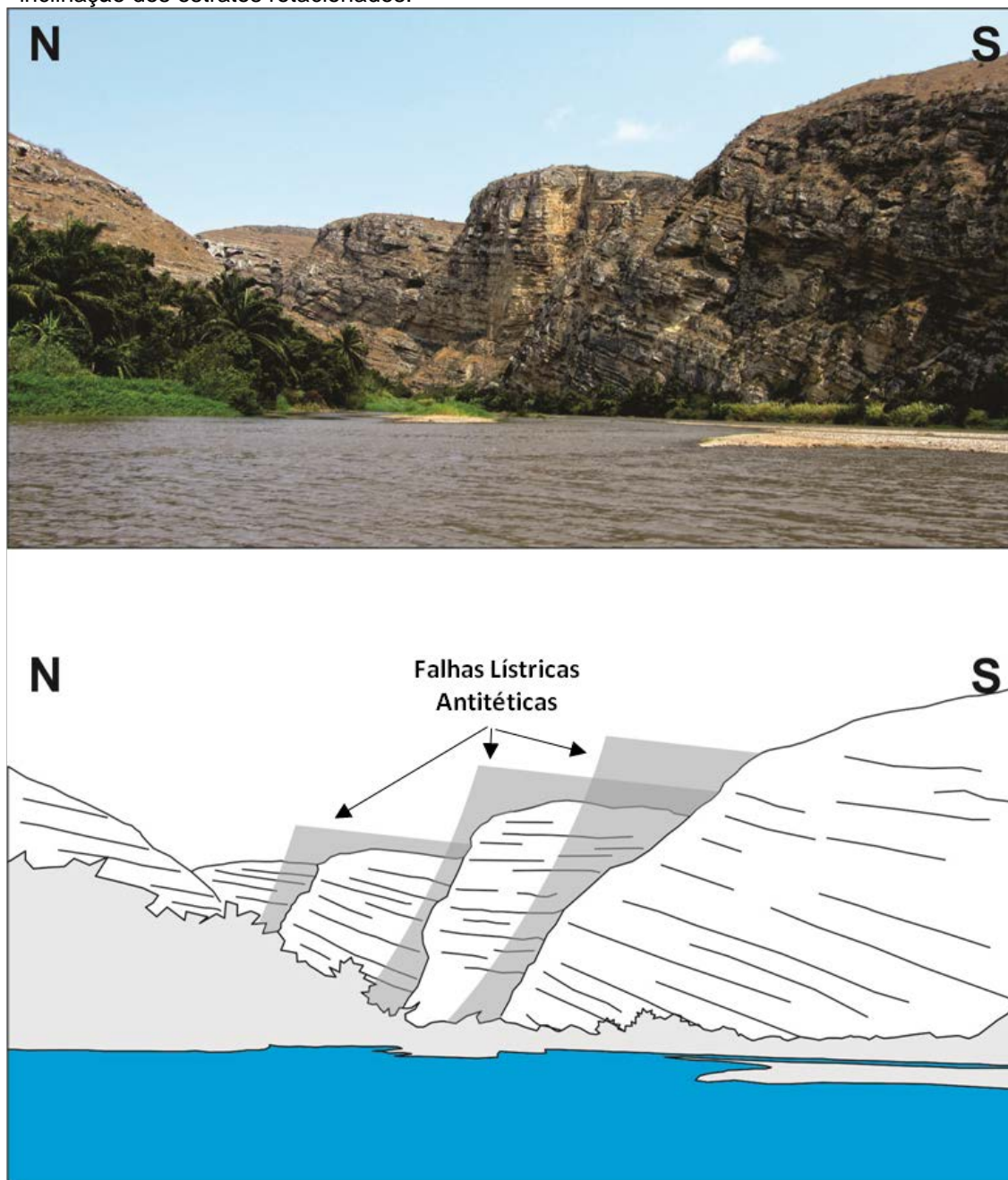
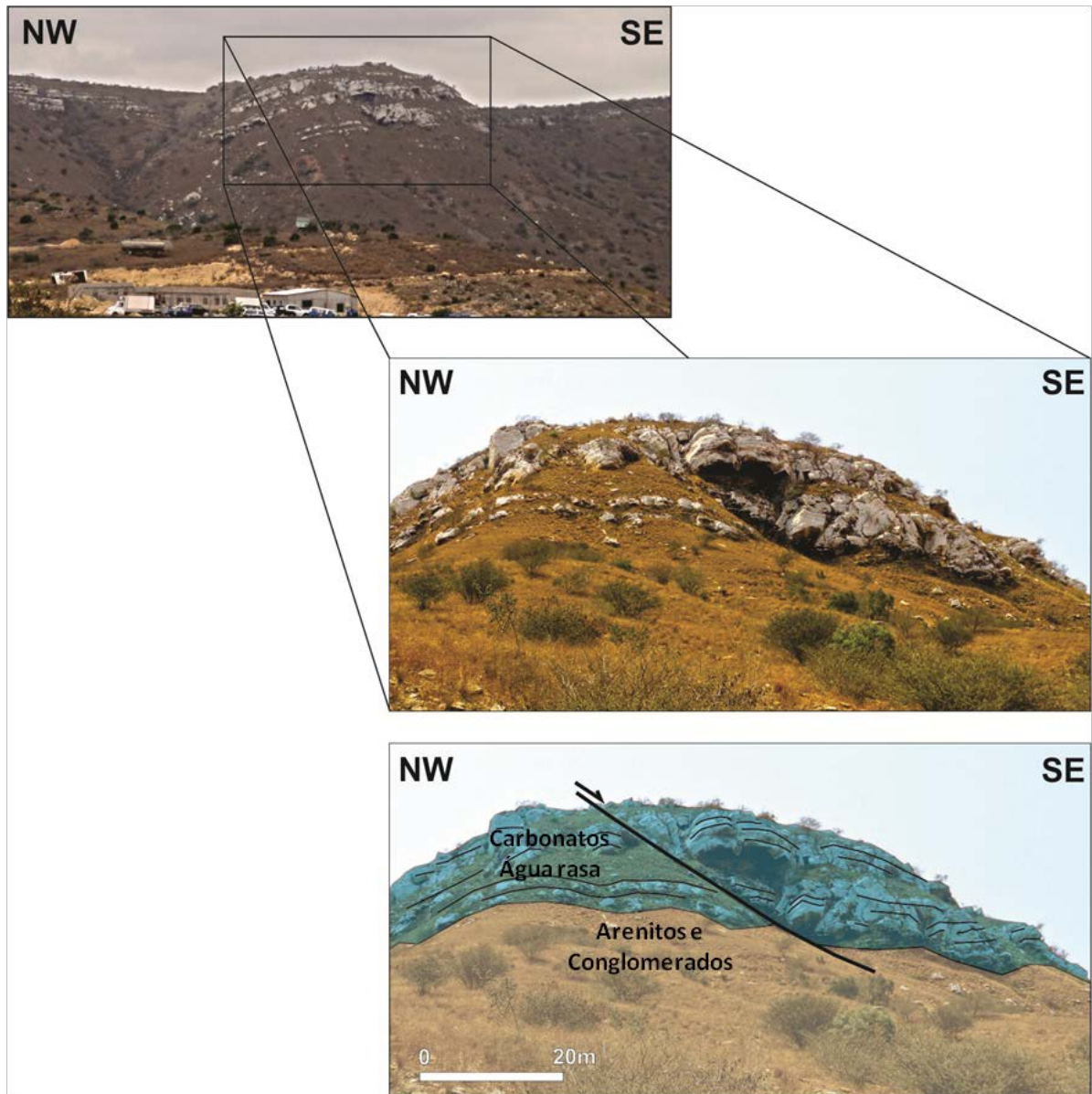


Figura 50 - Fotos de uma falha lítrica antitética afetando carbonatos da Formação Catumbela e conglomerados da Formação Tuenza, próximo à estrada EN-100.

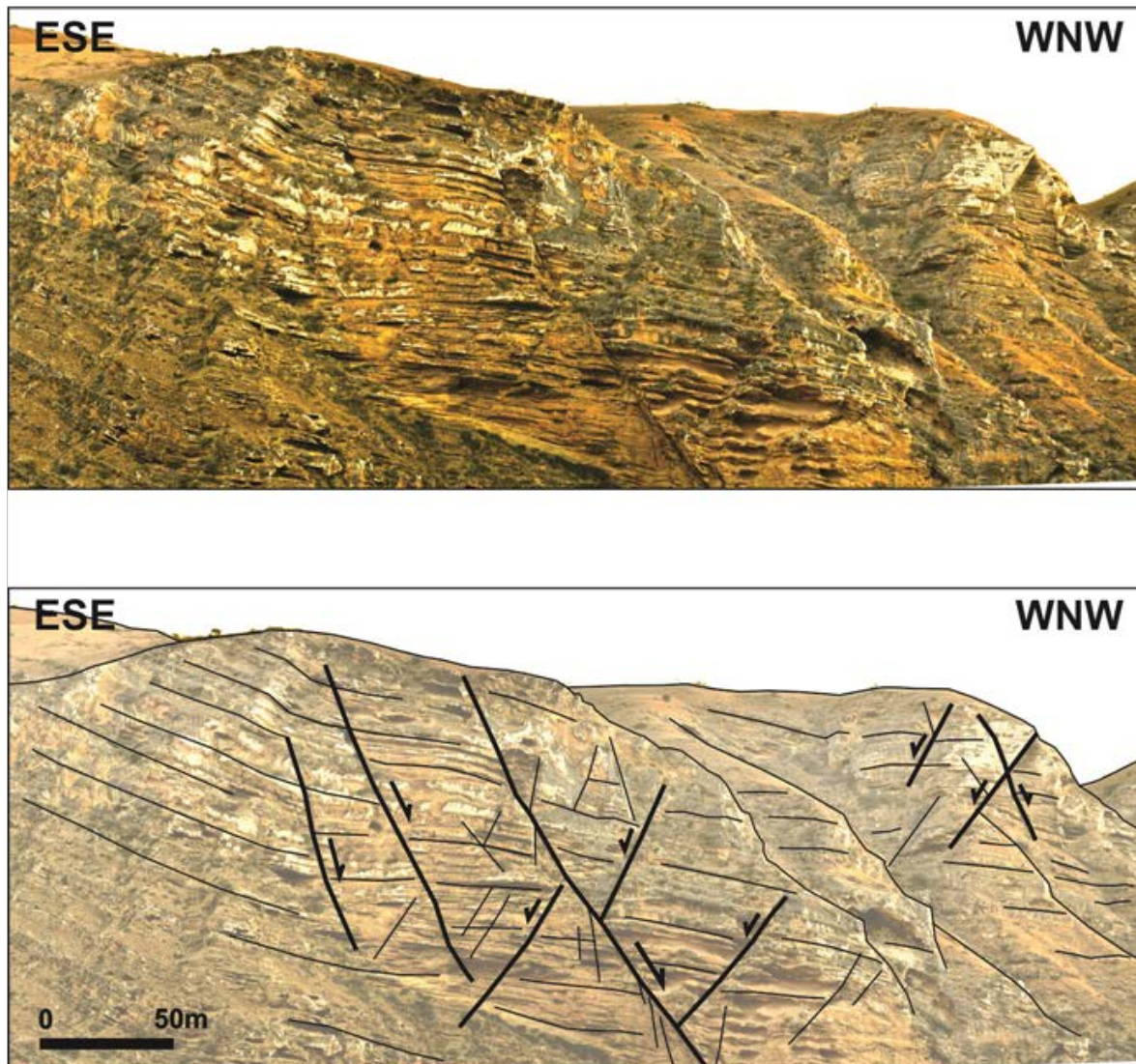


6.3.2.2 Falhas Normais Conjugadas

Estas são as estruturas mais abundantes na região do Catumbela, onde nos cortes favoravelmente orientados, a geometria conjugada é facilmente observada. Os melhores cortes se encontram nas paredes do cânion do Catumbela, a montante da Barragem (**Figura 51**). Estas estruturas se diferenciam das falhas lítricas principalmente pela maior frequência e pela geometria geralmente planar. A direção

NNW dessas falhas coincide com a direção das falhas lítricas antitéticas e, no estereograma da **Figura 45**, observa-se claramente o par conjugado formado nessa direção.

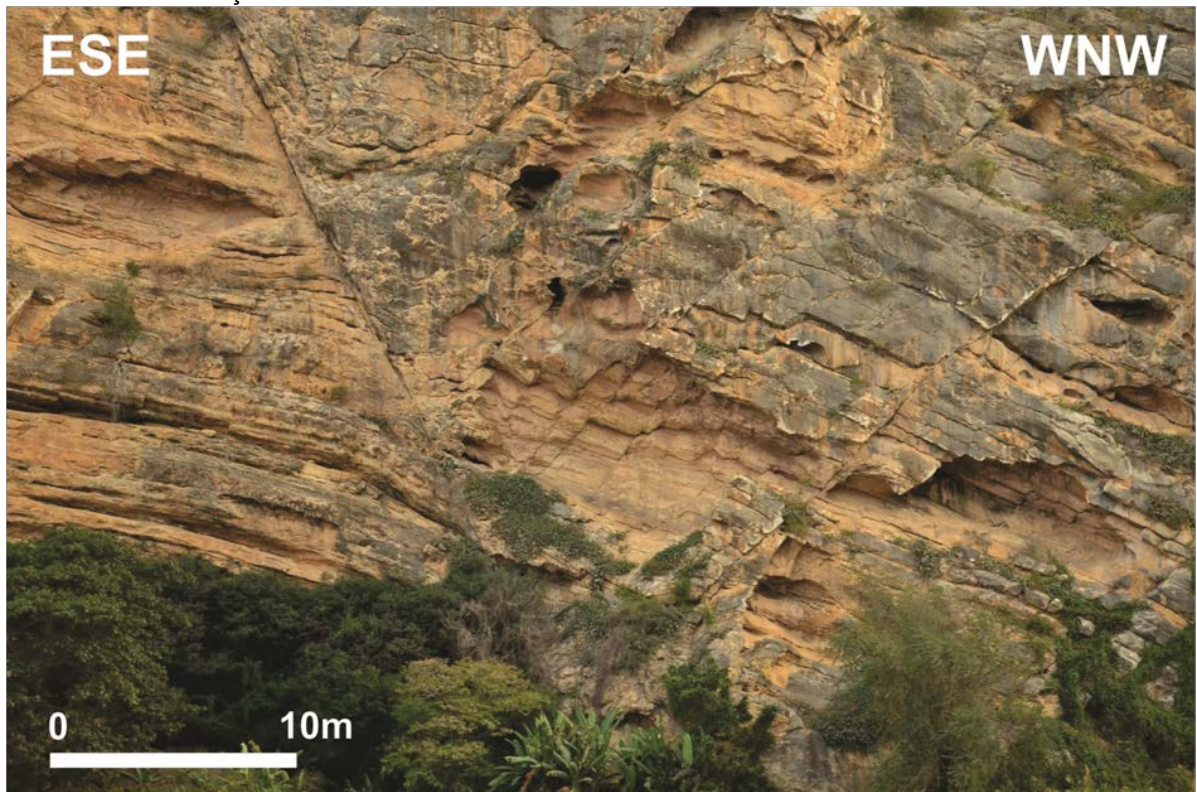
Figura 51 - Fotomosaico do paredão sul do cânion do Rio Catumbela mostrando as falhas conjugadas onde as mais desenvolvidas são as sintéticas, às quais as antitéticas são subordinadas.



O estereograma da **Figura 45** representa um maior número de planos com mergulho para WSW (falhas sintéticas). No entanto, em campo, se verifica que as falhas sintéticas desse grupo são menos frequentes e possuem rejeitos maiores em relação às antitéticas. O espaçamento entre as falhas sintéticas pode chegar a 100 m e os rejeitos, quando possíveis de serem medidos, são da ordem de poucos

metros. Já as antitéticas apresentam espaçamento métrico e rejeitos centimétricos (**Figura 52**). Em relação à geometria, as falhas conjugadas são geralmente planares, mas ocorrem também aquelas com superfície irregular, principalmente entre as sintéticas (**Figuras 49 e 50**).

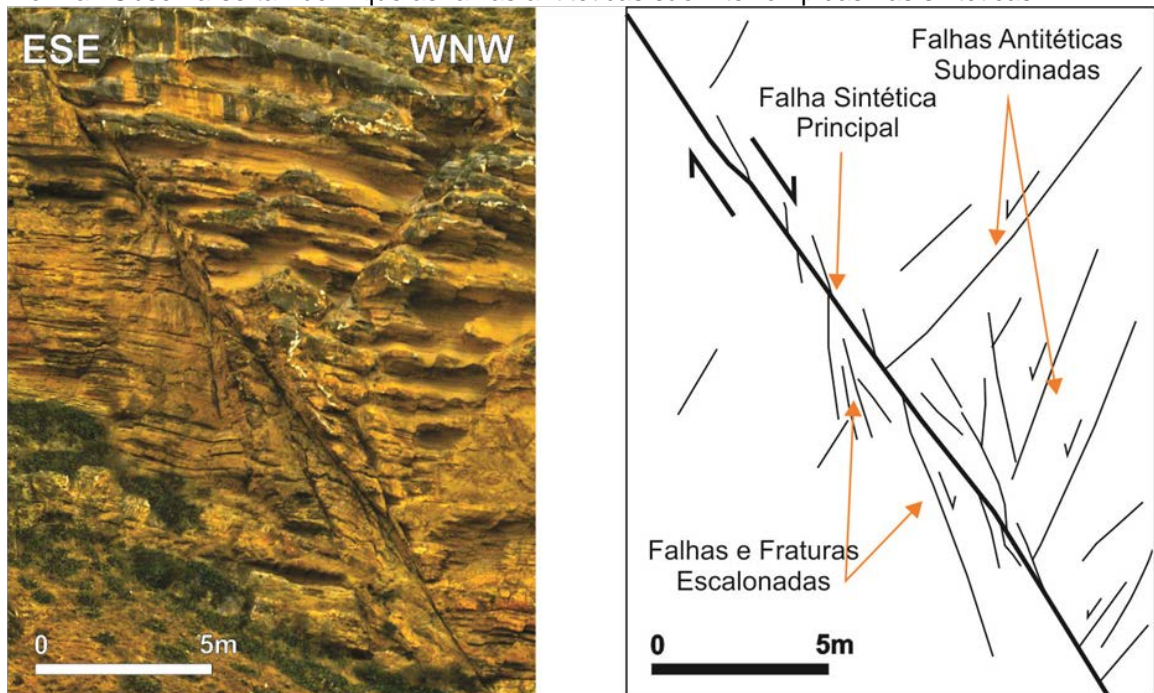
Figura 52 - Detalhe do paredão sul, onde se observa a maior frequência das falhas antitéticas em relação às sintéticas.



Fotografia: Michael Strugale.

Além das diferenças já mencionadas entre os dois grupos de falhas normais conjugadas, deve-se observar que apenas as falhas sintéticas apresentam feições de deformação por cisalhamento. Nas maiores, forma-se zona de dano, onde podem ser encontradas fraturas escalonadas que evidenciam movimento normal ao longo da falha principal (**Figura 53**). Nas **Figuras 52 e 53** nota-se, também, que as falhas conjugadas antitéticas terminam nas sintéticas, indicando que as primeiras são posteriores e se formam em consequência da acomodação da deformação no *hangingwall* da falha principal.

Figura 53 - Detalhe do paredão sul e croqui mostrando feições de cisalhamento na falha sintética com formação de zona de dano com falhas e fraturas escalonadas evidenciando o movimento normal. Observa-se também que as falhas antitéticas são interrompidas nas sintéticas.



Fotografia: Michael Strugale.

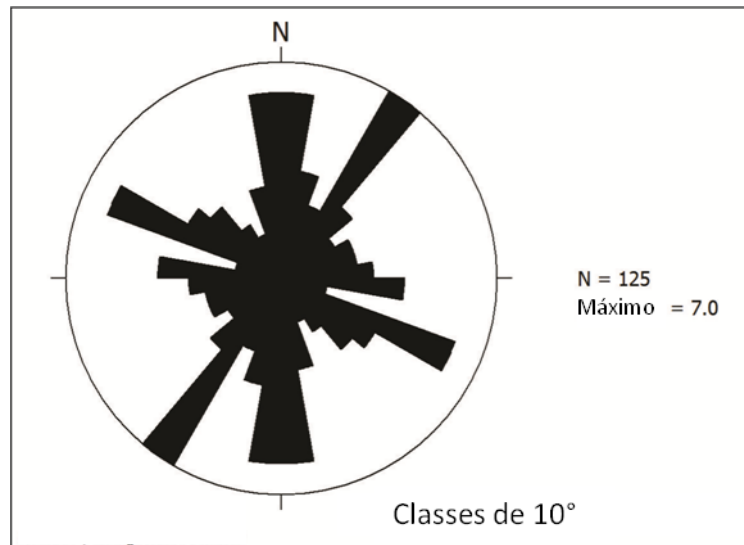
6.3.2.2.3 Fraturas Gerais e a Direção E - W

As medidas de fraturas indiferenciadas coletadas ao longo do Rio Catumbela evidenciam as maiores concentrações nas direções N – S, NNE, WNW e E – W, sendo esta última a menos repetitiva (**Figura 54**).

As fraturas N – S e NNE podem ser associadas às falhas lítricas gravitacionais. Sendo assim, elas estariam representando muitas falhas de pequeno rejeito responsáveis pela acomodação do cisalhamento interno, causado pela rotação dos estratos em resposta à movimentação ao longo da falha curva.

A direção WNW, é bastante consistente na roseta e poderia representar a direção de falhas de transferência associadas às falhas normais. Entretanto a ausência de rejeitos e de feições de cisalhamento ao longo dessas estruturas conduziu à conclusão de que esta direção corresponde a uma concentração de juntas extensionais.

Figura 54 - Roseta das medidas de fraturas coletadas no domínio norte da Bacia de Benguela.



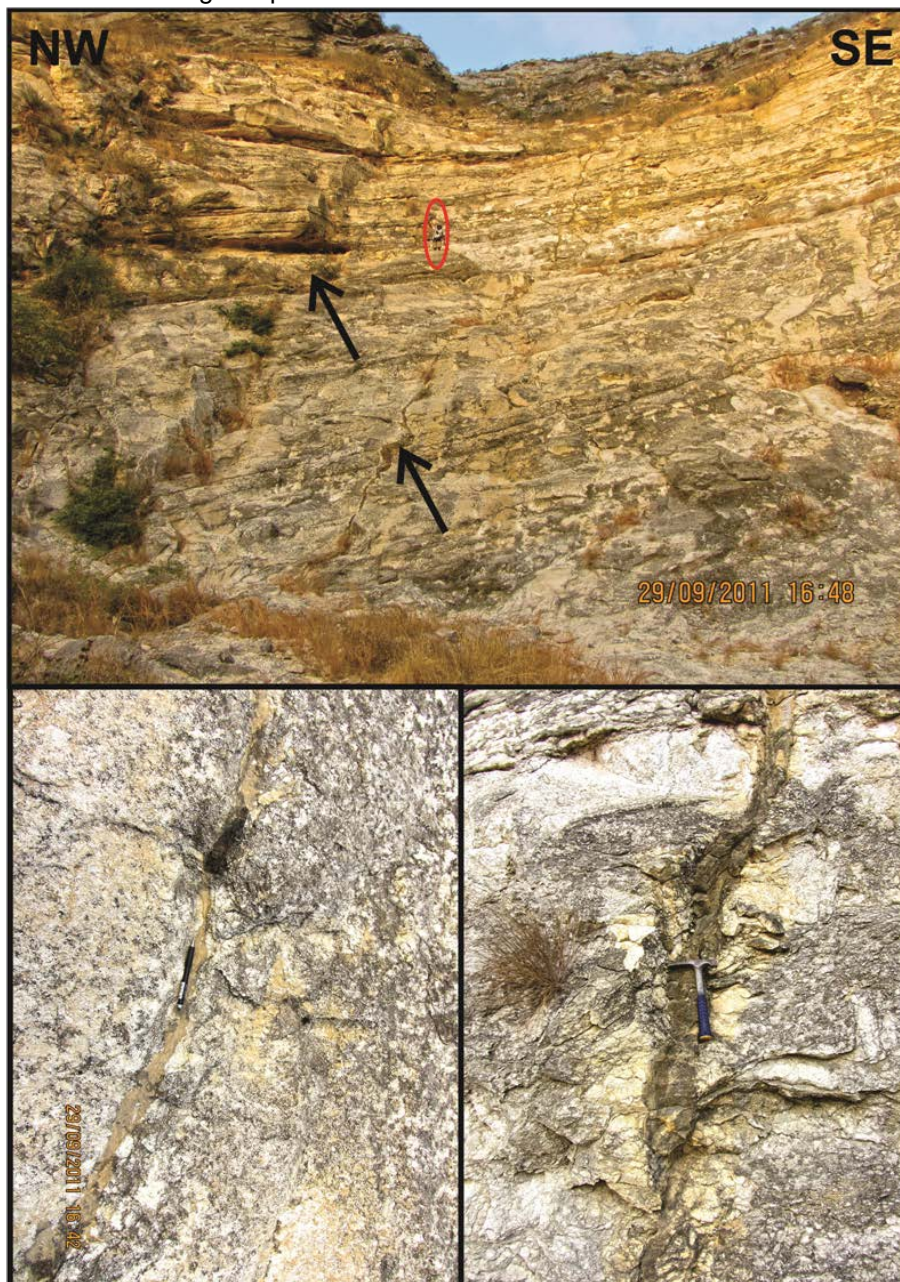
A direção E – W não é muito persistente, mas aparece nas imagens de satélite na forma de alinhamentos e traços de fratura dispersos, que controlam algumas escarpas do cânion do Rio Catumbela (**Figuras 46 e 55**). O próprio rio flui nessa direção e, na borda da bacia, há um deslocamento do limite bacia/embasamento ao longo do seu curso (**Figura 38**). Nos afloramentos, as estruturas E – W encontradas são abertas e irregulares, algumas preenchidas por rocha carbonática (**Figura 56**). Entretanto, a avaliação macroscópica dessa rocha não permite se concluir se a formação da fratura é concomitante à sedimentação ou se a rocha é produto de dissolução e precipitação durante a diagênese. Outra constatação importante acerca dessas fraturas é que as falhas antitéticas mais marcantes da área, e que são observadas na margem sul do rio, não o atravessam, terminando contra as estruturas de direção E – W. Neste caso essa direção parece ter funcionado como uma falha de transferência com movimento sinistral (**Figuras 40 e 46**).

Figura 55 - Fraturas verticais E – W controlando algumas escarpas do cânion do Rio Catumbela.



Fotografia: Michael Strugale.

Figura 56 - Fraturas E – W abertas e preenchidas por rocha carbonática. Elipse vermelha destaca o Geólogo Raphael Hatsushika como escala



6.4 Bacia de Benguela - Domínio Sul

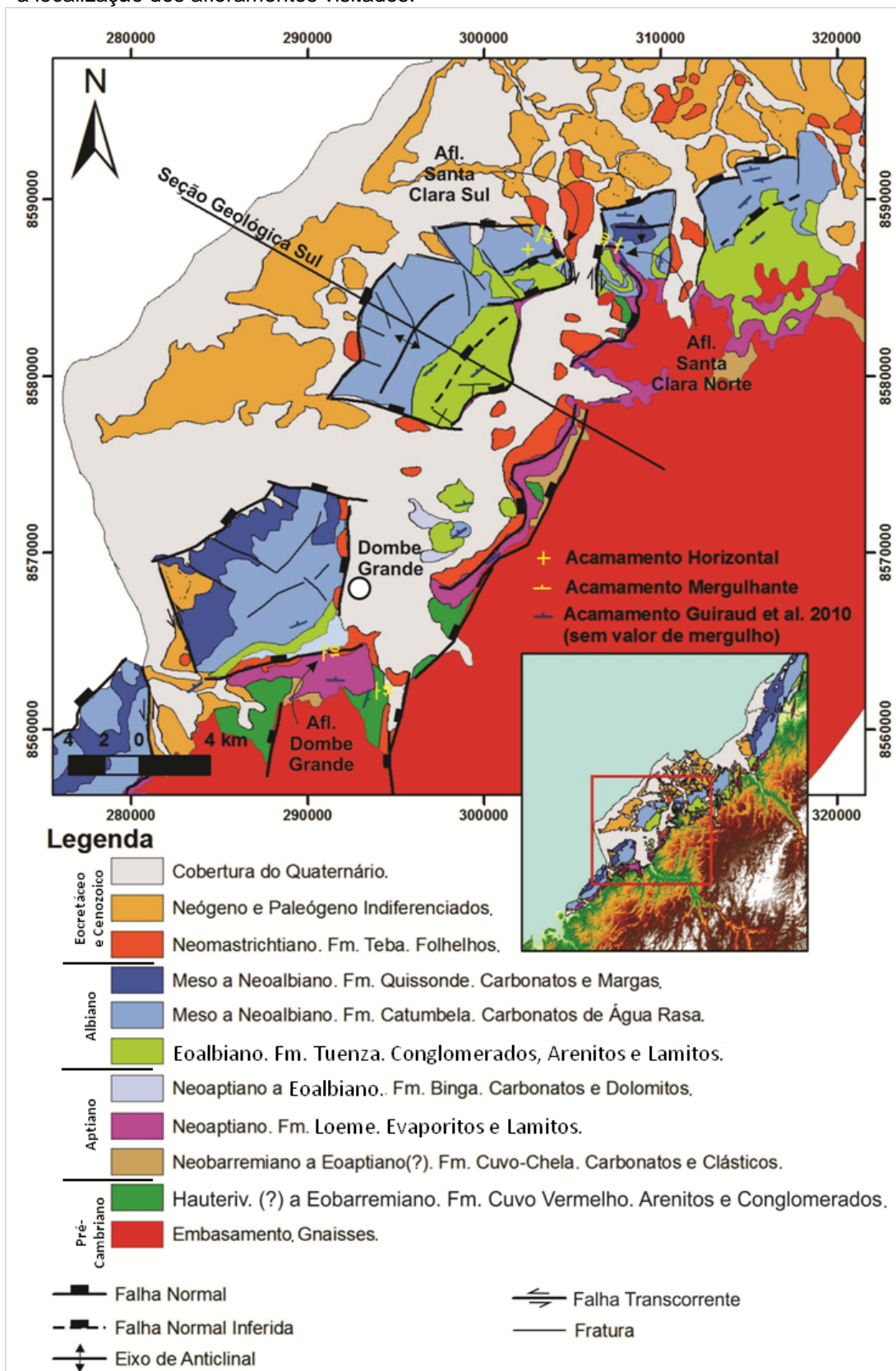
Devido à logística de campo e aos objetivos na excursão da Petrobras na qual foram coletados os dados para essa pesquisa, este domínio foi analisado por meio de perfis mais curtos e da coleta pontual de dados. Três localidades foram visitadas, em busca de dados para a caracterização da região onde a plataforma se encontra

fragmentada: O afloramento de Dombe Grande, o *raft* de Santa Clara Sul e o afloramento de Santa Clara Norte, todos com peculiaridades importantes para a compreensão da dinâmica que gerou a configuração estrutural da área (**Figura 57**). Essas áreas serão descritas separadamente e a **Figura 57** é uma síntese do que foi observado no campo, integrado às informações do trabalho de Guiraud et al. 2010.

6.4.1 Afloramento de Dombe Grande

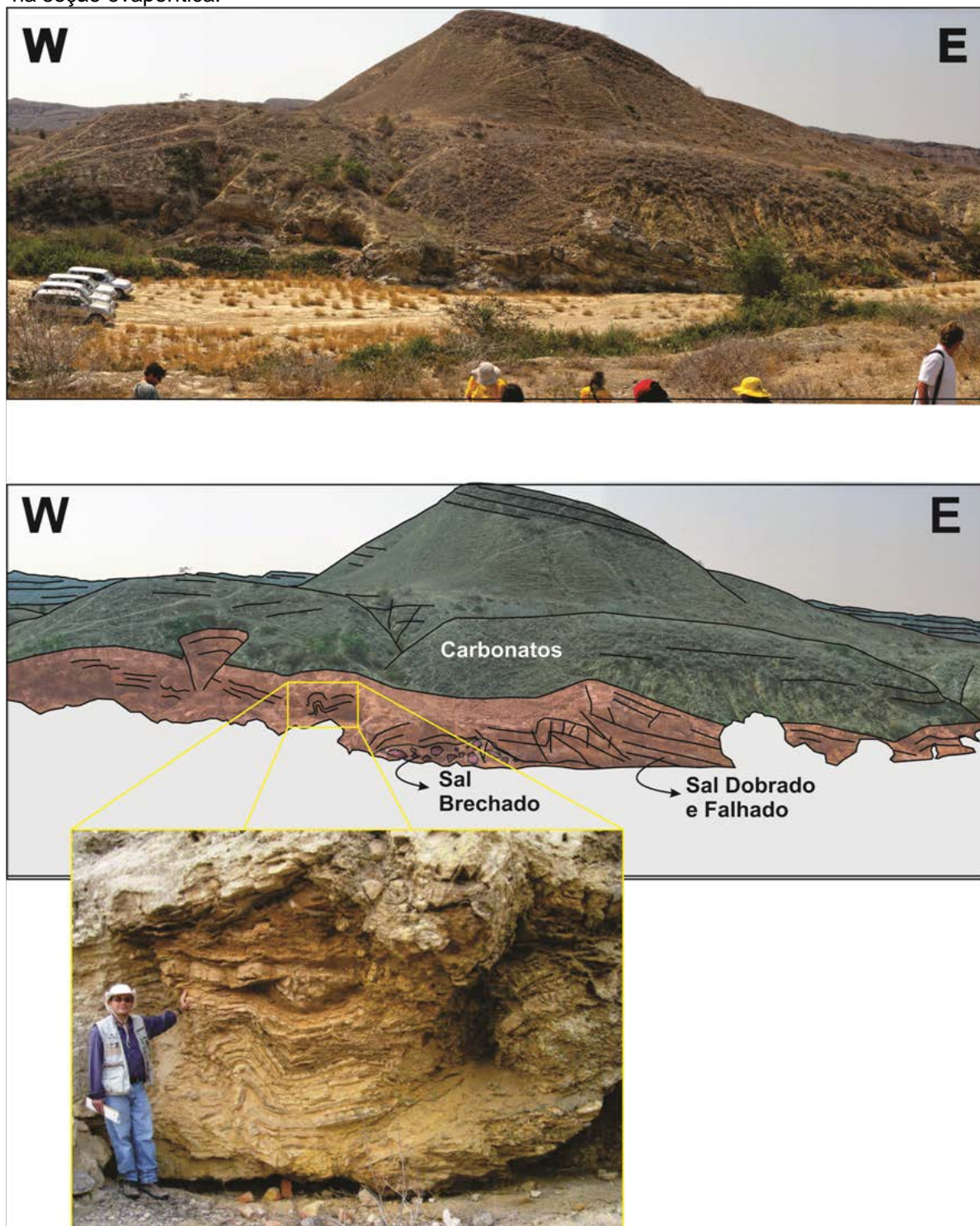
A sudeste do *Raft* de Dombe Grande, foi encontrada uma seção rica em gipsita, fortemente deformada, com dobras, falhas e zonas brechadas, abaixo dos carbonatos da plataforma, claramente menos deformados (**Figura 58**). Neste ponto, as camadas de sal, assim como as dos carbonatos acima, mergulham para o quadrante leste, como se pode observar na **Figura 58** e conforme as medidas coletadas em campo (047/30, no sal, e 090/10, nos carbonatos finos da Formação Binga). Vale ressaltar que neste afloramento o valor do mergulho do sal é bastante variável, embora sua direção sempre apresente um componente leste. Já os carbonatos apresentam mergulho mais constante e suave nessa direção.

Figura 57 - Mapa geológico e estrutural da área estudada na parte sul da Bacia de Benguela e a localização dos afloramentos visitados.



Fonte: Modificado de GUIRAUD et al, 2010.

Figura 58 - Afloramento de Dombe Grande. O fotomosaico mostra os carbonatos com mergulho suave para leste sobre evaporitos deformados, com dobras falhas e brechas. As estruturas nos evaporitos indicam vergência para o quadrante oeste. No detalhe, observa-se o intenso dobramento na seção evaporítica.



6.4.2 O Raft de Santa Clara Sul

O *Raft* de Sta Clara Sul se localiza aproximadamente 25 km a sul da cidade de Benguela e os trabalhos concentraram na porção NE dessa feição (**Figura 57**). Como pode ser observado no mapa da **Figura 57**, este fragmento da plataforma se encontra afastado do embasamento, de modo que as descrições se concentraram nas rochas da plataforma carbonática.

6.4.2.1 Estruturas da Plataforma

O panorama da **Figura 59**, que aparece em maior detalhe na **Figura 35** (Capítulo 5) é uma visada para oeste do *Raft* de Santa Clara, que consiste em um morro suave de cerca de 140 m de desnível, em relação à planície local. O caminhamento para o levantamento dos dados estruturais foi feito de norte para sul, ao longo dessa face da elevação, que corresponde ao seu extremo norte (**Figura 57**).

6.4.2.1.1 Acamamento

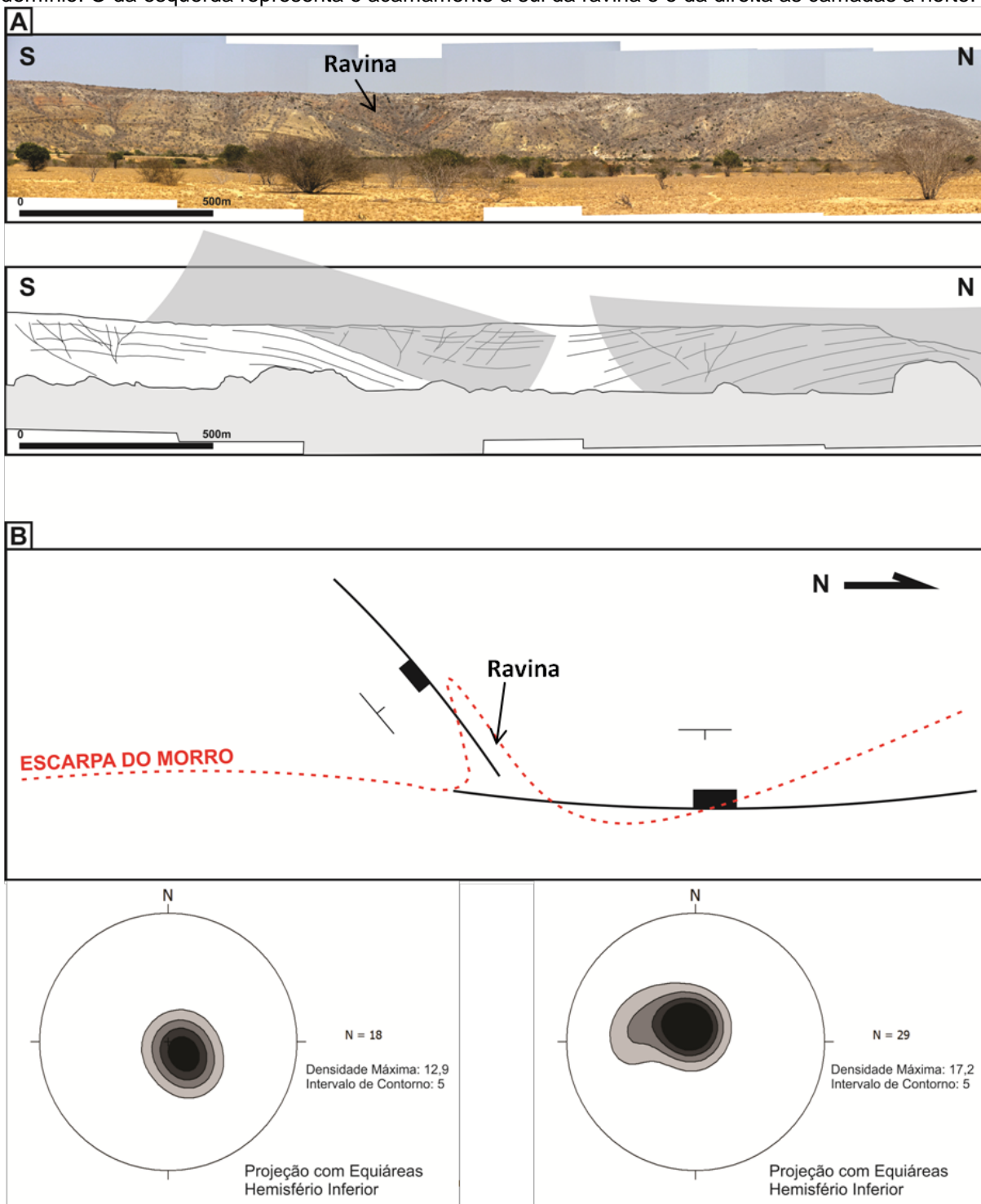
As medidas do acamamento mostram uma evidente variação de norte para sul, como se pode notar na **Figura 59**.

Na parte norte (a norte da ravina, **Figura 59**), o plano que representa a maior densidade de polos no estereograma mergulha suavemente para SSE, e essas medidas foram coletadas no topo da elevação. Ainda a norte da ravina, mas na base da elevação, os pólos do acamamento formam uma pequena guirlanda que mostra uma anticlinal suave com eixo caindo para SE configurando um nariz estrutural. Entretanto o mais marcante nesse ponto é que as camadas inferiores têm mergulhos mais fortes que as camadas do topo (**Figura 59B**).

Outra feição marcante dessa parte do morro é relativa ao valor dos mergulhos das camadas. Observa-se que as camadas da parte alta apresentam mergulhos mais suaves que as camadas da base e frequentemente horizontais.

A sul da ravina, onde as camadas mergulham entre 10° e 20° para W a NW, este padrão se repete, embora a variação seja menos pronunciada. Esta variação nos mergulhos dos estratos mais jovens para os mais antigos indica atividade tectônica concomitante com a deposição e provavelmente relacionada a falhas.

Figura 59 - (A) Panorama da face leste da parte norte do *Raft* de Santa Clara sul e croqui com as falhas interpretadas e o mergulho aparente das camadas. (B) Esquema em planta das falhas e do mergulho geral das camadas, juntamente com os estereogramas dos polos do acamamento em cada domínio. O da esquerda representa o acamamento a sul da ravina e o da direita as camadas a norte.



6.4.2.1.2 Falhas

As falhas que foram observadas na região de Santa Clara Sul, são todas com rejeito aparente centimétrico, não tendo sido verificadas diretamente estruturas de maior porte. As falhas que merecem algum destaque foram aquelas que formaram pares conjugados, permitindo alguma inferência sobre o campo de esforços atuantes no momento da sua formação. Dois desses pares foram registrados, ambos indicando um vetor de *stress* máximo próximo da vertical. Um deles é formado por planos com atitudes 257/51 e 016/72 o outro consiste em planos com atitude 330/54 e 160/75, sendo que neste último as fraturas são preenchidas rocha carbonática (**Figura 60**).

Foram registradas também duas zonas brechadas, uma vertical (276/90) e outra com inclinação forte (093/72) distando 2 m uma da outra e com a mesma direção (N – S). A zona brechada vertical apresenta aproximadamente 40 cm de largura e é preenchida por fragmentos da encaixante angulosos e de tamanhos variados (**Figura 61**). A inclinada para leste apresenta um espaçamento entre as paredes de 10 a 20 cm onde é marcante o preenchimento por delgados estratos de carbonato inclinados que podem indicar que este preenchimento se deu durante o movimento dessa falha e que o bloco de leste desceu em relação ao de oeste (**Figura 61**).

Figura 60 - Falhas formando pares cisalhantes. Quadrado vermelho indica projeção do vetor de maior esforço (σ_1), próximo à verticalidade nos dois casos.

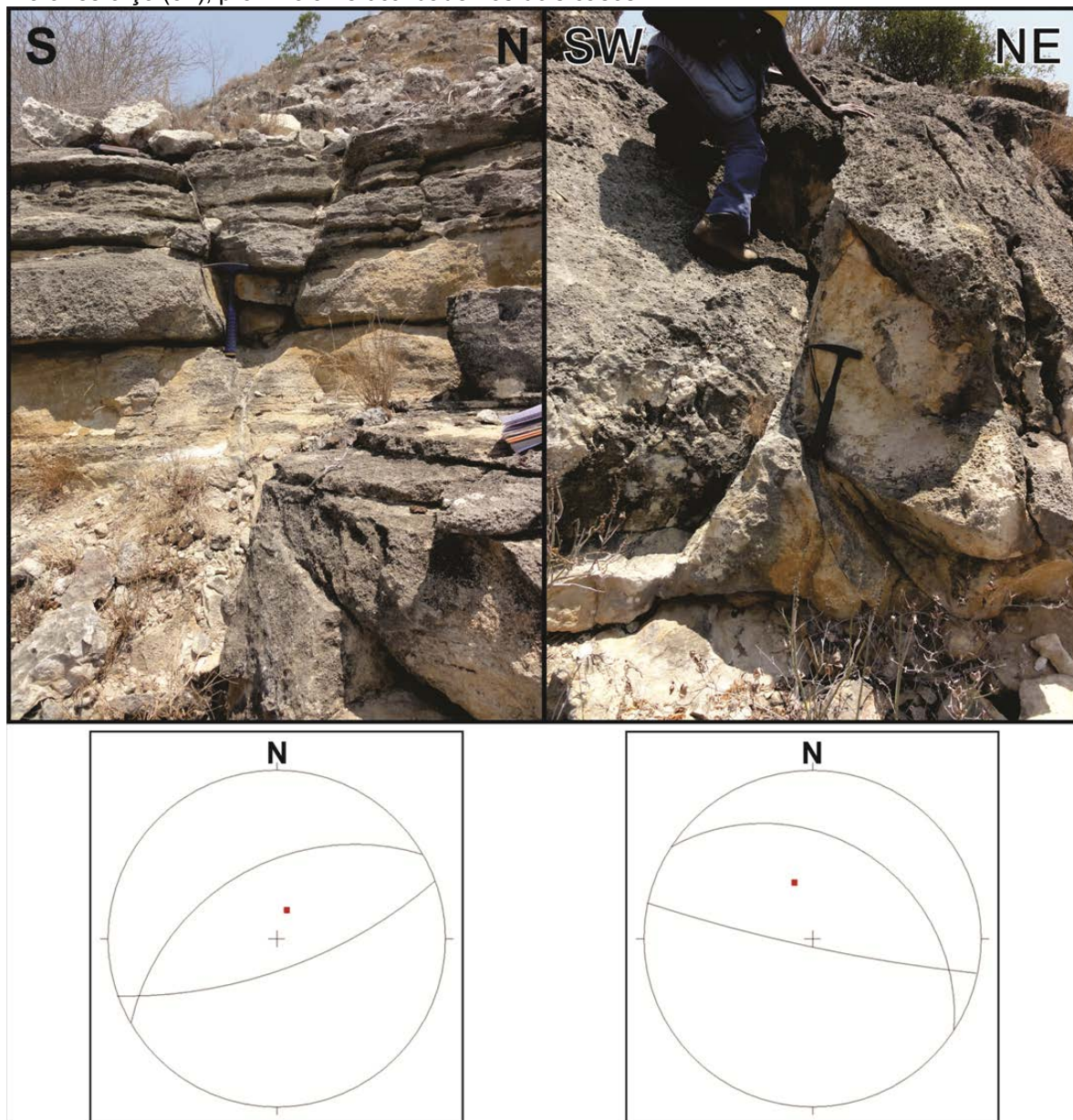
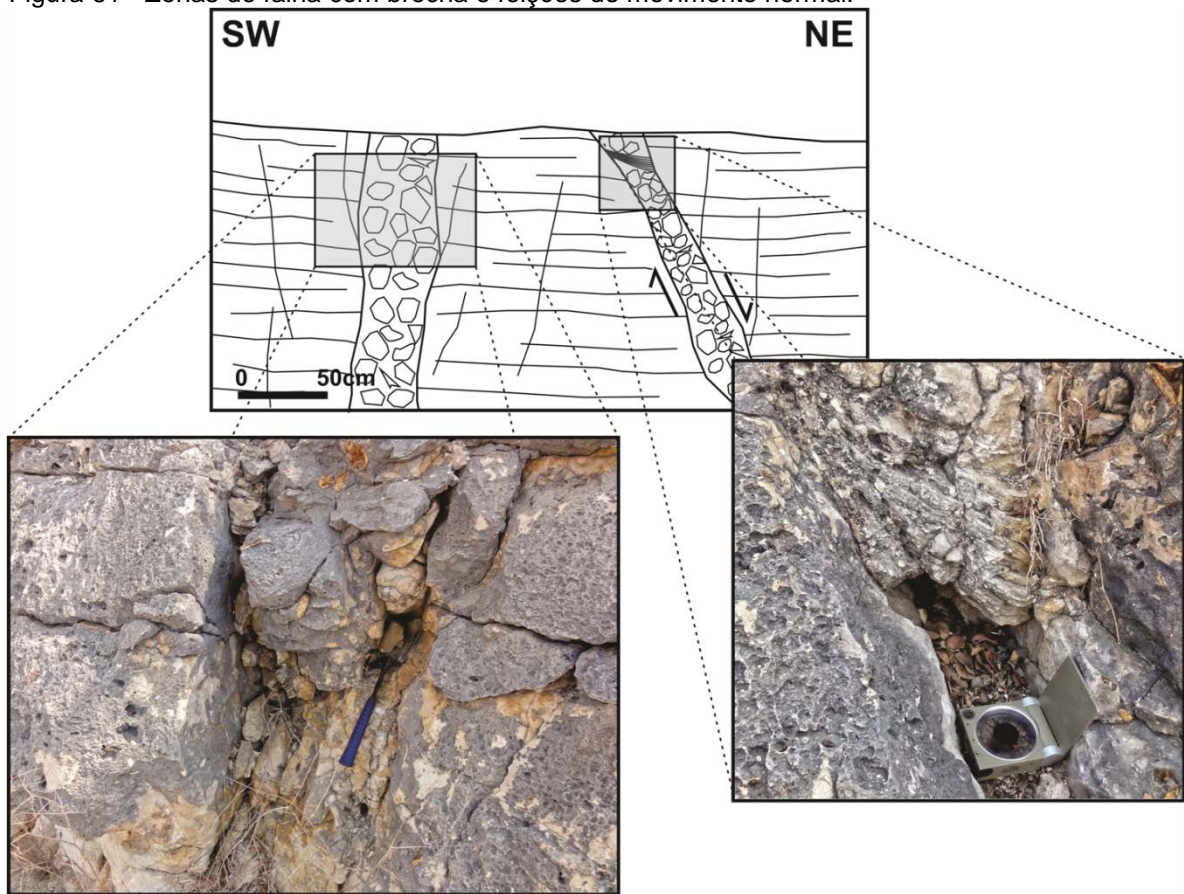


Figura 61 - Zonas de falha com brecha e feições de movimento normal.

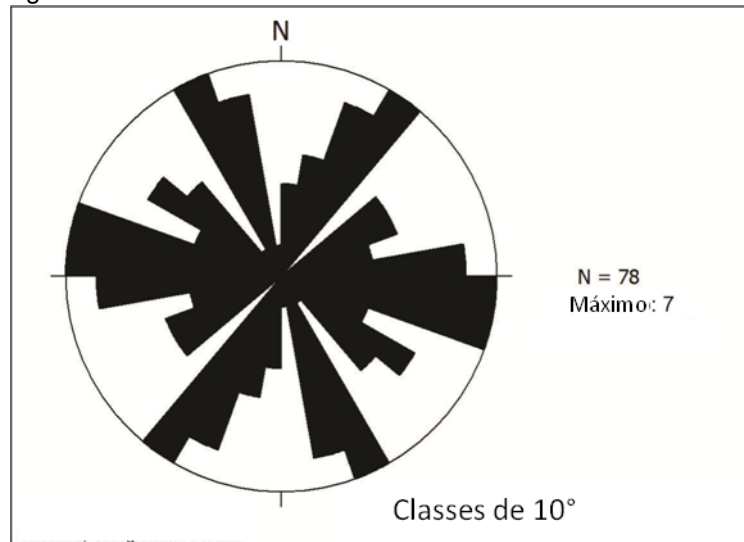


As marcantes variações no mergulho do acamamento ao longo do caminhamento apontam para a atuação de falhas maiores que não foram diretamente medidas. Considerando-se um estilo estrutural com a formação de falhas gravitacionais descoladas no pacote evaporítico, pode-se aventar a possibilidade de os estratos inferiores e com maiores mergulhos estarem rotacionados na zona de *roll-over* de falhas lítricas. Nessas estruturas, as camadas tendem a mergulhar em direção à falha que as rotacionou, de modo que os estratos inclinados para NW, da parte sul, estariam sob a influência de uma falha de direção aproximadamente NE, com *hangingwall* para SE. Já os estratos de norte, que mergulham para leste evidenciarão a atuação de uma falha de direção aproximadamente N – S, com mergulho para W, sendo, portanto, uma falha sintética (**Figura 59**). Os estratos superiores sub-horizontais indicam que o movimento ao longo dessas falhas cessou ainda durante a deposição dos carbonatos.

6.4.2.1.3 Fraturas Gerais

A roseta das fraturas indiferenciadas coletadas no *Raft* de Santa Clara Sul mostra um espalhamento marcante de suas direções (**Figura 62**). Ainda assim, podem-se destacar as direções E – W a WNW, NNE e NNW como aquelas que representam as direções preferenciais para a formação dessas estruturas.

Figura 62: Roseta das fraturas medidas do *Raft* de Santa Clara Sul.



As direções com maior frequência de fraturas não condizem com as das poucas falhas medidas em campo, embora as direções destas estruturas possam ser contempladas em pétalas menores, como as alinhadas a NE e NW, que coincidem com as direções dos pares conjugados de falhas, comentados acima.

Outra observação interessante é que a direção N – S, mais representativa dos lineamentos do embasamento correspondente ao domínio sul, não aparece na roseta das fraturas da cobertura no *Raft* de Santa Clara Sul (**Figura 37 e 62**). Embora direções menos importantes do embasamento como a WNW, sejam claras na plataforma, a ausência total da direção N – S pode ser indicativa do desacoplamento da deformação da cobertura em relação à deformação do embasamento.

6.4.3 Afloramento de Santa Clara Norte

Este afloramento é mais próximo da borda da bacia e o que é marcante nessa área é o comportamento da seção evaporítica. Ali, se encontra um morro de aproximadamente 60 m de altura composto principalmente por gipsita que se intercala com pelitos e carbonatos finos em estratos métricos a centimétricos horizontais, praticamente sem deformação (**Figura 63**). Cerca de 200 m a oeste, encontram-se rochas deformadas, com estratos inclinados, dobras e estruturas compressivas, mostrando que o morro se encontra preservado da deformação por estar isolado por falhas.

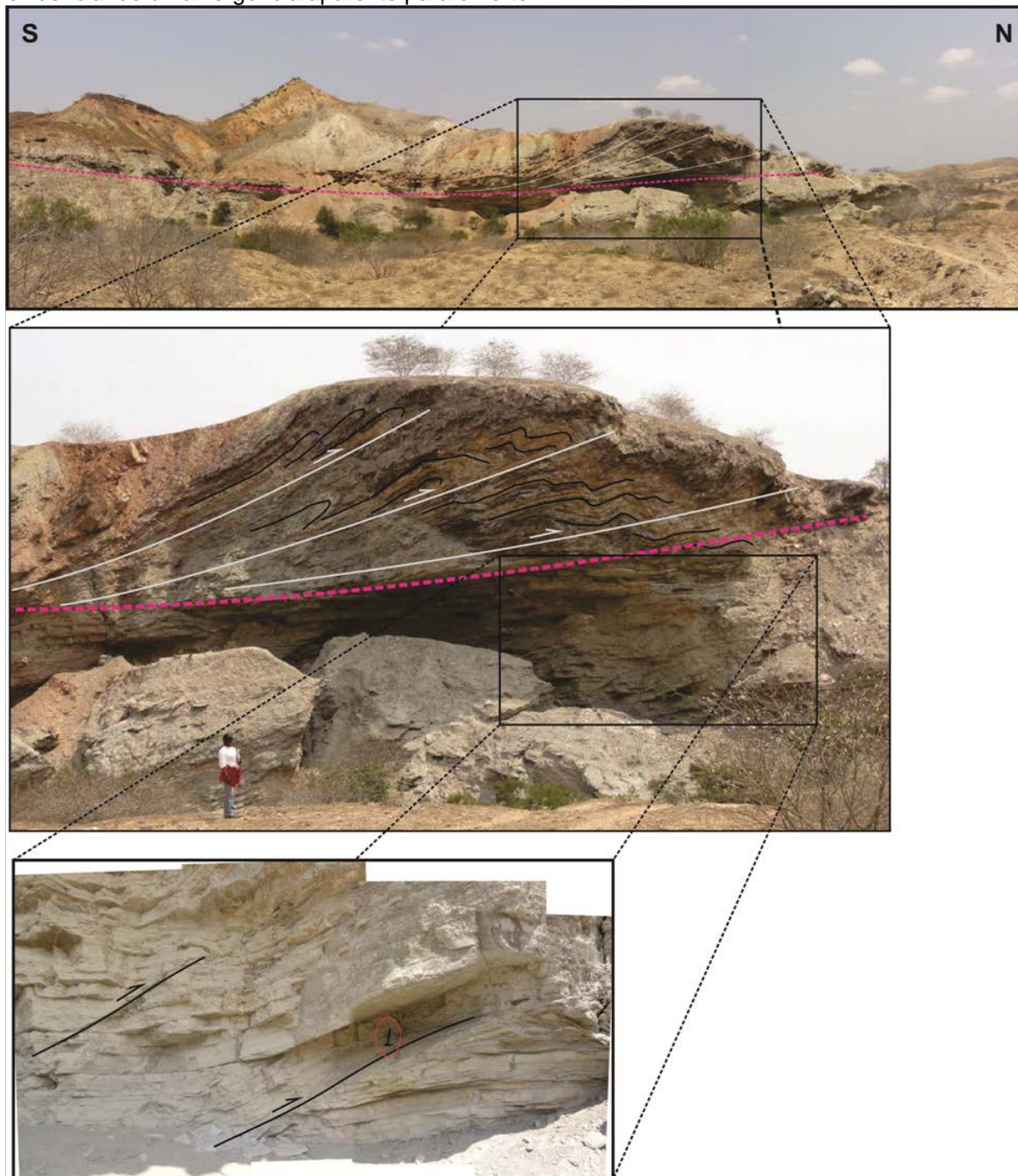
No afloramento onde se encontram as estruturas compressivas (**Figura 64**), observam-se falhas reversas de baixo ângulo, descoladas em uma superfície e que geram um sistema de cavalgamento responsável pelo espessamento da camada de sal. A deformação na seção evaporítica juntamente com os pelitos intercalados, forma dobras assimétricas frequentemente transpostas por falhas reversas, nas camadas mais ricas em gipsita e falhas reversas nos estratos mais pelíticos, configurando um regime de deformação dúctil-ruptil.

As falhas medidas na camada rúptil têm mergulho geral para sul e as estrias contidas nesses planos têm caimentos suaves (8 a 10°) para SE (**Figura 65**). Dada a natureza compressiva da deformação no local, evidenciada principalmente pelos cavalgamentos nas camadas evaporíticas e pelas falhas reversas, conclui-se que o transporte de massa naquele local é para NW e que a falha apresenta também uma componente direcional dextral.

Figura 63 - Escarpa de aproximadamente rica em gipsita e com intercalações da carbonatos finos e pelitos. Os estratos não apresentam deformação. Ao fundo, a localização de uma feição compressiva na seção evaporítica.



Figura 64: Feição compressiva na seção evaporítica no afloramento de Santa Clara Norte. Observa-se uma superfície de descolamento (em rosa), dobras assimétricas e falhas de empurrão, evidenciando uma vergência aparente para o norte.



A ocorrência dessa estrutura compressiva se dá devido à tendência dos evaporitos, relativamente dúcteis, se movimentarem em direção ao interior da bacia. A gipsita, apesar de mais plástica que as intercalações de pelitos e carbonatos, não é um evaporito solúvel como a halita, em que as falhas que se formam logo desaparecem por processo de dissolução e reprecipitação. Por ser um mineral

insolúvel, as falhas que se formam na gipsita tendem a se preservar, mesmo quando expostas na superfície. Além disso, as intercalações pelíticas conferem uma resistência ainda maior ao fluxo do pacote como um todo e à sua deformação interna, induzindo à formação de falhas internas que acomodem essa deformação.

Figura 65 - Fotos das estrias contidas nos planos de falha e estereograma mostrando os círculos máximos dessas falhas projetados no hemisfério inferior. As estrias indicam que o transporte de massa é para NW

