

6 GEOLOGIA ESTRUTURAL DA PARTE EMERSA DA BACIA DE BENGUELA

A descrição e a análise estruturais aqui apresentadas foram feitas com vistas a se compreender os mecanismos que levaram à formação dos dois domínios estruturais da plataforma albiana na parte emersa da Bacia de Benguela (Figura 3).

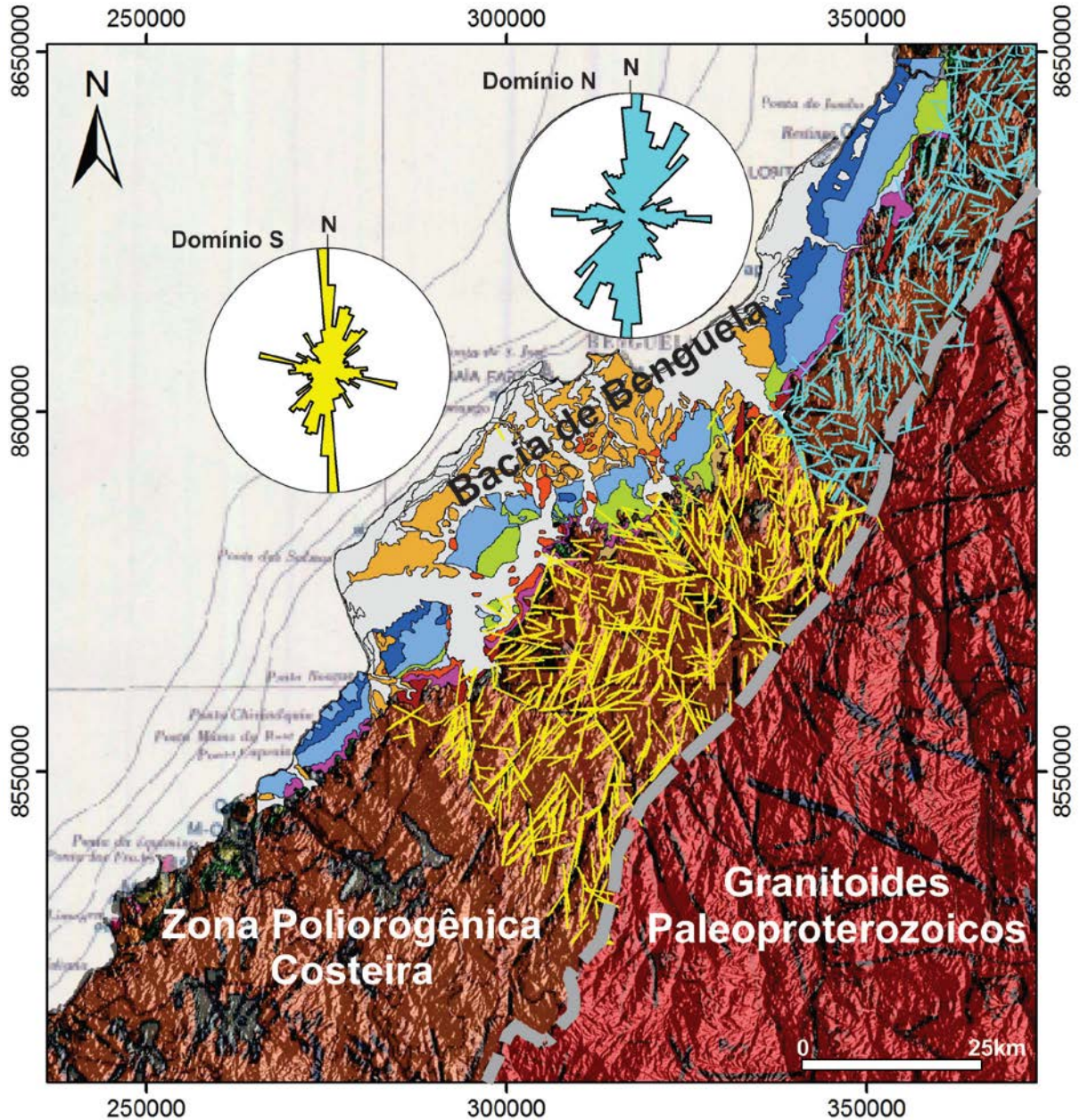
Na área, foram encontradas e documentadas falhas, juntas, bandas de deformação, veios, estrias, foliações metamórficas e estruturas halocinéticas. Primeiro, serão apresentadas as estruturas do embasamento. Em seguida, as estruturas de cada um dos domínios estruturais da cobertura sedimentar serão descritas e analisadas separadamente, devendo-se ter em mente que a maior densidade de dados se encontra no domínio norte. Por último, serão feitas as considerações sobre as possíveis causas das diferenças estruturais entre as duas regiões.

6.1 Embasamento

Com objetivo de caracterizar o embasamento adjacente à área de estudo, foi feito um trabalho em duas frentes. Uma consistiu na análise dos lineamentos da Zona Poliorogênica Costeira, extraídos a partir de imagens SRTM conforme método descrito no Capítulo 1, e outra consistiu na análise das medidas de campo coletadas nos gnaisses próximos ao domínio norte da bacia.

A análise dos lineamentos do embasamento foi feita separadamente nos dois domínios da bacia, com o intuito de se investigar possíveis diferenças que poderiam estar relacionadas à compartimentação da plataforma albiana (**Figura 36**).

Figura 36 - Geologia da área de estudo e do embasamento adjacente sobre imagem SRTM. Os lineamentos foram extraídos separadamente em cada um dos domínios estruturais da plataforma albiana (azul e verde), sobre o terreno da Zona Poliorogênica Costeira, que constitui o embasamento da bacia. Rosetas representam a frequência das direções dos lineamentos em cada região



Fonte: Compilado de: Guiraud et al., 2010; Mapa geológico de Angola

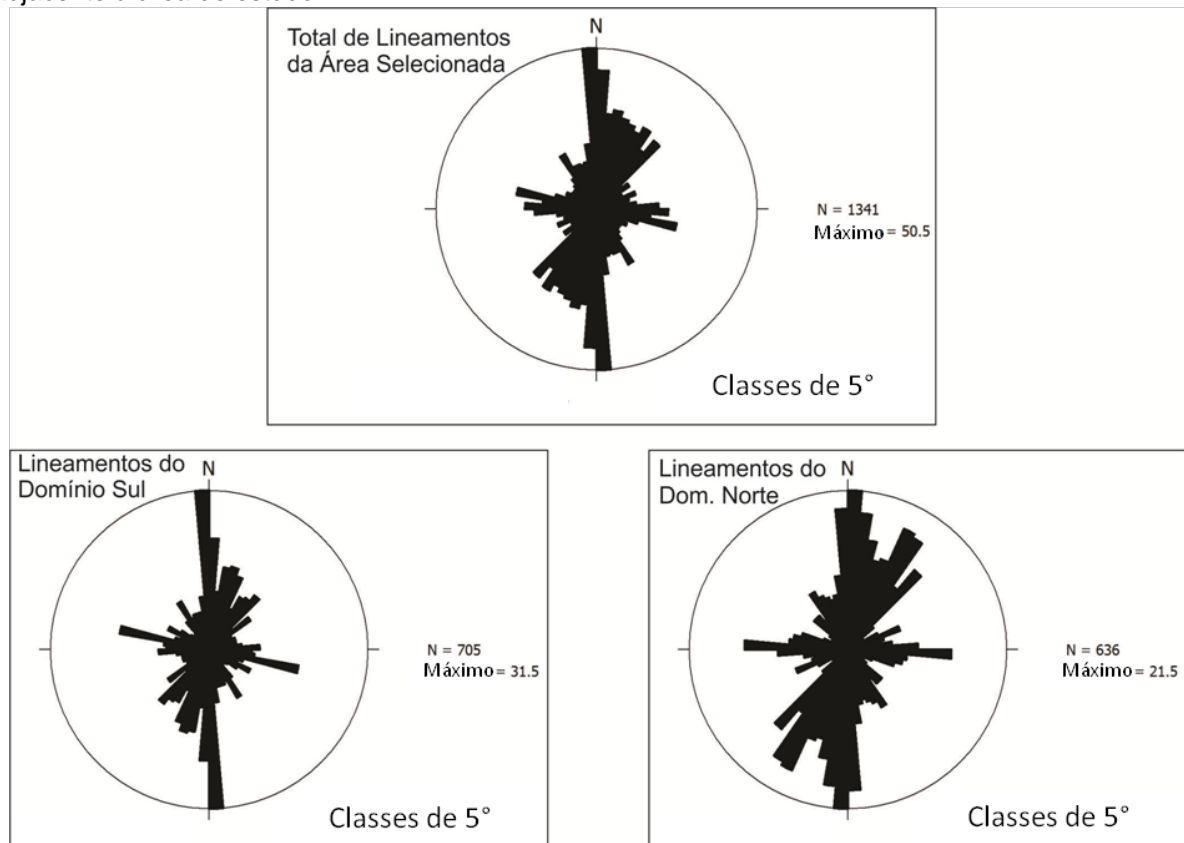
A **Figura 37** mostra as rosetas dos lineamentos da área da Zona Poliorogênica Costeira correspondente à área estudada da bacia.

A roseta que representa o total dos lineamentos mostra uma maior concentração na direção N – S. No setor formado entre esta direção e a direção NE, há também um volume marcante de medidas. Na direção E – W observa-se uma

população importante, com uma tendência para a direção WNW. Na direção NW existe uma concentração, embora menor que as demais, bastante consistente.

Na roseta do domínio sul, assim como na do total das medidas, a direção mais marcante é a N – S, com um espalhamento também semelhante na direção NE, observando-se ainda o pequeno mas consistente agrupamento de lineamentos NW. Outra concentração importante se encontra na direção WNW e nota-se também que a direção E – W é pouco representativa.

Figura 37 - Representação gráfica da frequência das direções dos lineamentos no embasamento adjacente à área de estudo.



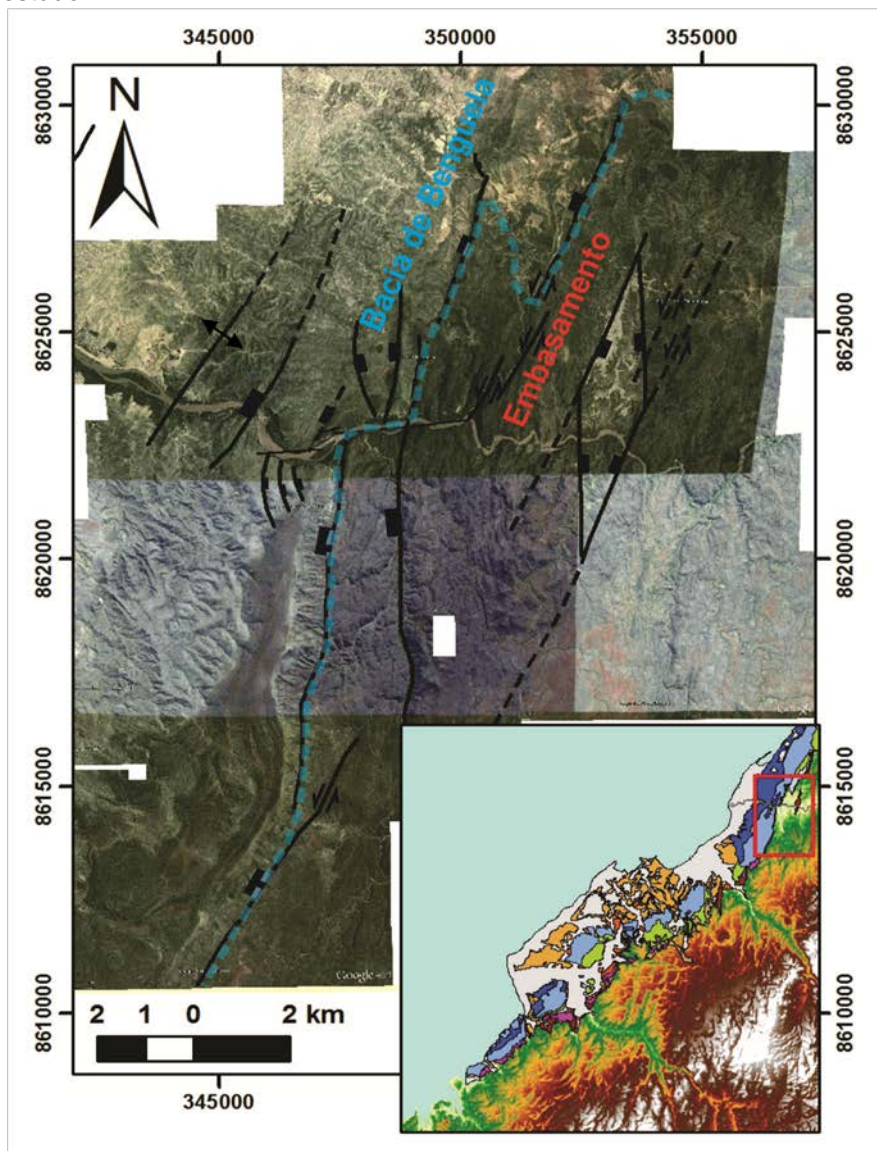
Na roseta do domínio norte, assim como na do sul, a maior concentração de lineamentos N – S e o espalhamento na direção NE também estão presentes. Outra direção coincidente entre os dois domínios é a NW, com uma população relativamente pequena, mas consistente nessa direção. Em contraste com o domínio sul, no norte a direção NE é mais representativa, mostrando uma concentração de

medidas na direção N30°-45°E. Adicionalmente, neste domínio a direção E – W é bem evidente e a direção WNW, observada no sul, não ocorre.

Na imagem de satélite de alta resolução obtida do Google Earth da parte norte, os lineamentos mais marcantes são o de direção NNW a NNE e NE (**Figura 38**). A primeira dessas direções controla o alinhamento e o desvio de algumas drenagens, o limite da leste da bacia e os limites leste e oeste de um graben romboédrico ocupado, segundo Guiraud et al. (2010), por rochas da fase rifte. Nesse graben, assim como nos limites da bacia e nos lineamentos mais contínuos e profundos, essa direção foi interpretada como falhas normais da fase rifte. Os limites norte e sul do graben se alinham na direção NE e são interpretados como falhas transtensionais sinistrais. Nesta direção ocorrem também cristas e drenagens alinhadas.

Subordinadamente às direções mais repetitivas comentadas acima, ocorrem lineamentos E – W, cuja principal feição é o alinhamento de um trecho do Rio Catumbela e algumas escarpas do cânion desse rio (**Figura 38**). Ao longo do trecho E – W do rio, observa-se um deslocamento do limite da bacia que, a norte, se encontra recuado para leste (**Figura 38**). Entretanto, em campo observa-se que o embasamento exposto a sul se encontra na mesma cota dos gnaisses que a norte se encontram cobertos pelas rochas da bacia. Dessa forma, interpreta-se que o deslocamento do limite da bacia se trata de uma feição erosiva, não havendo indicação de cisalhamento direcional ao longo desse lineamento.

Figura 38 - Detalhe do arcabouço estrutural do embasamento adjacente ao norte da área de estudo.



Legenda

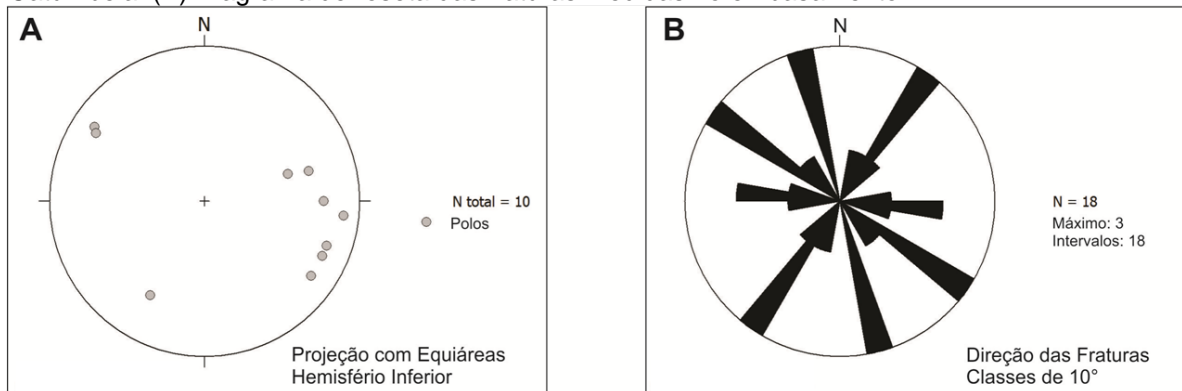
- | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| Falha Normal | Falha Transcorrente |
| Falha Normal Inferida | Falha Transcorrente Inferida |
| Eixo de Anticlinal | Fratura |
| Eixo de Anticlinal Inferido | Limite Bacia de Benguela/Embasamento |

6.2 Medidas de Campo

Em campo, foram coletadas medidas de fraturas e foliação tectônica nos gnaisses do embasamento.

As medidas de foliação coletadas nesses gnaisses mostram que a direção dessas estruturas varia entre NNE e NNW, geralmente com mergulhos superiores a 70° para o quadrante oeste (**Figura 39A**). Esta direção foi verificada com muita consistência nos lineamentos do embasamento e parece ter controlado a formação das principais falhas normais da fase rifte.

Figura 39 - (A) Estereograma dos polos da foliação tectônica do embasamento próximo ao Rio Catumbela. (B) Diagrama de roseta das fraturas medidas no embasamento.

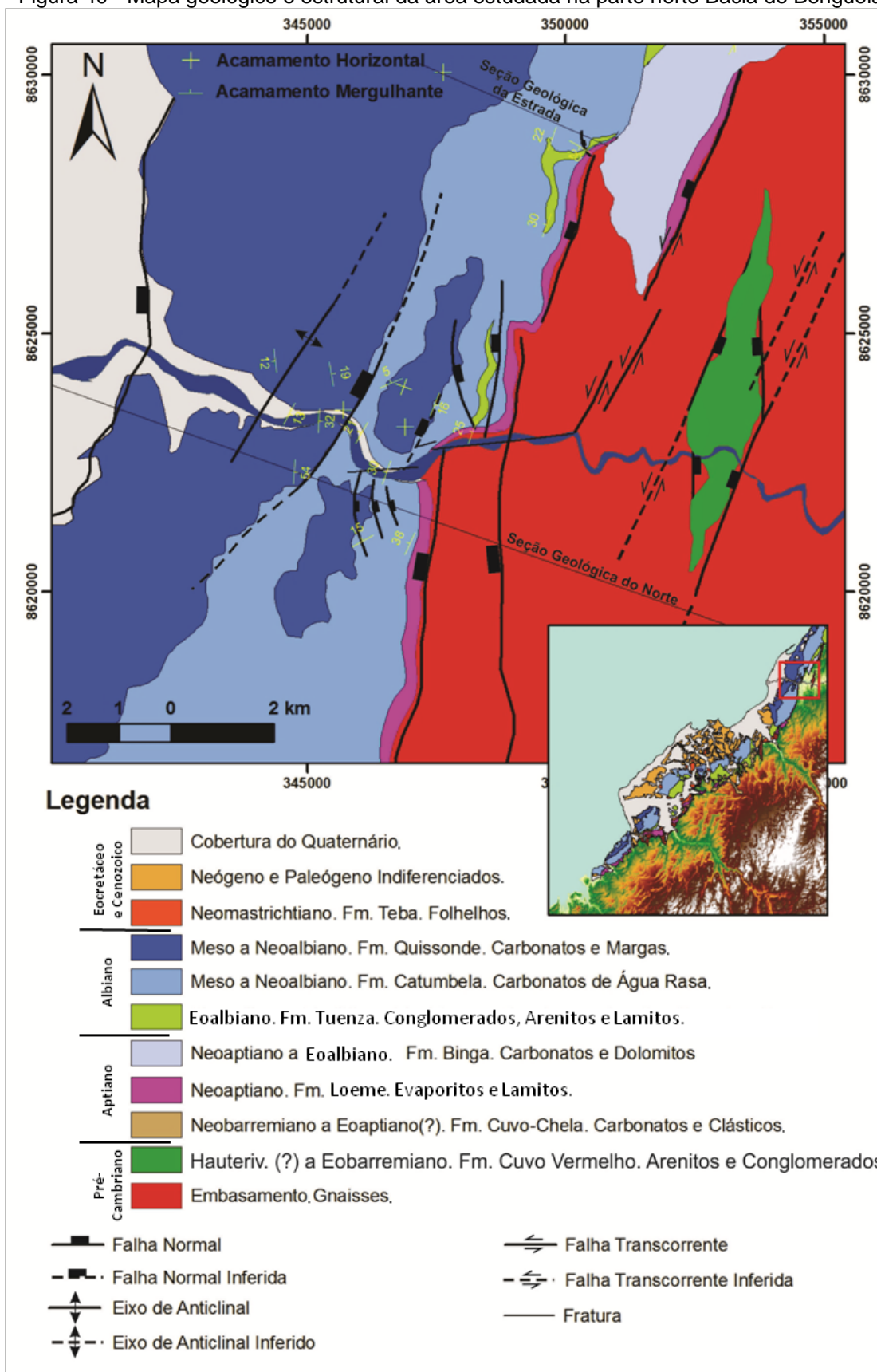


Ainda no domínio do embasamento, foram coletadas algumas medidas de fraturas ao longo das quais não foi observado cisalhamento, de modo que a maioria delas deve consistir em juntas de tração. As maiores frequências se posicionam nas pétalas de direção N30-40E, N10-20W e N50-60W. A pétala N80-90W também mostra uma concentração de fraturas, embora menos representativa que as demais (**Figura 39B**).

6.3 Bacia de Benguela - Domínio Norte

As informações desse domínio foram coletadas em perfis ao longo do cânion do Rio Catumbela, sobre os dois platôs a norte e a sul do mesmo cânion e ao longo da estrada EN-100, que liga a cidade de Lobito a Huambo. As medidas coletadas e as interpretações feitas com base nos dados desse domínio de encontram sintetizadas na **Figura 40**.

Figura 40 - Mapa geológico e estrutural da área estudada na parte norte Bacia de Benguela

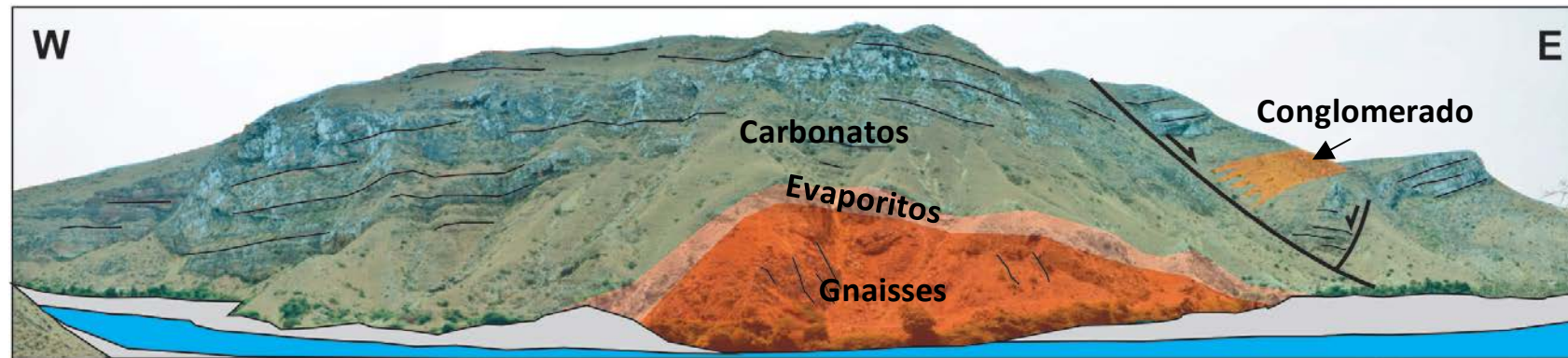


Fonte: Modificado de GUIRAUD et al, 2010.

6.3.1 Estruturas do Sal

Na área do Catumbela não se observa deformação intensa na camada evaporítica. Apenas vale apontar que próximo à borda da bacia, na encosta norte do cânion do rio, a camada de gipsita se encontra suavemente dobrada, acompanhando a superfície de um alto de embasamento, concordantemente com os estratos de carbonato sobrepostos (**Figura 41**).

Figura 41 - Fotomosaico do paredão norte do cânion do Rio Catumbela. Abaixo, representação das rochas e estruturas presentes. O paredão tem cerca de 200 m de altura

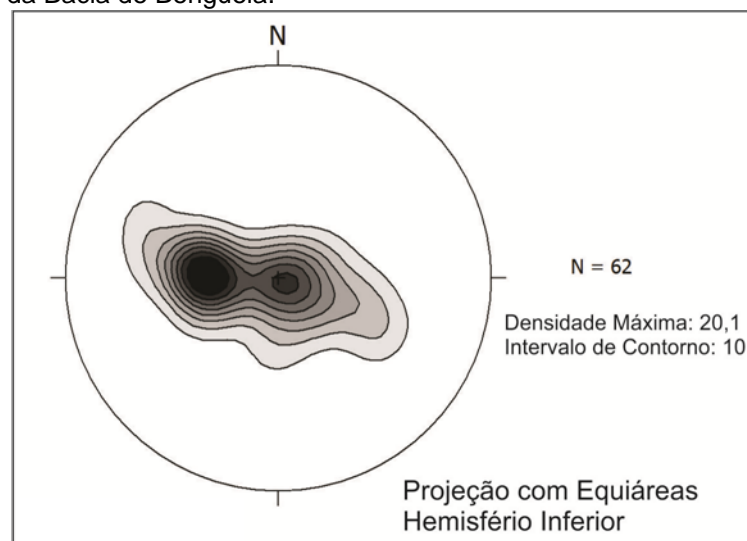


6.3.2 Estruturas da Plataforma Albiana

6.3.2.1 Acamamento

O acamamento da plataforma na região do Rio Catumbela apresenta mergulho, em geral, sub-horizontal a suave, como mostra o estereograma da **Figura 42**. Neste diagrama, observam-se duas concentrações de polos do acamamento, uma com mergulho sub-horizontal e outra com mergulho suave para leste. Ao longo dos caminhamentos de leste para oeste, principalmente ao longo do rio, esta variação é bem evidente.

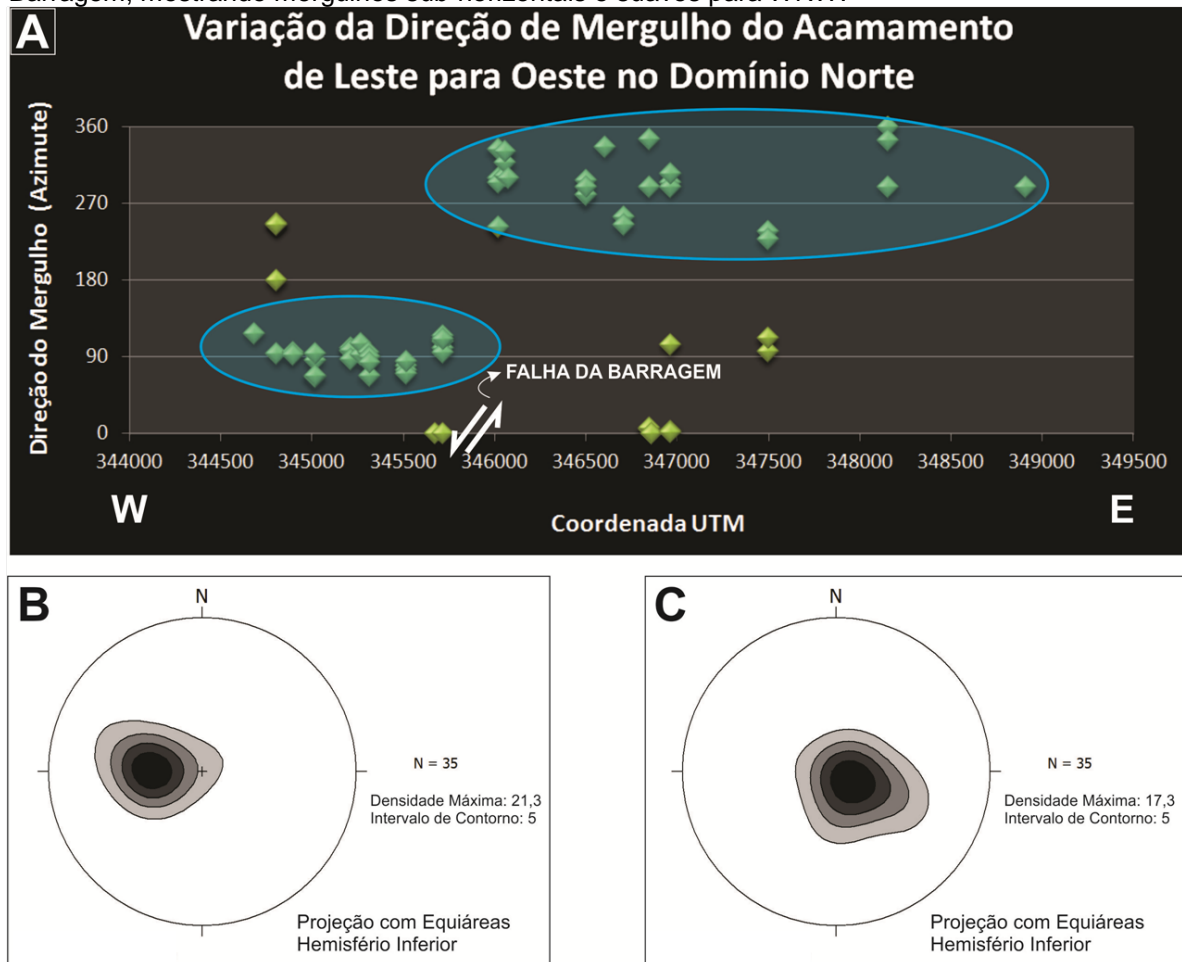
Figura 42 - Estereograma dos polos das medidas de acamamento, na parte norte da Bacia de Benguela.



Com o objetivo de se buscar um padrão na variação da atitude das camadas na região, tendo essa variação sido observada nos caminhamentos paralelos ao rio, foi feito o exercício de se separarem as medidas de acamamento de acordo com a direção dos seus mergulhos sobre a posição das suas coordenadas (UTM) E – W. O gráfico da **Figura 43** mostra que em um determinado ponto os mergulhos mudam de direção de modo que a leste as camadas mergulham para oeste e a oeste os mergulhos são para leste. As medidas de cada um desses dois campos foram então

tratadas em estereogramas separados, mostrando que o máximo de medidas no campo leste é representado por um plano com 5° de mergulho para oeste (267/05). Já na parte oeste, as camadas mergulham 25° para leste (089/25, **Figura 43**).

Figura 43 - (A) Variação da direção do mergulho das camadas de leste para oeste na parte norte. (B) Estereograma dos polos do acamamento a oeste da Falha da Barragem, mostrando mergulhos suaves a moderados para leste. (C) Estereograma dos polos do acamamento a leste da Falha da Barragem, mostrando mergulhos sub-horizontais e suaves para WNW.



Ao longo do cânion do Rio Catumbela, essa brusca mudança se dá próximo à barragem que existe nesse rio. Lá, observa-se claramente que a leste as camadas são sub-horizontais e a oeste as camadas mergulham para leste (**Figura 44**). Nota-se, também na **Figura 44**, que seguindo-se mais para oeste, as camadas tornam-se novamente sub-horizontais.

Figura 44 - Fotomosaico do paredão a sul do Rio Catumbela, na região da barragem e croqui mostrando a interpretação da Falha da Barragem e o comportamento das camadas a leste e a oeste desta estrutura. No bloco de oeste, observa-se que o mergulho das camadas em direção à falha é mais forte próximo a ela e se suaviza mais para oeste.



O padrão da variação dos acamamentos descrito acima evidencia que na área da barragem há uma falha que separa os dois domínios de mergulho, onde, a parte leste é o *footwall*, não deformado, e a parte oeste é a estrutura de *rollover* que se forma no *hangingwall* dessa falha. Estas feições serão descritas adiante, na parte dedicada à descrição das falhas.

Outra variação no acamamento, embora mais sutil, pode ser observada dentro do bloco leste. A região mais próxima ao limite leste da plataforma apresenta mergulhos relativamente mais altos, que se suavizam em direção ao interior da bacia e nos platôs a norte e a sul do Catumbela, formando feições sigmoidais (**Figura 24**). Estas feições representam as clinofomas que se desenvolvem em consequência da progradação da plataforma carbonática para oeste, a partir da borda da bacia.

6.3.2.2 Falhas e Fraturas

Na região do Rio Catumbela foram observadas falhas lítricas gravitacionais, falhas conjugadas e fraturas extensionais.

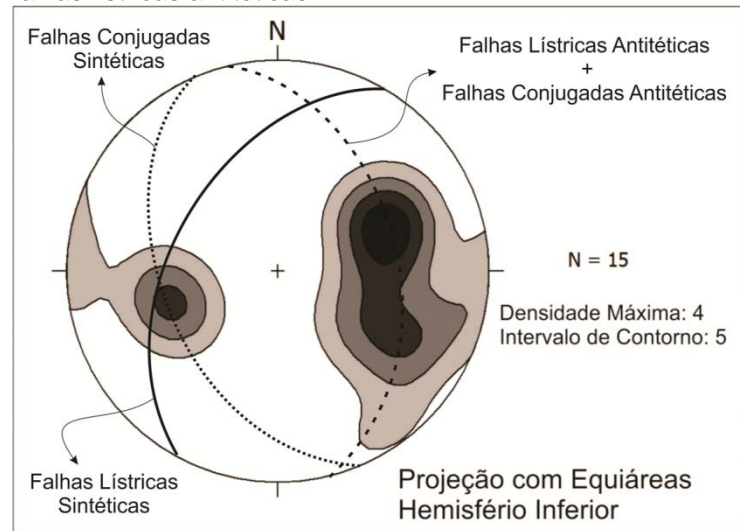
O estereograma das falhas medidas nos arredores do Rio Catumbela mostra três concentrações principais dos polos. Uma representa planos com direção NNE e mergulho para WNW e representa a atitude das falhas lítricas sintéticas. Já as duas concentrações de polos que representam planos de direção NNW e mergulhos para ENE e WSW indicam a presença de um bem definido par de falhas conjugadas. A concentração de polos que representa planos com mergulho para ENE também representa a atitude das falhas lítricas antitéticas (**Figura 45**).

6.3.2.2.1 Falhas Lítricas Gravitacionais

Estas falhas lítricas foram divididas nas sintéticas, com mergulho para oeste e nas antitéticas, com mergulho para o quadrante leste.

As falhas lítricas sintéticas tem direção N – S a NNE e sua ocorrência é localizada. A falha mais marcante desse grupo é a Falha da Barragem, que separa os dois domínios de mergulho ao longo do cânion do Rio Catumbela e cujo rejeito promove o contato entre carbonatos de águas profundas da unidade superior, a oeste, com os carbonatos de água rasa da unidade inferior, a leste (**Figura 46**).

Figura 45 - Estereograma dos polos das falhas medidas na parte norte da bacia. A população de polos que representa planos de direção NNE representa as falhas lítricas sintéticas. As duas populações que representam planos com direção NNW representam as falhas normais conjugadas e as falhas lítricas antitéticas.



A variação dos mergulhos mencionada acima, onde a leste da Falha da Barragem as camadas se inclinam em direção a ela e, algumas centenas de metros mais para oeste, se horizontalizam, denota a natureza lítrica dessa falha, o que implica na presença de uma superfície de deslocamento (ver “Falhas Lítricas” no Capítulo 4). O mais provável é que este descolamento ocorra na camada de evaporitos, que foi observada na borda da bacia e que deve se estender bacia adentro, abaixo da plataforma carbonática.

A Falha da Barragem constitui uma zona falhada de cerca de 20 m de largura com muitas fraturas com mergulhos sub-horizontais a sub-verticais e com brechação localizada (**Figura 47**). Sua atitude, em campo, assim como sua cinemática não puderam ser medidos diretamente devido à ausência de um plano que a

representasse e de indicadores cinemáticos. Assim, outras técnicas se fizeram necessárias para caracterizar a geometria desta estrutura.

Figura 46 - Arcabouço das estruturas que afetam a plataforma albiana sobre mosaico de imagens do Google Earth. Observa-se a mudança no padrão de relevo a leste e a oeste da Falha da Barragem, como resultado da mudança litológica.

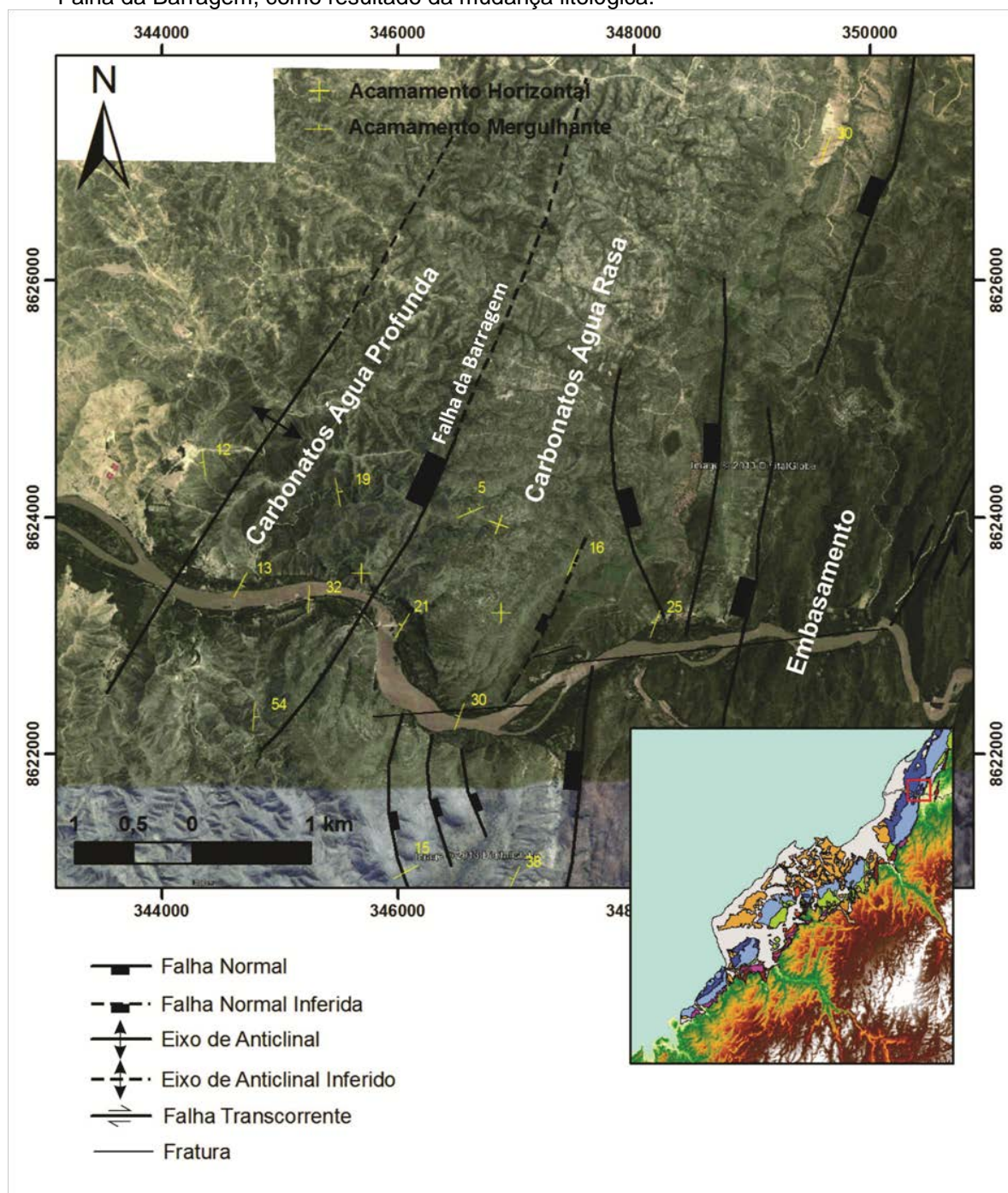
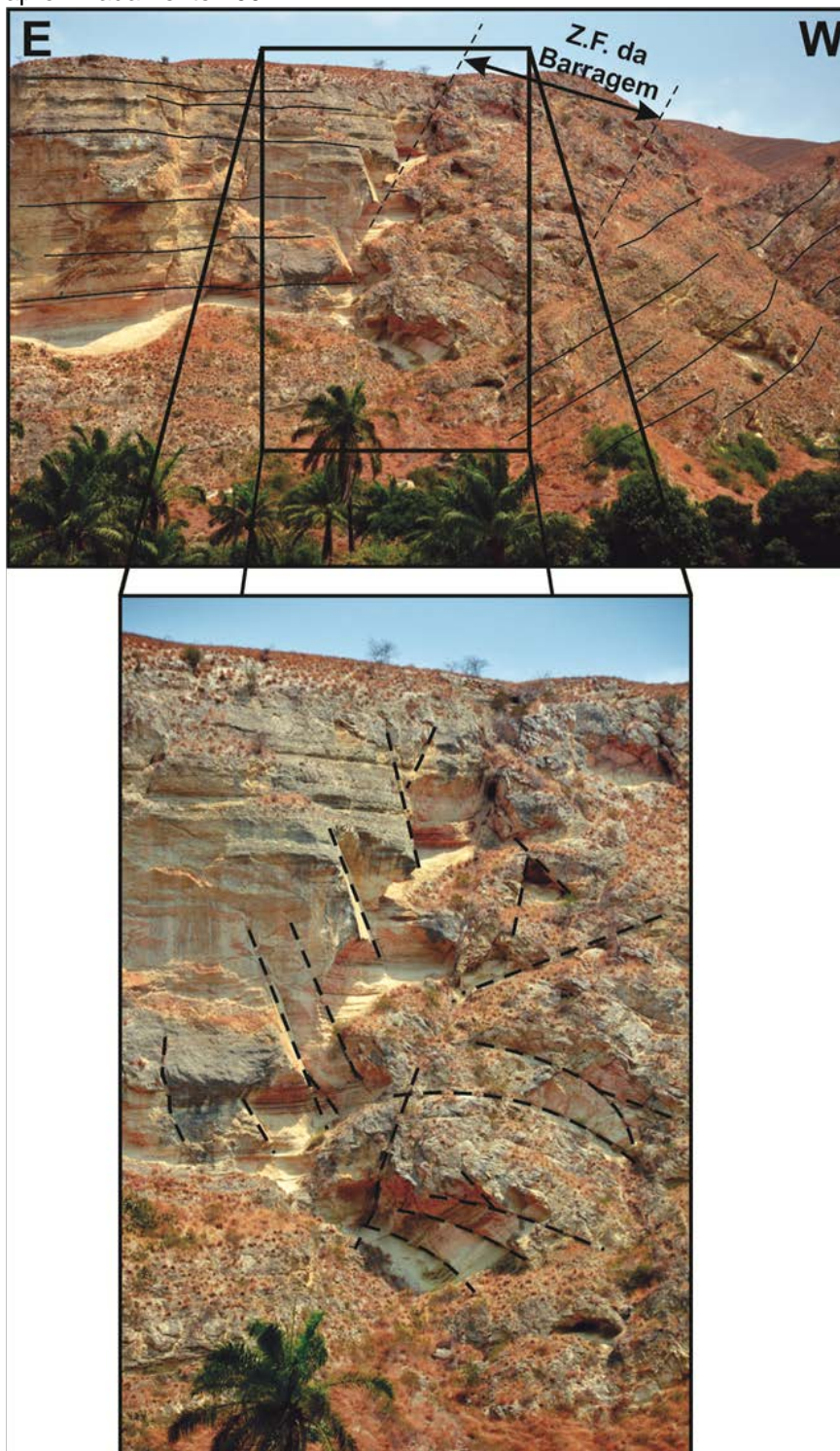


Figura 47 - Detalhe da Falha da Barragem. A altura da foto de detalhe é de aproximadamente 100 m.



A estrutura de *rollover* formada no bloco oeste dessa falha indica que seu mergulho é para oeste e que esta é, portanto, uma falha sintética ao mergulho da bacia (**Figuras 44 e 48**). Parte do traço da Falha da Barragem é detectado em

imagens de satélite e em campo onde esta controla o alinhamento de uma ravina que divide os dois domínios de mergulho (**Figura 48**). Além disso, o fato desta falha promover o contato entre duas unidades litológicas distintas permite que sua continuação na direção NNE-SSW seja traçada com auxílio de produtos de sensoriamento remoto (**Figura 46**).

No bloco alto da Falha da Barragem, os carbonatos de águas profundas ricos em amonoides se encontram somente nos altos dos platôs a norte e a sul do cânion do Rio, cerca de 200 m acima da planície de inundação. Na região da falha, estes estratos se encontram poucos metros acima da superfície do rio. Isto indica que a falha tem movimentação normal e um *throw* (t) entre 200 e 150 m. Considerando seu ângulo de mergulho (θ) é 60° e que ela não apresenta movimento transcorrente, estimou-se um rejeito verdadeiro (r) entre 170 m e 230 m, para esta falha, por meio da relação trigonométrica: $r = t / \text{sen}\theta$.

Próximo à margem da bacia, em uma área de complexa estruturação e sobre um alto de embasamento, foi interpretada uma pequena falha sintética dessa mesma família, a partir da rotação dos estratos do *hangingwall*, onde estes se encontram inclinados para leste (**Figura 41**).

As falhas lítricas antitéticas são oblíquas às sintéticas e sua direção varia entre N – S e NNW, com mergulho para o quadrante leste. Estas falhas apresentam também rejeitos menores e menor espaçamento em relação às falhas sintéticas (**Figuras 40 e 45**).

Figura 48 - Fotomosaico da margem sul do Rio Catumbela, onde se encontra a Falha da Barragem. Em campo, se observa que essa falha promove o contato entre os carbonatos de água rasa da unidade inferior (Formação Catumbela) com os carbonatos de águas mais profundas da unidade superior (Formação Quissonde).



Uma dessas falhas foi interpretada na encosta norte do cânion do Catumbela (**Figura 41**). Na visada desta figura, observa-se uma cunha de rochas siliciclásticas que não tem continuação no *footwall* da falha, o que sugere que ela se encontrava ativa ou já havia se formado no momento da chegada desses sedimentos. Na borda sul do Rio Catumbela, ocorrem as estruturas mais marcantes desse grupo, entre as quais se observa um espaçamento de centenas de metros. Os rejeitos não foram determinados devido à ausência de camadas guia (**Figura 49**), mas estima-se que seja da ordem de poucos metros. Em campo se pode verificar a curvatura dessas falhas e a rotação dos estratos dos blocos falhados, denotando sua natureza lístrica. Outra falha dessa natureza foi registrada, também próximo à borda da bacia, na estrada EN-100. Esta falha foi medida diretamente em campo, com direção NNW e 50° de mergulho para ENE (080/50) e rejeito aparente de 5 m (**Figura 50**).