



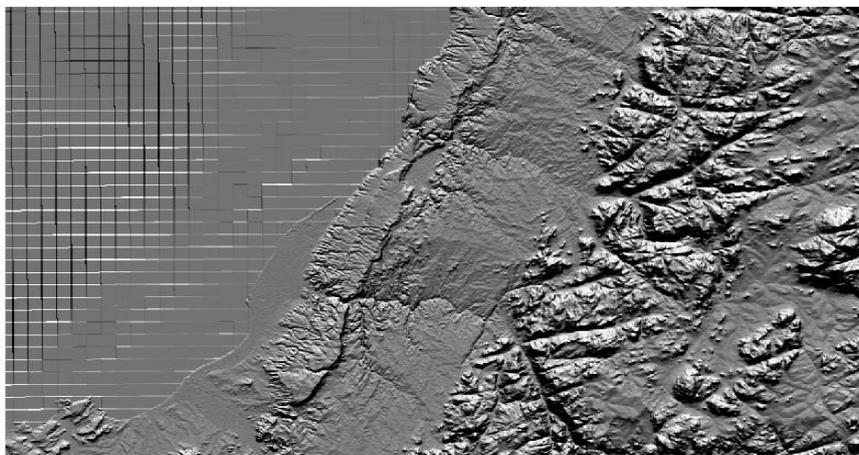
**Universidade de Coimbra
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Ciências da Terra**

**Caracterização morfoestrutural da região de Bimbas-
Hanha-Biópio (Benguela, Sudoeste de Angola), com
base em técnicas de Detecção Remota: contributo para a
cartografia regional**

José Chicanha Delfino

Mestrado em Geociências

(Especialidade em Ambiente e Ordenamento do Território)



Janeiro de 2017



**Universidade de Coimbra
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Ciências da Terra**

**Caracterização morfoestrutural da região de Bimbas-
Hanha-Biópio (Benguela, Sudoeste de Angola), com
base em técnicas de detecção remota: contributo para a
cartografia regional**

José Chicanha Delfino

Mestrado em Geociências

(Especialidade em Ambiente e Ordenamento do Território)

Orientação:

Professor Doutor Fernando Carlos Lopes (Professor da Faculdade de
Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra)

Professor Doutor Alcides Pereira (Professor Associado com Agregação da
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra)

Janeiro de 2017

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e pelos muitos benefícios que tem me concedido neste percurso.

Ao corpo Docente do Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciência e Tecnologia na Universidade de Coimbra, pela dedicação, orientação, aos funcionários administrativos e colaboradores e em especial ao Professor Doutor Fernando Carlos Lopes, Professor Doutor Alcides da Silva Pereira, Mestre Vasco Manta, Mestre João Baptista Húvi, ao corpo Directivo do UPRA o voto de apreço e gratidão.

A minha Família (Esposa Paulina Ch. Bartolomeu Delfino e Filhos Dirceu I. Bartolomeu Delfino (Licinho), os gémeos Makoloquila Bartolomeu Delfino (Jaaziel) e Chindumbo Bartolomeu Delfino (Jeús) e José Matos Delfino (Chilzyo), meus Pais José Matos Delfino e Ana Florinda Delfino, irmãos: chindumbo, Julino, Julheta, Filipe, Jorge, Eduardo, Dofilia, Tita, Olga Valério, Laurinda, Amigos: Rodrigo António Fonseca, Ageu, Colegas: Alberto Gonçalves, David Muquepe, Justino Sandandje, Manuel Cassinda Segundo, José Belo, Rita Canivete, Elsa Kaula em especial a Sr. Nancy A. Gottlieb, a família Luís, família Periquito, família Fonseca e a família Macoloquila, Reverenda Ilda Valerio, todos irmãos, parentes e amigos.

A todos que fizeram parte desta investigação, o meu profundo reconhecimento.

A todos o meu muito obrigado

DEDICATÓRIA

Há todos que apoiaram incondicionalmente, a família e toda comunidade acadêmica e científica.

PENSAMENTO

“A ciência pode determinar o que é, não o que deveria ser.”

Albert Einstein

RESUMO

Pretendeu-se com este trabalho fazer o reconhecimento das principais características morfoestruturais do sector Bimbas-Hanha-Biópio (Benguela, Sudoeste de Angola), utilizando técnicas de Detecção Remota. Para o efeito recorreu-se a dados altimétricos do sensor Aster, criando um modelo digital de terreno da área em estudo, sobre o qual foram aplicadas técnicas de transformação da imagem (como técnicas de realce, alteração do contraste, e aplicação dos filtros). A interpretação das imagens de satélite assim tratadas foi feita de forma visual e digital, recorrendo, sempre que possível, ao apoio da cartografia geológica disponível à escala 1:100 000. Foram identificados e caracterizados aspectos morfológicos e sistemas de lineamentos principais com orientações NE-SW, NNE_SSW, NW-SE, cuja presença no terreno foi confirmada por reconhecimento de campo em vários locais da região.

O resultado deste estudo tem importantes implicações quer do ponto de vista da cartografia geológica e das interpretações tectónicas regionais, quer no âmbito das políticas de ordenamento do território, em áreas como a hidrogeologia ou a estabilidade de taludes.

Palavras-Chave: Análise Morfoestrutural, Detecção Remota, Cartografia Regional, Benguela, Angola).

ABSTRACT

The goal of this work is the recognition of the main morphostructural features of the sector Bimbas-Hanha-Biópio (Benguela, Southwest Angola) using Remote Sensing techniques. For this purpose altimetric data was used acquired from Aster sensor, a digital terrain model of the area was build, on which were applied image processing techniques (such as enhanced techniques, contrast change and filtering). The interpretation of the products of the processed satellite images was made by visual and digital means and the results compared with the available geological mapping (scale 1: 100 000). Were identified and characterized the main morphological aspects and lineaments systems with strike NE-SW, NNE-SSW, NW-SE where study in detail and, confirmed by field work.

The result of this study has important implications from the point of view of geological mapping and regional tectonics as well as in territory planning.

Keywords: Morphostructural Analysis, Remote sensing, Regional mapping, Benguela, Angola

Índice Geral

CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO	10
1.1. Preâmbulo.....	10
1.2. Objectivos.....	11
1.3. Metodologias.....	11
1.4. Estrutura da dissertação.....	12
CAPITULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1. A deformação crustal: fracturação e dobramento.....	13
2.1.1. O estado de tensão das rochas.....	13
2.1.1.1. Tipos de tensão a que as rochas estão submetidas.....	13
2.1.1.2. O campo de tensões.....	15
2.1.2. O comportamento mecânico das rochas e a deformação.....	15
2.1.2.1. Comportamento elástico.....	15
2.1.2.2. Comportamento plástico.....	16
2.1.2.3. Comportamento frágil.....	16
2.1.2.4. Comportamento viscoso.....	16
2.1.3. Fatores da deformação ao nível da litosfera.....	17
2.1.3.1. Fatores extrínsecos.....	17
2.1.3.2. Fatores intrínsecos.....	18
2.1.4. Mecanismos de deformação.....	18
2.1.5. A fracturação.....	19
2.1.5.1. Fracturas por extensão (fracturas modelo I).....	20
2.1.5.2. Fracturas de cisalhamento.....	22
2.1.5.3. Importância.....	23
2.1.5.4. Tipos de falha.....	23
2.1.5.5. O dobramento.....	25
2.2. Aplicação de Detecção Remota às Geociências.....	26
2.2.1 – Interacção com a superfície terrestre.....	27
2.2.2 - Interacção com o solo.....	27
2.2.3 - Interacção com a água.....	28
2.2.4 - Interacção com as rochas.....	28
2.2.5 - Filtros e sua importância.....	28
2.2.6 – Interpretação morfotectónica.....	29

CAPÍTULO 3 – ENQUADRAMENTO REGIONAL DE BENGUELA	30
3.1 – Enquadramento Geológico.....	31
3.1.1. Geologia Regional.....	31
3.1.2. Tectónica Regional.....	34
3.2. Enquadramento Geomorfológico.....	36
CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO MORFOESTRUTURAL	39
4.1. Noção de “lineamento estrutural”.....	39
4.1.1. Conceito.....	39
4.1.2. Critérios de identificação.....	40
4.2. Análise morfológica.....	42
4.2.1. Planície litoral.....	42
4.2.2. Planície Intermédia.....	43
4.2.3. Orla Alta.....	44
4.2.4. Planalto Antigo.....	45
4.3. Cartografia estrutural.....	45
4.3.1. Sistema de lineamentos NE-SW.....	45
4.3.2. Sistema de lineamentos NNE-SSW.....	46
4.3.3. Sistema de lineamentos NW-SE.....	48
4.3.4. Sistema de lineamentos E-W.....	48
CAPÍTULO 5 - RECONHECIMENTO DE CAMPO	49
5.1. Paragem 1 (Bg1): Bimbas-1.....	51
5.2. Paragem 2 (Bg-2) – Bimbas-2.....	52
5.3. Paragem 3 (Bg-3) – Capilongo, ao longo do talude da via Férrea.....	52
5.4. Paragem 4 (Bg-4) – Capilongo, junto à ribeira.....	54
5.5. Paragem 5 (Bg-5) – Capilongo, no talude da via Férrea.....	55
5.6. Paragem 6 (Bg-6) – Capilongo, no talude da via Férrea.....	55
5.7. Paragem 7 (Bg-7) – Capilongo, no talude da via Férrea.....	56
5.8. Paragem 8 (Bg-8) – Capilongo, no talude da via Férrea.....	57
5.9. Paragem 9 (Bg-9) – Margem norte do rio Catumbela.....	58
5.10 – Paragem 10 (Bg-10) - Catumbela, Bairro da Bandeira.....	58
5.11. Paragem 11 (Bg-11) – Lobito Velho.....	59
5.12. Paragem 12 (Bg-12) - Via rápida Lobito-Hanha, próximo da Refinaria....	61

5.13. Paragem 13 (Bg-13) – Estrada Lobito-Hanha, perto dos “10%”.....	63
5.14. Paragem 14 (Bg-14) – Desvio da estrada do Vale da Hanha (Palanca Negra).....	63
5.15. Paragem 15 (Bg-15) – Miradouro do Vale da Hanha.....	64
5.16. Paragem 16 (Bg-16) – Fazenda da Hanha.....	65
5.17. Paragem 17 (Bg-17) – Morro da Rádio.....	65
5.18. Paragem 18 (Bg-18) – Barragem do Biópio.....	66
CAPITULO 6 - DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	70
6.1. Contributo para a cartografia regional.....	70
6.1.1. Importância dos grandes lineamentos estruturais na tectónica regional.	70
6.1.2. A Falha de Hanha e a Restinga do Lobito.....	74
6.2. Contributo para o ordenamento do território.....	77
6.3. Conclusões.....	78
Referências Bibliográficas	79

Índice de Figuras

CAPITULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Fig. 2.1. Representação esquemática da tensão litostática (adap. Blés & Feuga, 1981).....	13
Fig. 2.2. Representação esquemática dos diversos tipos de tensão dirigida (adap. Blés & Feuga, 1981).....	14
Fig. 2.3. Representação esquemática do elipsoide das tensões (adap. Mattauer, 1973).....	15
Fig. 2.4. Curvas tensão/deformação representativas. A = deformação plástica seguida de rotura (comportamento elástico-frágil) (indicada pela súbita queda de tensão); B = deformação elástica seguida de cedência, deformação plástica e rotura (comportamento semi-frágil); C = deformação elástica, seguida de cedência, “deformação branda” e rotura; D = deformação elástica, seguida de cedência e de “deformação branda”; E = deformação elástica, seguida de cedência e de “deformação plástica”; F = deformação elástica, seguida de cedência e de “deformação rígida”; (adap. Marshak & Mitra, 1988).....	17
Fig. 2.5. A) Esquema ilustrando os diferentes tipos de deformação; B) Esquema dos domínios dos diferentes comportamentos dos corpos rochosos em função da temperatura e da pressão, e correspondentes mecanismos elementares de deformação (adap. Mattauer, 1973).....	18
Fig.2.6. Esquemas elucidativos dos modelos de fracturas (adap. Twiss & Moore, 1992).....	20
Fig. 2.7. A) Exemplos de redes de diáclases a) Perpendicular a estratificação; b) Oblíquas em relação a estratificação (Adap. Blés, 1981).....	20
Fig. 2.8 Esquema ilustrado sobre fendas tenção (adap. Twiss & Moores, 1992).....	21
Fig. 2.9 Modos de formação das juntas estilolíticas a) Estilolíticas simétricas; b) Estilolíticas assimétricas segundo uma superfície obliqua relativamente a direção do encurtamento 1) Estado inicial; 2) Estado final, após a dissolução da parte sombreada (adap. Blés, 1981).....	22
Figura 2.10- Bloco esquemático de uma falha normal (adapt. Hatcher 1995).....	23

Figura 2.11- Falhas normais associadas com uma caldeira. A) Mapa esquemático; B) Secção transversal esquemática (adap. Twiss & Moores, 1992).....	25
Figura 2.12- Linhas do fecho positivo e negativo A) Vista tridimensional de uma dobra; B) Vista em perfil de uma charneira (adapt. Twiss & Moores, 1992).....	26
Figura 2.13- Filtro direccional extraído do ArcMap, imagens obtidas pelo sensor ETM+, do satélite Landsat 7.....	29

CAPÍTULO 3 – ENQUADRAMENTO REGIONAL DE BENGUELA

Fig. 3.1- Localização da Província de Benguela com realce do município do Lobito (imagem composta através do Auto Cad).....	30
Fig. 3.2 A). Representação das folhas 227-228 da Carta Geológica de Angola à escala 1/100 000 (Galvão & Portugal, 1971).....	31
Fig. 3.2 B). Legenda das folhas 227-228 da Carta Geológica de Angola à escala 1/100 000 (Galvão & Portugal,197).....	32
Fig. 3.3 – Bacias sedimentares peri-atlânticas de Angola, com indicação da Bacia de Benguela inserida na Bacia do Kwanza (Quesne et al.,2009).....	33
Figura 3.4a – Carta geomorfológica de Angola segundo Marques (1977). II-Planato antigo; II-Cadeia Marginal de Montanhas; III-Zona de Transição; IV-Orla Meridional da Bacia do Congo (a. Depressão de Cassinga; b. Depressão de Cuanxa-Luanda; c. Depressão do Cassai); V-Orla Setentrional da Bacia do Calaari (a. Depressão endorreica do Cuvelai-Lueque; b. Bacia do Cubango; c. Depressão do Cunene); VI-Bacia do Zambeze (a. Maciço do Alto Zambeze); VII-Orla Litoral (a. Deserto de Moçamedes)	36
Figura 3.4b – Mapa Geomorfológico de Angola segundo Diniz (1998). 1-Faixa Litorânea; 2-Faixa Sub-planáltica; 3-Montanha Marginal; 4-Planalto Antigo; 5-Baixo Cunene; 6-Alto Cunene; 7-Planalto de Malange; 8-Peneplanície do Zaire; 9-Baixa do Cassange; 10-Peneplanície do Zambeze-Cutango; 11-Maciço do Alto Zambeze.....	37

CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO MORFOESTRUTURAL

Fig. 4.1. Províncias fisiográficas definidas para a região em estudo, a partir da análise do MDT da Fig. 2.7. 1 = Baía Farta; 2 = Restinga do Lobito; 3 = Ponta do Jomba; 4 = Praia da Hanha; 5 = Ponta do Binge.....	44
---	----

Fig. 4.2. Sistema de alinhamentos NE-SW, identificados a partir do MDT da Fig. 2.7. 1 = Baía Farta; 2 = Restinga do Lobito; 3 = Ponta do Jomba; 4 = Praia da Hanha; 5 = Ponta do Binge.....	46
Fig. 4.3. Sistema de alinhamentos NNE-SSW, identificados a partir do MDT da Fig. 2.7. 1 = Baía Farta; 2 = Restinga do Lobito; 3 = Ponta do Jomba; 4 = Praia da Hanha; 5 = Ponta do Binge.....	47
Fig. 4.4. Sistema de alinhamentos NW-SE, identificados a partir do MDT da Fig. 2.7. 1 = Baía Farta; 2 = Restinga do Lobito; 3 = Ponta do Jomba; 4 = Praia da Hanha; 5 = Ponta do Binge.....	48
Fig. 4.5. Sistema de alinhamentos W-E, identificados a partir do MDT da Fig. 2.7. 1 = Baía Farta; 2 = Restinga do Lobito; 3 = Ponta do Jomba; 4 = Praia da Hanha; 5 = Ponta do Binge.....	49

CAPÍTULO 5 - RECONHECIMENTO DE CAMPO

Fig. 5.1. A área onde foram feitas as observações de campo (imagem <i>Google Earth</i>). 1 = Rio Cavaco; 2 = Rio Catumbela; 3 = Rio Cubal da Hanha; 4 = Baía de Benguela; 5 = Restinga do Lobito.....	50
Fig. 5.2. Sector sul da área, com a localização das Paragens Bg-1 a Bg-8 (imagem base extraída do <i>Google Earth</i>).....	50
Fig. 5.3. Falha translacional esquerda N30°W; vertical. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	52
Fig. 5.4. Falhas normais de atitude N20°E; 45°W. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	52
Fig. 5.5. Carreamento com vergência para N e a falha N30°E; Vertical, com a intrusão do filão básico. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	53
Fig. 5.6. Aspecto do filão básico intruído ao longo da falha N30°E; Vertical.....	54
Fig. 5.7. Sistemas de falhas (N60°E; vertical e N-S; vertical) no leito seco da ribeira. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	55
Fig. 5.8. Aspecto do talude oriental da via-férrea, onde aflora uma sequência de arenitos e argilitos. No estrato inferior identifica-se estratificação entrecruzada.....	56
Fig. 5.9. Sistema de carreamentos (E-W; 30° S) e sistema de diáclases (E-W; 45° S) a afectar o talude oriental da via Férrea. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	57

Fig. 5.10. Sector centro da área, com a localização das Paragens Bg-9 a Bg-12 e Bg-17 (imagem base extraída do <i>Google Earth</i>).....	57
Fig. 5.11. Sistema de falhas no talude da estrada à beira do Rio Catumbela. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	58
Fig. 5.12. Sistema de falhas no talude do Bairro da Bandeira. F1 = N20°E;80°W (normal); F2= N20°W;30°E (inversa). A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	59
Fig. 5.13. Talude da estrada no Lobito-Velho. F1 = N50°W;50°NE (normal);). A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	60
Fig. 5.14. Talude da estrada no Lobito-Velho. F2 = E-W; 40°S (falha inversa); F3 = N30°W; 70°N (falha normal); F4 = N40°W; 40°SW (falha normal reactivada como inversa). A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	60
Fig. 5.15. Talude da estrada oriental da estrada Lobito – Hanha do Norte, afectado por sistema de falhas normais N10°W; 70°W. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	61
Fig. 5.16. Talude da estrada ocidental da estrada Lobito – Hanha do Norte, afectado por sistema de falhas normais F1 = N10°W; 70°W; F2 = N70°E; 70°N.A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	62
Fig. 5-17. Sector norte da área, com a localização das Paragens Bg-12 a Bg-16 (imagem base extraída do <i>Google Earth</i>).....	62
Fig. 5.18. Aspecto do talude oriental da estrada Lobito-Hanha.....	63
Fig. 5.19. Aspeto do talude da estrada no desvio do Palanca Negra. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	64
Fig. 5.20. O vale tectónico da Hanha, visto do miradouro. A nordeste avista-se a Fazenda da Hanha.....	64
Fig. 5.21. Aspecto do leito do rio Cubal da Hanha, sob a ponte da Fazenda da Hanha.....	65
Fig. 5.22. Sector centro-este da área, com a localização das Paragens Bg-9 a Bg-11, Bg17 e Bg-18 (imagem base extraída do <i>Google Earth</i>).....	65
Fig. 5.23. Aspeto do talude norte da estrada do Morro da Rádio. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	66
Fig. 5.24. Relação entre a foliação (S1) e o cisalhamento (C) no soco metamórfico da Barragem do Biópio A seta branca indica o Norte. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	67

Fig. 5.25. Aspecto do contacto nordeste da intrusão de gabro. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	68
Fig. 5.26. Pormenor do contacto sudoeste da intrusão de gabro, com destaque para a banda de jaspe e os principais lineamentos tectónicos. A seta branca indica o Norte. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	68
Fig. 5.27. Pormenor da banda de jaspe e com os principais lineamentos tectónicos. A seta branca indica o Norte. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.....	69

CAPITULO 6 - DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Fig. 6.1. Modelo digital de terreno (MDT) da região estudada, com a identificação dos principais sistemas de lineamentos morfoestruturais.....	70
Fig. 6.2. Mapa dos principais sistemas de lineamentos morfoestruturais, interpretados a partir do MDT da Fig. 6.1.....	71
Fig. 6.3. Diagrama de rosetas da área de estudo, indicando a orientação dos lineamentos morfoestruturais predominantes.....	71
Fig. 6.4. Modelos estruturais esquemáticos da articulação dos três principais alinhamentos estruturais. A) articulação entre os alinhamentos NNE-SSW (normais) e os alinhamentos NE-SW (cisalhamentos direitos); B) articulação entre os alinhamentos NNE-SSW (normais) e os alinhamentos N30°W (cisalhamentos esquerdos); C) Articulação entre os três dominantes sistemas.....	73
Fig. 6.5a. folhas 227-228 da Carta Geológica de Angola à escala 1/100 000 (Galvão & Portugal, 1971) e o correspondente MDT. 1 = Restinga do Lobito; 2 = Falha de Hanha.....	75
Fig. 6.5b. folhas 227-228 da Carta Geológica de Angola à escala 1/100 000 (Galvão & Portugal, 1971) e o correspondente MDT, com a interpretação do alinhamento de Hanha - Restinga do Lobito e sua relação com a Falha de Hanha1 = Restinga do Lobito; 2 = Falha de Hanha.....	76

CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Preâmbulo

As cidades de Benguela e Lobito localizam-se no litoral centro-oeste de Angola, na foz dos rios Cavaco e Catumbela, respetivamente, distando entre si cerca de 33 km. A geologia da região é dominada por formações dispostas em faixas de orientação NNE-SSW, cujas idades se estendem, de leste para oeste, do Pré-Câmbrico ao Cenozóico. As litologias dominantes são, no sector oriental, os gneisses, os micaxistos e os granitos, de idade pré-árciana, e no sector ocidental, as rochas carbonatadas, evaporíticas e siliciclásticas da bacia de Benguela, com idades desde o Cretácico ao Holocénico. Tal como acontece com outras regiões de Angola, a sua cartografia geológica e topográfica encontra-se em estado desatualizado, já que a informação existente remonta aos levantamentos efetuados nas décadas de 70 e 80 do século XX.

A presente dissertação tem como objetivos principais a identificação e caracterização dos principais sistemas de alinhamentos estruturais da região compreendida entre Bimbas, Hanha e Biópio (Benguela- Angola) bem como a definição das suas principais características morfo-estruturais, usando estes dados como complemento à cartografia estrutural. Os resultados obtidos poderão ainda apoiar a elaboração de cartas diversas para o apoio a políticas de ordenamento do território.

A identificação dos principais sistemas de alinhamentos estruturais, bem como a definição das principais características morfo-estruturais, foram realizadas através da interpretação visual de dados digitais de deteção remota espacial, adquiridos pelo sensor (ETM+) do satélite Landsat, e pelo sensor (Aster) do satélite Terra. Esta identificação foi validada pelo reconhecimento de campo em diversos locais da região em estudo. Pretende-se, desta forma, utilizar as novas tecnologias atualmente disponíveis para, rapidamente, atingir os objetivos propostos, evitando-se o recurso aos longos períodos de trabalho de campo dispendioso e fatigante, por vezes, efetuados em terrenos de muito difícil acesso.

As imagens de satélite, obtidas e tratadas com a mais variada tecnologia, têm permitido pôr em evidência aspetos geomorfológicos e

alinhamentos tectónicos susceptíveis de interpretações diversas. A partir do estudo pormenorizado de sectores relativamente localizados da superfície terrestre, é possível fazerem-se interpretações tectono-estruturais e cinemáticas para domínios mais amplos, tanto continentais.

1.2. Objectivos

O estudo realizado no âmbito desta dissertação de mestrado em Ambiente e Ordenamento do Território teve como objetivo principal reconhecer e caracterizar as morfo-estruturas existentes na região de Benguela-Lobito (SW de Angola) com base em técnicas de detecção remota, contribuindo para a cartografia geológica e para a tectónica regional.

Com base no objetivo principal definiram-se os seguintes objetivos específicos:

1. Enfatizar os fundamentos teóricos que sustentam a caracterização morfo-estrutural da região da região em estudo;
2. Identificar e caracterizar os principais sistemas de alinhamentos morfo-estruturais;
3. Construir cartografia dos principais sistemas de alinhamentos morfo-estruturais;
4. Integrar os resultados obtidos no contexto geológico e tectónico regional;

1.3. Metodologias

As metodologias aplicadas estão organizadas da seguinte forma:

1. Pesquisa bibliográfica, documental e cartográfica:
A pesquisa bibliográfica e documental incidiu em artigos científicos, dissertações, livros e páginas da web que continham informações sobre a geologia e geomorfologia da região estudada e sobre conceitos teóricos fundamentais ao estudo que se pretendia fazer. A pesquisa cartográfica incidiu sobre as folhas 227/228 da Carta Geológica de Angola à escala 1/100 000 (Galvão e Silva, 1972);

2. Aquisição e tratamento em ambiente de SIG de dados digitais de detecção remota espacial, adquiridos pelo sensor (ETM+) do satélite Landsat, e pelo sensor (Aster) do satélite Terra.
3. Interpretação visual dos principais alinhamentos morfo-estruturais e elaboração de cartas de alinhamentos em ambiente de SIG.
4. Reconhecimento de campo para validação e caracterização dos aspetos morfo-estruturais identificados a partir dos dados de detecção remota; recolha de dados pictóricos
5. Interpretação dos dados de campo e sua integração dos resultados com os obtidos a partir dos dados de detecção remota:
6. Elaboração da dissertação.

1.4. Estrutura da dissertação

O trabalho aqui apresentado está estruturado da seguinte forma: o capítulo 1 integra a introdução geral do trabalho; no capítulo 2 fazem-se os enquadramentos teóricos sobre a deformação dúctil e a deformação frágil dos maciços rochosos e sobre a aplicação da Detecção Remota na cartografia geológica e estrutural; no capítulo 3 é feito o enquadramento geográfico, geológico e geomorfológico da área de estudo; no capítulo 4 fez-se a caracterização e descrição dos aspectos morfo-estrutural identificados a partir dos dados de detecção remota; no capítulo 5 abordou-se o reconhecimento de campo para validação dos resultados referidos no capítulo 4; no capítulo 6 foi feita a análise e a discussão dos resultados obtidos; e as referencias bibliográficas.

CAPITULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. A deformação crustal: fracturação e dobramento

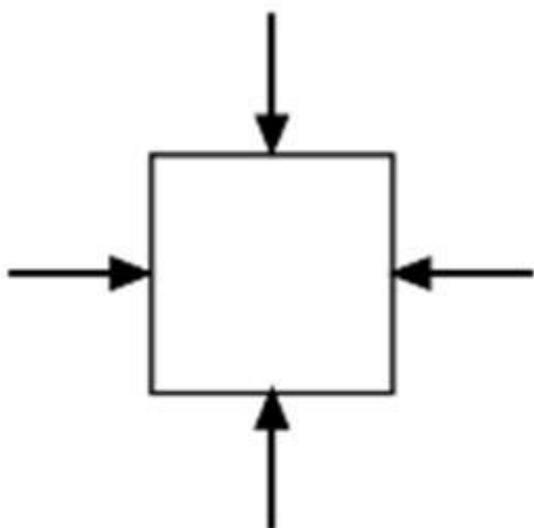
A geodinâmica interna do planeta Terra gera tensões dirigidas (ou tectónicas) que provocam a deformação da sua superfície rígida (litosfera). Essa deformação traduz-se pelo aparecimento de estruturas geológicas como fraturas e dobras.

2.1.1. O estado de tensão das rochas

Quando uma rocha é submetida a uma determinada tensão externa, ela reage com uma determinada tensão interna que tende a manter ou a restaurar a sua forma original. Diz-se que a rocha está em estado de tensão. O estado de tensão propicia a deformação/movimentação (cinemática) de que resulta a forma final (geometria) da rocha.

2.1.1.1. Tipos de tensão a que as rochas estão submetidas

Abaixo da superfície, as rochas estão submetidas a dois tipos de tensão:



- *Tensão litostática (confinante ou isotrópica)* - atua com igual magnitude em todas as direções, devido ao peso exercido pelas rochas situadas acima. Equivale a tensão hidrostática (Fig. 2.1);

Fig. 2.1. Representação esquemática da tensão litostática (adap. Blés & Feuga, 1981).

- *Tensão dirigida (ou tectónica)* - Para além da pressão confinante, as rochas estão também sujeitas a pressões (tensões) dirigidas (ou tectónicas), provocadas pela mobilidade das placas tectónicas, cuja magnitude varia com a direcção. Estas tensões podem ser (Fig. 2.2):

- Compressivas, que conduzem à redução do volume da rocha na direção paralela à actuação das tensões e ao seu alongamento na direção perpendicular. Podem, também, provocar a fractura da rocha;
- Distensivas, que conduzem ao alongamento da rocha na direcção paralela à da actuação das tensões ou à sua fracturação na direcção perpendicular à da actuação das tensões;
- De cisalhamento (tangenciais), que causam a torção da rocha por movimentos paralelos em sentidos opostos. A rocha pode fracturar segundo uma direcção paralela a oblíqua, relativamente à direcção de actuação das tensões.

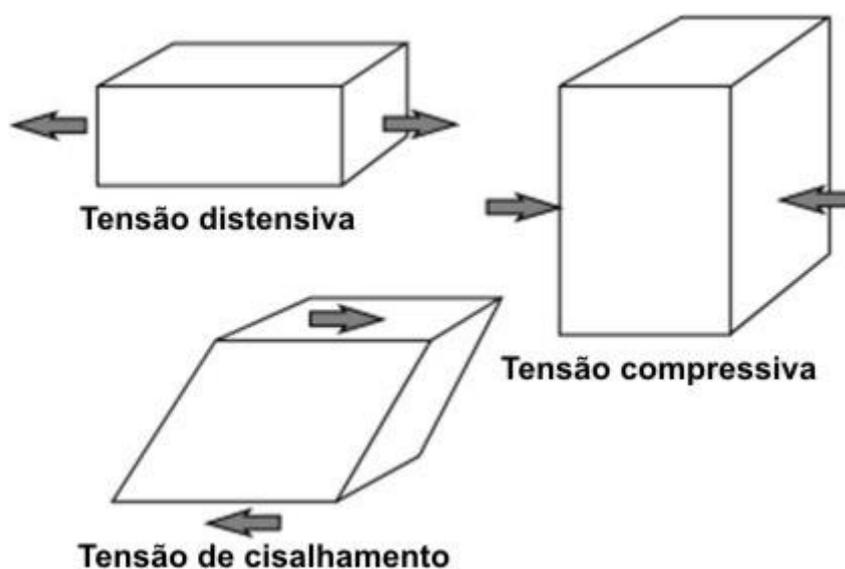
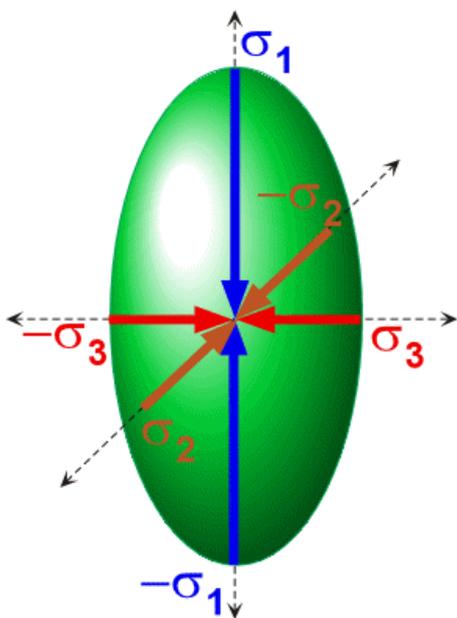


Fig. 2.2. Representação esquemática dos diversos tipos de tensão dirigida (adap. Blés & Feuga, 1981).

O estado de tensão de uma rocha é, pois, o somatório da tensão litostática com a tensão dirigida.

2.1.1.2. O campo de tensões



A orientação da tensão dentro de um corpo rochoso varia de lugar para lugar, dependendo de vários fatores (espessura da crosta, reologia do material, natureza de estruturas pré-existentes descontinuidades). Essa variação é conhecida como “campo de tensão”, que pode ser representado e analisado pelo digrama da trajetória da tensão.

Fig. 2.3.. Representação esquemática do elipsóide das tensões (adap. Mattauer, 1973).

Nestes diagramas as linhas mostram a contínua variação na orientação da tensão principal, considerando que σ_1 (S_{max}) é sempre e perpendicular a σ_3 (S_{min}). Assim, em cada ponto do objeto geológico o campo de tensão é representado por um sistema de eixos designados pela letra (grega) “ σ ” onde $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ (Elipsóide das tensões; Fig. 2.3.).

2.1.2. O comportamento mecânico das rochas e a deformação

O estado de tensão aplicado às rochas em ensaios laboratoriais, mostram que estas podem apresentar quatro tipos de comportamento ideal (Fig. 2.4):

2.1.2.1. Comportamento elástico

A rocha deforma, mas quando a tensão cessa, a rocha retoma a sua forma/volume iniciais. A rocha deforma-se elasticamente até um certo limite (limite de elasticidade). Quando este é ultrapassado, a rocha pode:

- Fracturar – comportamento elástico-frágil;
- Permanecer com a deformação e não voltar a estado normal – comportamento plástico (ou dúctil);

2.1.2.2. Comportamento plástico

É alcançado quando a tensão aplicada é superior ao limite de elasticidade. A rocha experimenta deformação permanente, mas não fractura. Atingido o limite de plasticidade, a rocha pode:

- Fracturar - comportamento semi-frágil;
- Exibir deformações proporcionais à tensão aplicada e ao tempo – comportamento viscoso.

2.1.2.3. Comportamento frágil

O material fractura, perdendo coesão. Ocorre quando é ultrapassado o limite de elasticidade (comportamento elástico-frágil) ou o limite de plasticidade (comportamento plástico-frágil).

2.1.2.4. Comportamento viscoso

O corpo rochoso exhibe deformações que crescem proporcionalmente à tensão aplicada e ao tempo, indefinidamente. Após a retirada da tensão a deformação é permanente

Na natureza, os corpos rochosos nunca são perfeitamente elásticos, plásticos ou viscosos. Nas situações mais simples, o seu comportamento parece aproximar-se do comportamento de um corpo ideal. Nas situações mais complexas, esse comportamento é sucessivamente elástico, plástico e viscoso, no decorrer da deformação. No caso geral, os corpos rochosos são simultaneamente elásticos plásticos e viscosos (plástico-viscoso-elásticos). A fracturação tectónica parece corresponder a um comportamento elástico-frágil.

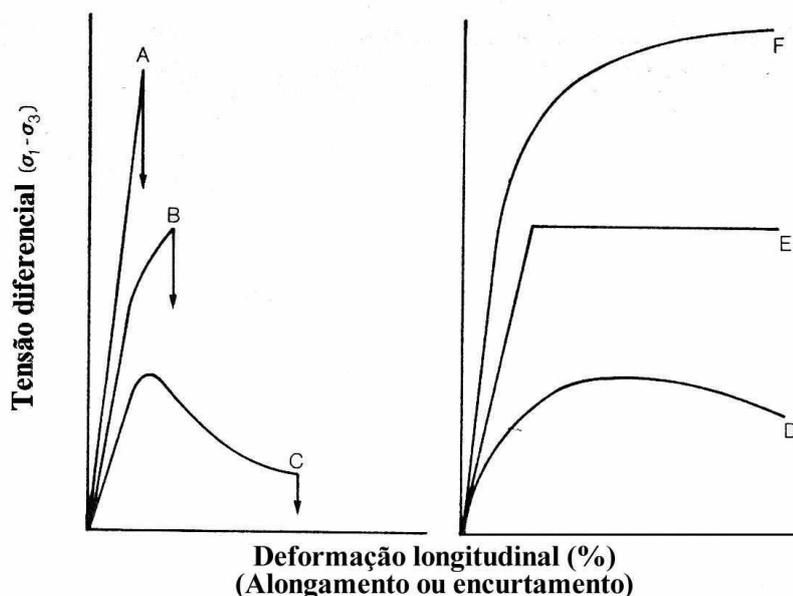


Fig. 2.4.

Curvas

tensão/deformação representativas. A = deformação plástica seguida de rotura (comportamento elástico-frágil) (indicada pela súbita queda de tensão); B = deformação elástica seguida de cedência, deformação plástica e rotura (comportamento semi-frágil); C = deformação elástica, seguida de cedência, "deformação branda" e rotura; D = deformação elástica, seguida de cedência e de "deformação branda"; E = deformação elástica, seguida de cedência e de "deformação plástica"; F = deformação elástica, seguida de cedência e de "deformação rígida"; (adap. Marshak & Mitra, 1988).

2.1.3. Fatores da deformação ao nível da litosfera

Ao nível da litosfera, são diversos os factores que condicionam a deformação das rochas.

2.1.3.1. Fatores extrínsecos

-*Temperatura* – abaixo da superfície, o aumento da temperatura com a profundidade torna as rochas mais dúcteis, favorecendo o seu dobramento

-*Pressão confinante (litostática ou isotrópica)* - O seu aumento com a profundidade torna as rochas mais dúcteis e favorece o seu dobramento.

-*Presença de fluidos* – as rochas são geralmente porosas. Esses poros podem conter fluidos quimicamente reativos que fragilizam a rocha, facilitando a sua fractura. Por outro lado, a pressão que esses fluidos exercem nas paredes dos poros contraria a pressão confinante e conduz à fracturação da rocha (fracturação hidráulica).

-*Anisotropias* – a maioria das rochas possui anisotropias (foliações e lineações). A orientação das tensões tectónicas relativamente a essas anisotropias pode contrariar ou facilitar a fracturação da rocha.

-*Velocidade de deformação* – a sollicitação for lenta favorece a deformação dúctil. Pelo contrário, se as tensões forem aplicadas de forma rápida, a fracturação da rocha é facilitada.

2.1.3.2. Factores intrínsecos

Estes factores estão relacionados com os aspectos mineralógicos e texturais de cada tipo de rocha. Desta forma, diferentes tipos de rocha podem apresentar diferentes respostas perante o mesmo tipo de sollicitação.

2.1.4. Mecanismos de deformação

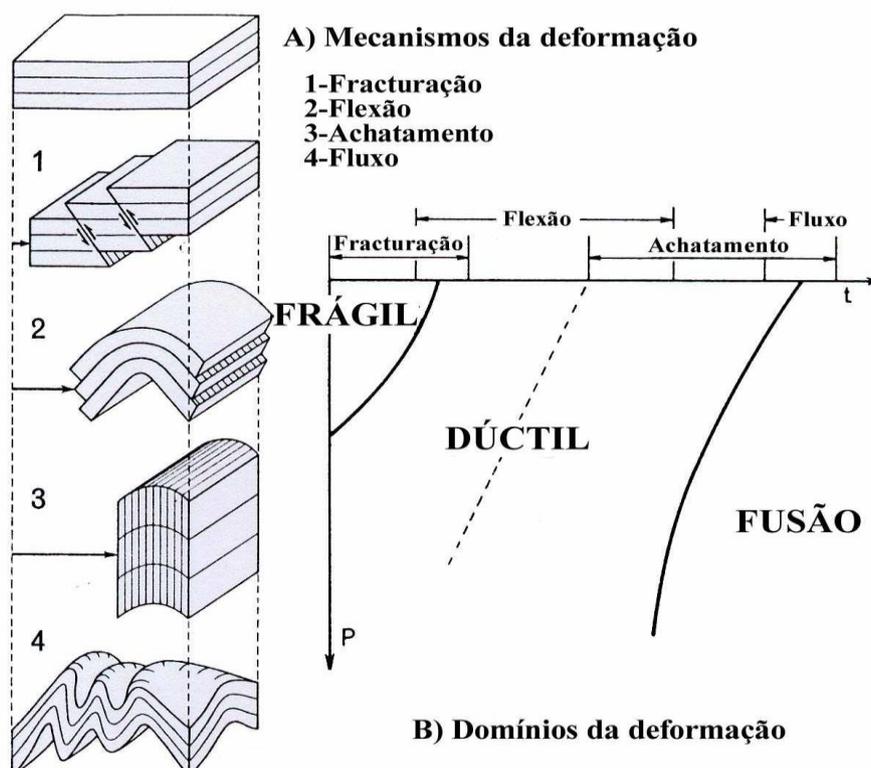


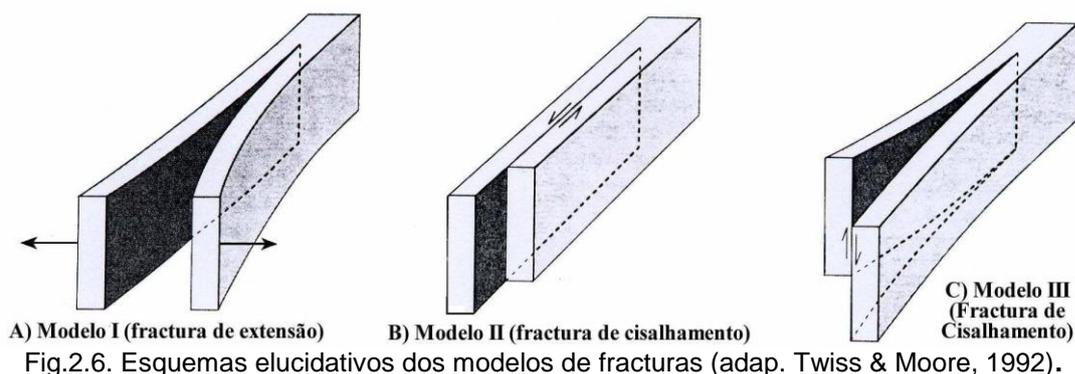
Fig. 2.5. A) Esquema ilustrando os diferentes tipos de deformação; B) Esquema dos domínios dos diferentes comportamentos dos corpos rochosos em função da temperatura e da pressão, e correspondentes mecanismos elementares de deformação (adap. Mattauer, 1973).

- **Fracturação** – é o mecanismo responsável pela formação de fracturas. A deformação manifesta-se através de planos de rotura, ao longo dos quais o material rochoso perde coesão (Fig. 2.5). É uma deformação descontínua;
- **Flexão** – é o mecanismo responsável pela formação do dobramento flexural (concêntrico ou isópaco). A ductilidade dos materiais deformados ainda não é importante. Os estratos dobram-se de uma maneira simples, mantendo constante a sua espessura (Fig. 2.5);
- **Achatamento** - mecanismo que provoca a formação de xistosidade - descontinuidade planar penetrativa - com desenvolvimento de dobramentos similares ou anisópacos. As rochas tornam-se muito dúcteis e facilmente deformáveis. A deformação é intensa e generalizada, provocando a transformação de todos os elementos esféricos de referência em elipsoides achatados e estirados por “esmagamento” (cisalhamento puro) ou cisalhamento (cisalhamento simples) (Fig. 2.5);
- **Fluxo** – o material rochoso escoia de maneira similar à dos líquidos, dando origem a dobramentos diferentes dos referidos anteriormente. É o mecanismo que ocorre quando a rocha atinge temperaturas próximas ou superiores à do seu ponto de fusão, exibindo um comportamento análogo ao dos fluidos viscosos.

Em condições crescentes de pressão e temperatura, ou seja, da superfície para profundidades crescentes, observar-se-á: 1) fracturação (ou cisalhamento); 2) fracturação e flexão; 3) flexão; 4) flexão e achatamento; 5) achatamento; 6) achatamento e fluxo; 7) fluxo.

2.1.5. A fracturação

A fracturação é o mecanismo que ocorre em regime tectónico frágil, a baixa profundidade e num curto espaço de tempo, e é responsável pela formação das fracturas. Estas podem agrupar-se em duas categorias (Fig. 2.6):



2.1.5.1. Fracturas por extensão (fracturas modelo I)

Os bordos da estrutura afastam-se por tracção (extensão) perpendicular às paredes da fractura. Enquadram-se neste tipo as:

-Díaclases

São superfícies de descontinuidade em que os bordos se apresentam unidos; Não exibem deslocamentos paralelos a essa mesma superfície (ou são muito reduzidos).

As diaclases são o tipo de fractura mais comum. Pode dizer-se que estão presentes em praticamente todos os afloramentos.

A intersecção dos sistemas de diaclases conduz, por vezes, à compartimentação da rocha em blocos mais ou menos geométricos e forma 3 tipos de famílias: Diaclases Primarias, Diastróficas e Não Diastróficas

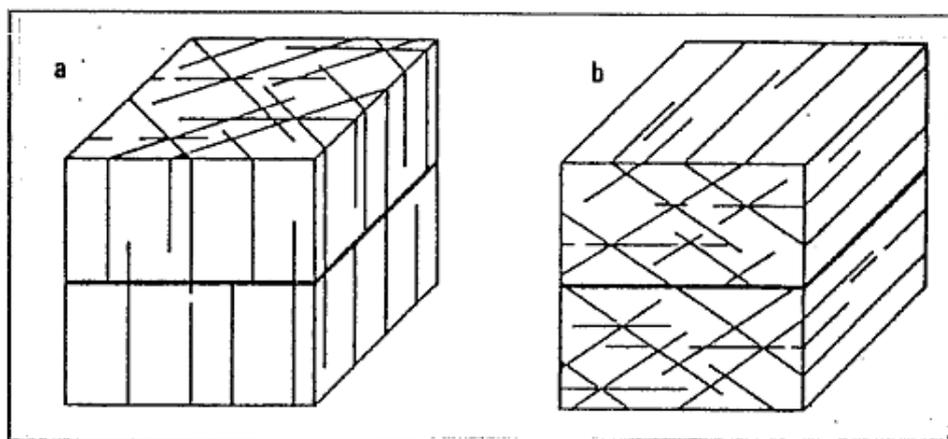


Fig. 2.7. A) Exemplos de redes de díaclases a) Perpendicular a estratificação; b) Obliquas em relação a estratificação (Adap. Blés, 1981).

-Fendas de tracção

Uma fenda de tracção é uma abertura ou rachadura numa superfície e é formada pela acção de forças de tracção. Pode ocorrer em diversas estruturas, como, taludes.

As fendas de tracção servem para avisar quando um talude ou outra estrutura está perto de deslizar. A formação da fenda é um sinal de alerta de que algo pior pode, e está prestes a, acontecer. Estas fendas diminuem a resistência ao cisalhamento e permitem o aparecimento de pressões hidrostáticas favoráveis ao escorregamento. Constate-se, na prática, que antes de ocorrer um deslizamento de terras, no topo do talude o solo rompe-se por tracção, daí resultando a formação de fendas, o que pode ser observado na figura abaixo.

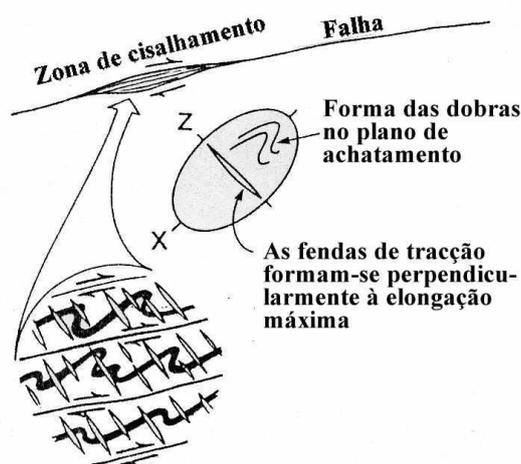


Fig. 2.8 Esquema ilustrado sobre fendas tenção (adap. Twiss & Moores, 1992).

-Estilólitos

São descontinuidades muito irregulares, apresentando uma alternância de picos e reentrâncias (semelhante a diagramas de raio X) que se correspondem de um compartimento para o outro; surgem frequentemente em rochas calcárias e, por vezes, em rochas siliciosas como o grés.

As juntas estilólíticas formam-se por dissolução da matéria rochosa próxima de superfícies de descontinuidade, devido aos esforços tendentes à aproximação dos blocos, por tanto:

- Estilólitos diagenéticos: formam-se durante à diagénese, após o endurecimento dos sedimentos, e apresentam uma forma cilíndrica;
- Estilólitos de origem tectónica: apresentam uma forma cónica (estilólitos cónicos); são nitidamente posteriores à diagénese;

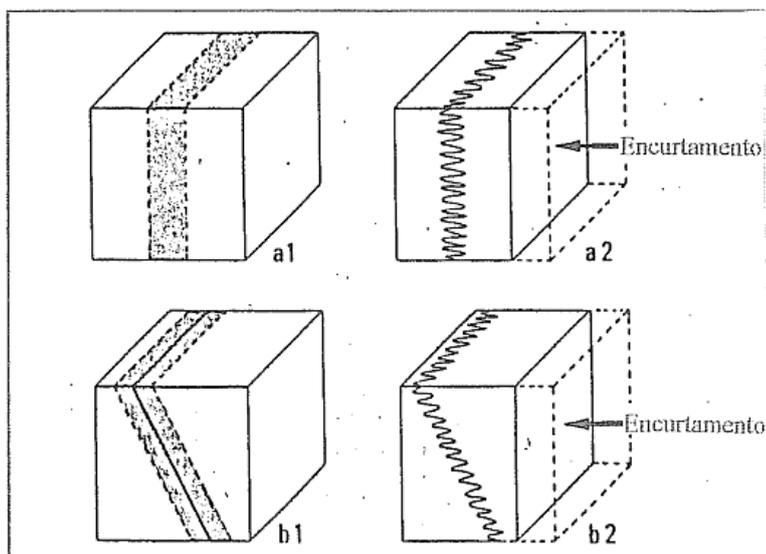


Fig. 2.9 Modos de formação das juntas estilolíticas a) Estilolíticas simétricas; b) Estilolíticas assimétricas segundo uma superfície oblíqua relativamente a direcção do encurtamento 1) Estado inicial; 2) Estado final, após a dissolução da parte sombreada (adap. Blés, 1981).

2.1.5.2. Fracturas de cisalhamento:

Neste tipo de fracturas o movimento relativo faz-se paralelamente à superfície de fractura. As falhas estão incluídas nestes modelos, podendo o movimento relativo ser paralelo à direcção (modelo II) ou ao pendor (modelo III) da falha. Superfícies ao longo das quais os materiais rochosos perdem coesão, como resposta às tensões que sobre eles actuam.

Falha: Superfície de fractura, ou uma zona relativamente estreita, ao longo da qual um dos lados se desloca relativamente ao outro, segundo uma direcção paralela à superfície da fractura ou da zona (movimento de cisalhamento).

- A sua dimensão pode variar desde a escala microscópica, até extensões superiores a centenas ou milhares de quilómetros, englobando os limites das grandes placas tectónicas;
- São, frequentemente, estrutura com uma importância de primeira ordem na crosta terrestre e seu interior.

2.1.5.3. Importância

A consciência do risco dá tempo suficiente para que se faça um planeamento eficaz, não só a esse nível, como também a nível de preparação para os trabalhos de socorro se houver crise. A cartografia ganha aí uma enorme importância (Santos e Dimuccio, 2002). Pois permitira enfatizar pormenorizadamente as zonas sensíveis e vulneráveis a factores de risco como: contaminação, deslizamento, obras de engenharia.

- Científica-são, por excelência, as estruturas geradoras de actividade sísmica. O seu estudo permite compreender os processos de geração dos sismos, de deformação crustal e de edificação das cadeias montanhosas.
- Prática: permitem projectar estruturas de pontes, edifícios, barragens e zonas urbanas, capazes de minimizar os prejuízos causados pelos efeitos devastadores sua actividade. São excelentes armadilhas de hidrocarbonetos.
- Estética: são responsáveis por alguns dos mais espectaculares cenários naturais da superfície terrestre.

2.1.5.4. Tipos de falha

Falhas normais: são caracterizadas por apresentarem o eixo principal de tensão vertical, e o eixo de distensão horizontal. Este tipo de falha relaciona-se, geralmente, com a distensão, no entanto, também se encontra associado a estiramento radial centrífugo em cristas de anticlinais ou estruturas dômicas (Peacock, 2000).

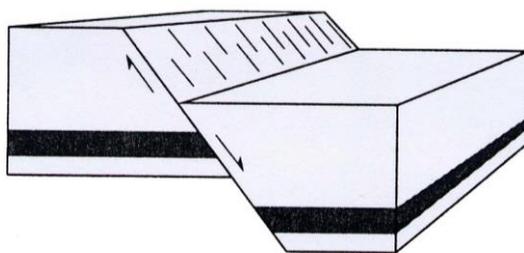


Figura 2.10- Bloco esquemático de uma falha normal (adapt. Hatcher 1995).

Falhas reversas ou de empurrão: são caracterizadas por essencialmente horizontal e vertical. O seu movimento origina um rejeito da falha inversa. O mergulho tem um máximo de 45° com a horizontal. No entanto, este tipo de falha

também pode ser resultante secundário de tectonismo vertical e deslizamento gravitacional, assim, a sua presença não indica necessariamente que a crosta esteja a ser encurtada (Park, 2004).

Falhas inversas: este tipo de falhas reversas, pois o seu mergulho é maior que 45° . A explicação reside no facto que estas falhas podem ser uma reactivação de falhas normais ou que os seus principais eixos de tensão não são necessariamente horizontais em profundidade (Davis e Reynolds, 1996).

Falha transcorrentes ou de Rejeicional: ocorrem quando o movimento é principalmente horizontal, ou seja são horizontais. Este tipo de falhas resulta de movimentos cisalhantes ao longo de um plano vertical ou subvertical, (Park, 2004).

Falhas não Rotacionais: São falhas em que o pendor aparente, medido na direcção do deslocamento, não se altera com a profundidade; a própria falha não sofreu rotação durante o falhamento.

Falhas Rotacionais: São falhas em que o pendor varia com a profundidade; o deslizamento provoca uma rotação ou deformação do bloco do tecto; característica no bloco do tecto: Sinclinal de rampa de falha e Anticlinal de curvatura de falha.

Falhas reversas ou de empurrão: são caracterizadas por essencialmente horizontal e vertical. O seu movimento origina um rejeito da falha inversa. O mergulho tem um máximo de 45° com a horizontal.

Falhas inversas: este tipo de falhas reversas, pois o seu mergulho é maior que 45° . A explicação reside no facto que estas falhas podem ser uma reactivação de falhas normais ou que os seus principais eixos de tensão não são necessariamente horizontais em profundidade. As trajectórias de tensão se tornam inclinadas e ou curvadas como resultado de variações no estado de tensão lateral e verticalmente (Davis e Reynolds, 1996).

Falha transcorrentes ou de Rejeicional: ocorrem quando o movimento é principalmente horizontal, ou seja são horizontais. Este tipo de falhas resulta de movimentos cisalhantes ao longo de um plano vertical ou subvertical, (Park, 2004).

Falhas Lítricas: são superfícies por onde as paredes rochosas movimentam-se entre si.

Falhas em anel: Caldeiras são estruturas formadas pelo colapso de rochas superficiais para o interior de uma câmara magmática, que se esvaziou durante uma erupção explosiva (A e B) da figura 2.11.

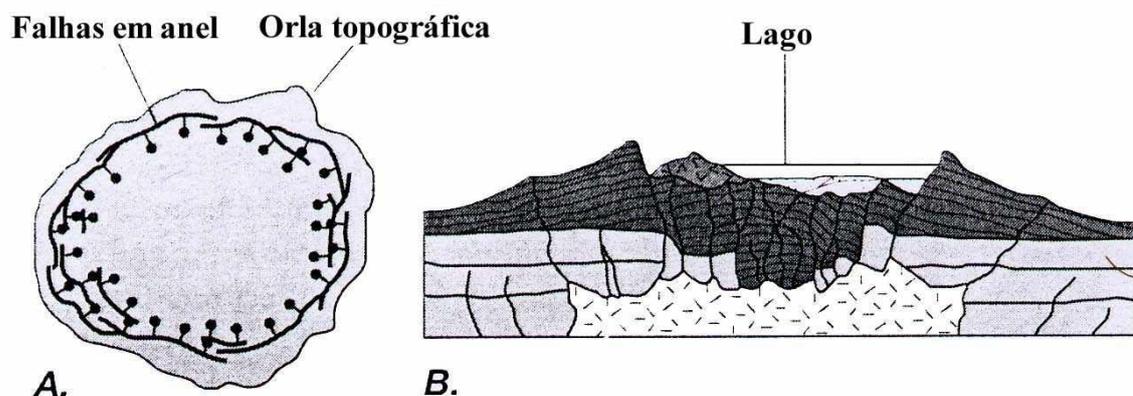


Figura 2.11- Falhas normais associadas com uma caldeira. A) Mapa esquemático; B) Secção transversal esquemática (adap. Twiss & Moores, 1992).

2.1.5.5. O dobramento

Conceito de dobra: são estruturas curvilineares que se formam em rochas contendo figuras planares (estratificação, foliação, clivagem, etc.); resultam de mecanismos de compressão crustal que acompanham o processo de formação das cadeias montanhas;

A grande variedade de tipos geométricos existente deve-se não só a diferenças na origem mecânica das estruturas como a diferentes comportamentos reológicos das rochas durante o processo de dobramento.

Resultam de lentos processos de compressão crustal que acompanham o processo de formação das cadeias montanhas; A grande variedade de tipos geométricos existente deve-se a:

- Diferenças na origem mecânica das estruturas;
- Diferentes comportamentos reológicos das rochas durante o processo de dobramento

A natureza é tão rica em variedades de dobras que têm sido imensos os critérios propostos e utilizados para a sua classificação. Deste modo, apresentam-se aqui os mais importantes, figura 2.12

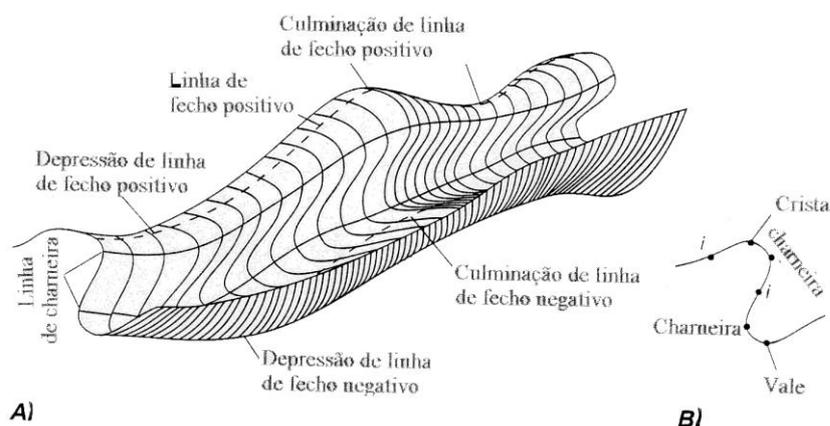


Figura 2.12- Linhas do fecho positivo e negativo A) Vista tridimensional de uma dobra; B) Vista em perfil de uma charneira (adapt. Twiss & Moores, 1992).

2.2. Aplicação da Detecção Remota às Geociências

Os primeiros sistemas de sensores de Detecção Remota orbital eram generalistas (como os sensores a bordo dos primeiros satélites Landsat), ou seja, não foram concebidos de modo a adquirir informação que servisse principalmente para uma determinada aplicação. Posteriormente foram concebidos sensores e utilizadas bandas espectrais dedicadas a servir aplicações específicas. Hoje em dia estão colocadas em órbita da Terra sistemas de sensores dedicados ao estudo dos oceanos, da atmosfera, dos solos, etc.

Os objectivos da utilização de imagens de Detecção Remota na Geologia são: visualizar os fenómenos geológicos a uma escala global, em bandas espectrais diferentes das do visível, uma perspectiva diferente da que se tem quando se recolhe informação ao nível do solo, e reduzir a quantidade de trabalho de campo (Fonseca & Fernandes, 2004).

A informação obtida por Detecção Remota é combinada com dados de outras fontes que fornecem informação complementar. As imagens de Radar

fornece informação sobre a topografia e rugosidade da superfície. Estes diferentes tipos de informação podem conjugar-se com informação termal, modelos altimétricos, medições de parâmetros geofísicos e de dados recolhidos no campo.

Na cartografia estrutural pretende-se registar estruturas tais como falhas, diáclases, dobras e lineamentos. No início da utilização das primeiras imagens Landsat, em aplicações geológicas, um dos primeiros objectivos da análise das imagens era detectar lineamentos.

2.2.1 – Interação com a superfície terrestre

Para compreendermos a forma como a radiação electromagnética interage com os principais tipos de cobertura da superfície terrestre, utiliza-se o gráfico da variação espectral dessas coberturas em função do comprimento de onda, designado curvo de reflectância espectral.

A utilização eficiente da informação recolhida por Detecção Remota exige o conhecimento das características espectrais dos diferentes tipos de coberto da superfície terrestre, assim como dos factores que a condicionam. Para um dado tipo de coberto é possível identificar a banda de frequências em que a sua assinatura espectral é mais característica.

2.2.2 - Interação com o solo

As curvas de reflectância espectral dos solos são menos complexas do que as da vegetação. As variações destas curvas reflectem essencialmente o teor de água, a sua textura, a rugosidade da superfície, as características físicas e químicas dos seus constituintes e o teor em matéria orgânica. O aumento do teor em água produz uma diminuição dos valores de reflectância dos solos diminuindo a amplitude da curva de reflectância espectral e acentuando ligeiramente o efeito das bandas de absorção da água.

As diferenças em textura estão relacionadas com as diferenças em teor de humidade, pois os solos constituídos por partículas finas retêm mais humidade do que os solos constituídos por partículas mais grosseiras. Por

outro lado, os solos constituídos por partículas finas, tais como o lodo, são mais compactos do que os solos tipo areias reflectindo uma maior percentagem da radiação electromagnética incidente, para um mesmo teor de humidade.

2.2.3 - Interação com a água

A água apresenta uma curva de reflectância espectral muito particular, devido ao facto de absorver totalmente a radiação electromagnética para os comprimentos de onda acima do visível, e logo não reflectir praticamente nenhuma radiação nos comprimentos de onda do infravermelho. Assim, corpos de água de pequenas dimensões diferenciam-se com muita facilidade da vegetação ou dos solos e são facilmente identificáveis em imagens de Detecção Remota.

A água no visível ostenta cor azul-verde devido à reflectância nos comprimentos de onda e cor negra no domínio do vermelho e infravermelho próximo, devido à elevada absorção para estes comprimentos de onda. A presença de sedimentos em suspensão, o aumento da temperatura e a presença de algas aumentam a reflectividade da água (Rabaça, 2001).

2.2.4 - Interação com as rochas

Os minerais constituintes de uma rocha são responsáveis directos pelo seu comportamento espectral. Dada a grande variedade de minerais conhecidos e a imensa heterogeneidade mineralógica das rochas, a resposta espectral de um substrato terá de ser analisada de forma conjunta. Esse comportamento depende também de factores como a textura, grau de alteração, cobertura de solo e cobertura vegetal. Daqui se depreende a enorme variabilidade do comportamento espectral do substrato rochoso (Rabaça, 2001).

2.2.5 - Filtros e sua importância

Técnicas de filtragem foram ainda utilizadas para realçar aspectos específicos, em particular dos lineamentos estruturais; neste caso, a análise

suportou-se na aplicação de filtros do tipo direccional segundo várias direcções espaciais.

Seguindo os critérios definidos em Pinho (2009) escolheu-se três categorias de critérios para a identificação de lineamentos estruturais na área de estudo: a informação radiométrica, a geometria do lineamento, e a estrutura geológica. Relativamente à primeira, os lineamentos foram reconhecidos pelo seu brilho, cor e textura. No que concerne à segunda, foram identificados pela sua forma, tamanho, continuidade e contexto espacial. No que respeita a terceira os alinhamentos foram reconhecidos pela sua direcção, paralelismo e continuidade (Feio & Brito, 1949; Keller & Pinter, 1996; Leller, 2002; Gomes, 2008). Referenciados por Mpenço (2010) ver (Figura 2.13).

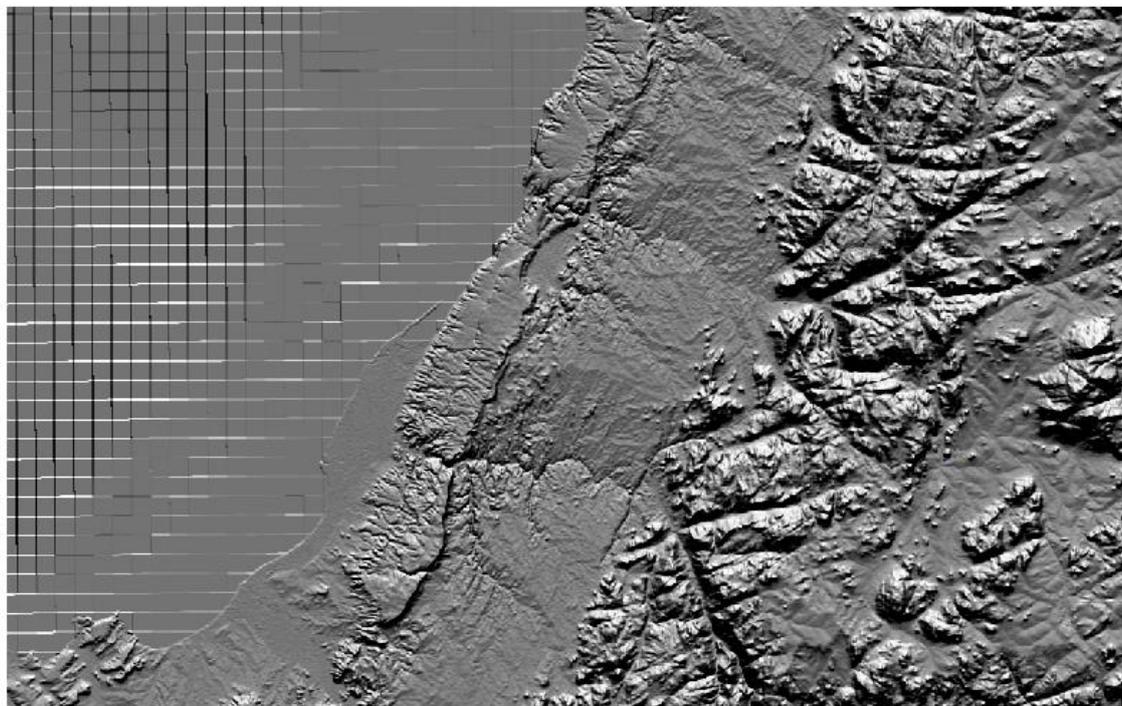


Figura 2.13- Filtro direccional extraído do ArcMap, imagens obtidas pelo sensor ETM+, do satélite Landsat 7.

2.2.6 – Interpretação morfotectónica

A interpretação morfotectónica de uma área de estudo é essencial à interpretação e correlação das unidades geológicas e das estruturas tectónicas que as deformam. É do objetivo da interpretação morfotectónica reconhecer os efeitos da tectónica sobre a paisagem, através da identificação das morfoestruturas dominantes. São de particular interesse os alinhamentos estruturais

que dominam a disposição do relevo e o traçado da rede hidrográfica, que podem traduzir a existência de falhas, fraturas, clivagens e xistosidades, eixos de dobras ou litologias de maior dureza. Formas de relevo alongadas como as cristas e os vales podem traduzir altos e baixos estruturais e evidenciar a disposição geométrica do soco (assumindo o princípio da isostasia). Os dobramentos (antiformas e sinformas) podem ser realçados se as unidades litológicas envolvidas tiverem durezas contrastantes e se os eixos forem mergulhantes ou verticais.

CAPÍTULO 3 – ENQUADRAMENTO REGIONAL DE BENGUELA

Benguela é uma das 18 províncias da República de Angola. Segundo CONSULT (2007) ocupa uma área de 39.827 km². Está localizada a Oeste da zona central do país e faz fronteira, a Norte com a Província do Kwanza Sul, a Leste com a do Huambo, a Sudeste com a da Huíla, a Sudoeste com a Província do Namibe e a Oeste com o Oceano Atlântico. (Fig. 3.1).

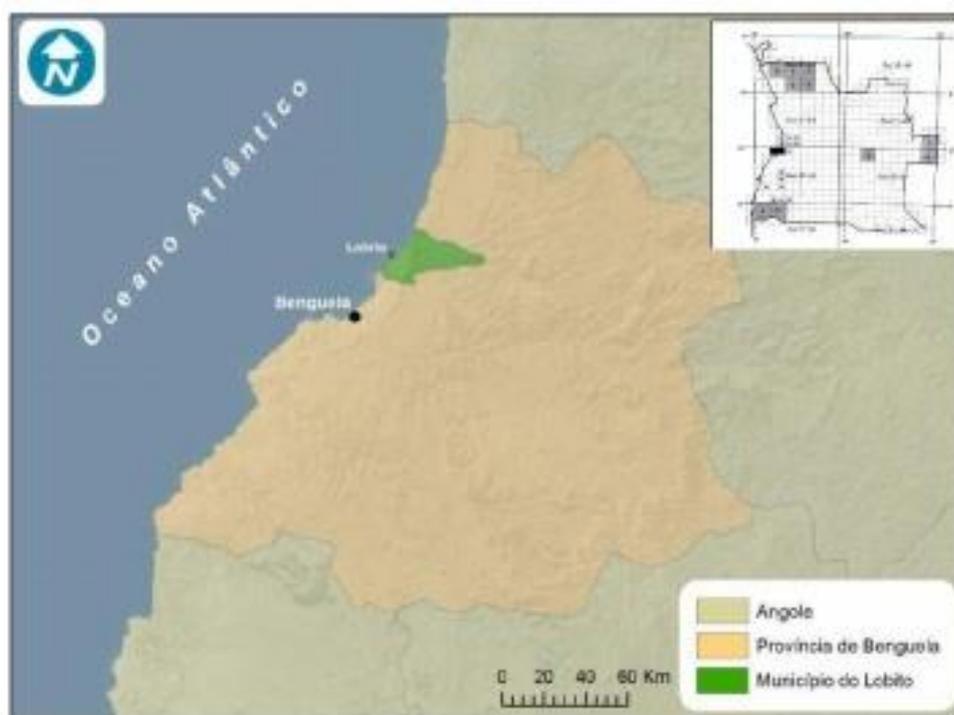


Fig. 3.1- Localização da Província de Benguela com realce do município do Lobito (imagem composta através do Auto Cad).

O Município do Lobito localiza-se na região Centro Oeste do território angolano, na parte noroeste (NW) da província de Benguela, entre as coordenadas de 12° 29' 08" Sul e 13° 35' 0,6" Oeste. Com uma extensão de

Caracterização morfoestrutural da região de Bimbas-Hanha-Biópio (Benguela, Sudoeste de Angola), com base em técnicas de detecção remota: contributo para a cartografia regional

3.685 km², representa cerca de 9,25% da Província de Benguela. Dista cerca de 540 km da capital do País, Luanda, e 33 Km da cidade de Benguela, sede da Província. Contacta, a Norte, com a Província do Kwanza Sul, a Este com o Município do Bocoio, a Sul e Sudeste com o Município de Benguela e a Oeste com o Oceano Atlântico.

3.1 – Enquadramento Geológico

3.1.1. Geologia Regional

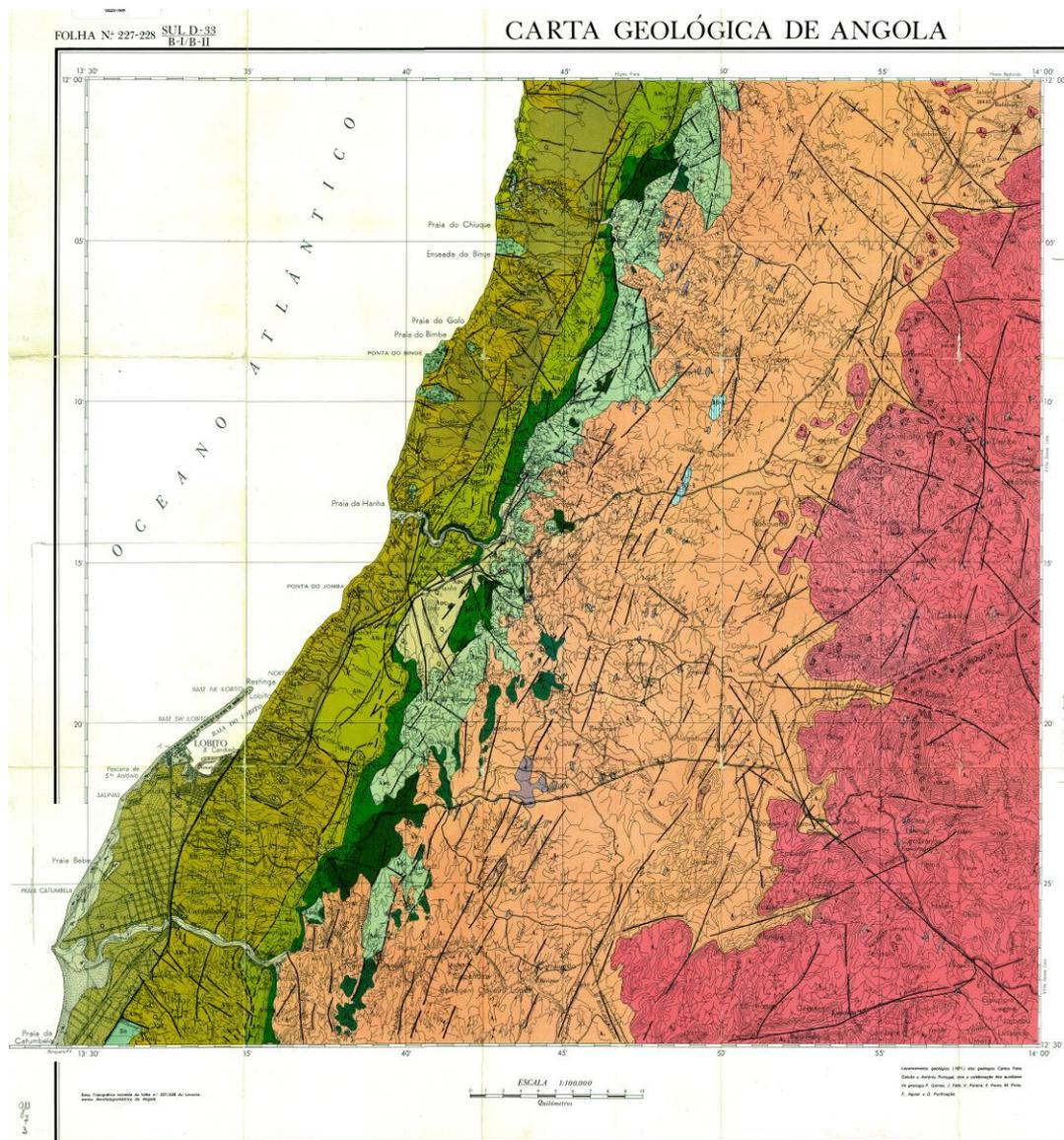


Fig. 3.2 A). Representação das folhas 227-228 da Carta Geológica de Angola à escala 1/100 000 (Galvão & Portugal, 1971).

Caracterização morfoestrutural da região de Bimbas-Hanha-Biópio (Benguela, Sudoeste de Angola), com base em técnicas de detecção remota: contributo para a cartografia regional

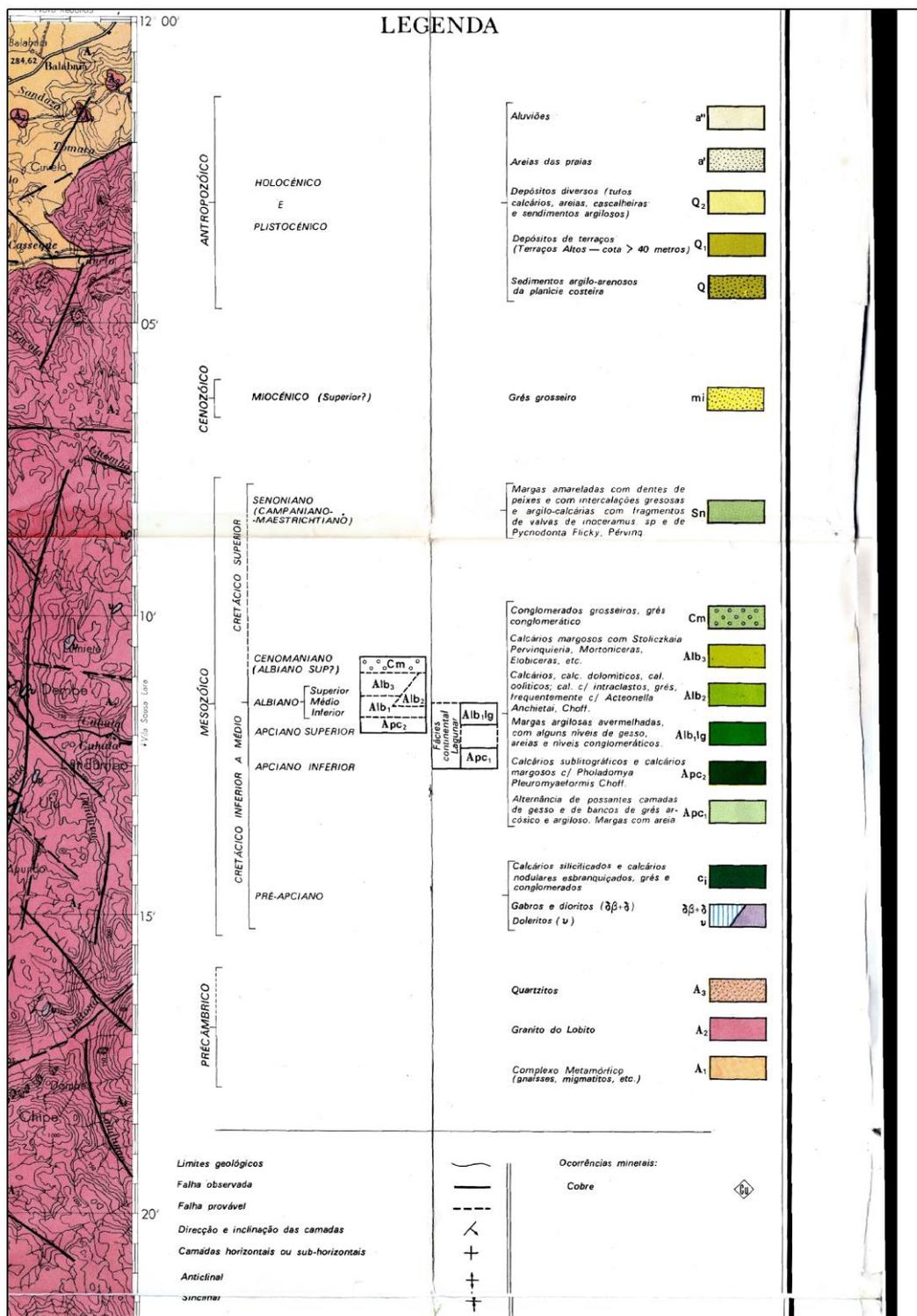


Fig. 3.2 B). Legenda das folhas 227-228 da Carta Geológica de Angola à escala 1/100 000 (Galvão & Portugal, 1971).

A geologia da Província de Benguela é constituída por formações de idade Pré-Câmbrica a Cenozóica. Considerando as folhas 227-228 da carta Geológica de Angola à escala 1/100 000 (Galvão & Portugal, 1971) (Fig. 3.2) e a respetiva notícia explicativa (Galvão & Silva, 1972), bem como a carta geológica da Bacia de Benguela (Buta-Neto et al, 2006), distinguem-se, de oeste para este, três zonas distintas, grosseiramente paralelas entre si: i) a Faixa Litoral (sedimentar); ii) o Complexo Metamórfico; iii) a zona dos granitos.

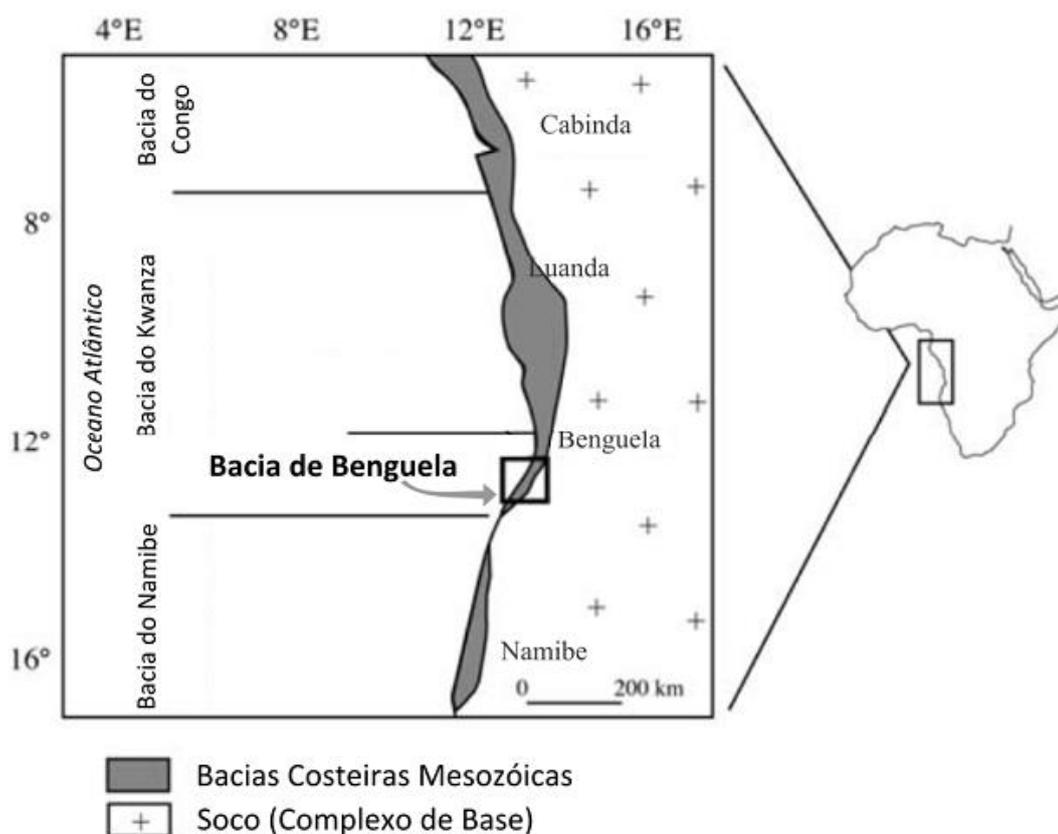


Fig. 3.3 – Bacias sedimentares peri-atlânticas de Angola, com indicação da Bacia de Benguela inserida na Bacia do Kwanza (Quesne et al., 2009).

i) “Faixa Litoral”: estende-se paralelamente à linha de costa e possui cotas superiores a 120 metros. Com uma largura máxima de 20 km, é maioritariamente composta por rochas sedimentares com orientações N-S a NNE-SSE, onde se destacam as formações carbonatadas, as siliciclasticas e as evaporíticas, com idades compreendidas desde o Cretácico (Apciano) ao Holocénico. Corresponde ao sector emerso da Bacia de Benguela, uma das

bacias sedimentares localizadas no litoral angolano, possuidora de um registo estratigráfico bem definido, que está relacionado com a abertura do Atlântico Sul a partir do Cretácico Inferior. Brognon & Venier (1966) referem o facto de que a Bacia de Benguela (Fig. 3.3) ser parte integrante da grande Bacia do Kwanza. No entanto, autores como Buta-Neto et al, (2006), Tavares et al, (2006), Guiraud et al, (2010), consideram-na como uma unidade independente, embora com registo estratigráfico semelhante e equivalente.

Nesta zona assinala-se ainda a existência de terraços plistocénicos realçados por arribas fosseis e plataformas desenvolvidas sobre calcários cretácicos e ou por depósitos com alguns metros de espessura (Carvalho, 1961). A formação dos terraços baixos foi desenvolvida numa planície de delta relacionada com o rio Catumbela e constituída por depósitos de granulometria fina, numa fase pós-glacial.

ii) “Complexo Metamórfico”: constitui uma faixa localizada imediatamente a oriente da anterior, e paralela a ela. Com uma largura de cerca de 15-20 km, é constituída por rochas metamórficas maioritariamente pré-câmbricas (Proterozóico), com predomínio dos gnaisses e dos migmatitos e uma presença relativa de micaxistos. Segundo Galvão & Silva (1972) na região do Complexo Metamórfico ocorrem filões de diabases com direcções NE-SW.

iii) Zona Granítica: situada no sector leste das folhas 227/228 (Galvão & Portugal, 1971; Galvão & Silva, 1972), é constituída por rochas graníticas com idades que oscilam entre o Pré-câmbrico e o Apciano. Estes granitos apresentam um grão médio a fino e textura xenomórfica granular.

A zonas II e III são designadas globalmente com “Complexo de Base” do Cratão do Congo.

3.1.2. Tectónica Regional

Na Faixa Litoral, o Mesozóico da bacia de Benguela apresenta-se nitidamente afectado pelo rejogo, sin e pós sedimentar, de vários sistemas de falhas, de orientação predominante NNE-SSW e NE-SW (Galvão & Silva, 1973) (Fig. 3.2). A disposição e a extensão destas estruturas estão relacionadas não

só com os movimentos regionais de grande escala que afectaram a margem continental angolana desde o início do *rifting* infracretácico, mas também com os movimentos associados à tectónica salífera. As formações do Cretácico inferior estão ainda deformadas por dobras abertas, em anticlinal-sinclinal, alinhadas segundo a direcção NE-SW.

As intrusões graníticas e as unidades metamórficas do Complexo de Base revelaram a presença de alinhamentos de falhas de orientação preferencial NE-SW a NNE-SSE, concomitantes com as da Faixa Litoral, o que sugere reactivações de falhas mais antigas a partir do início do *rifting* cretácico. Para além destes sistemas de fracturação que afectam as formações geológicas da área em estudo, também se verifica a presença de um outro alinhamento de menor importância e de orientação NW-SE.

3.2. Enquadramento Geomorfológico

Segundo Marques (1977) a geomorfologia de Angola esta dividida em 7 grandes grupos (Figura 3.4a), dos quais destacamos o grupo VII (orla litoral) e o grupo III (zona de transição) definidos para a região de Benguela (ver boletim de minas v44 n°2 p99). Por outro lado, Diniz (1998) classifica a geomorfologia de Angola em 11 grupos (Figura 3.4b), mas os dois autores convergem nas ideias quanto à região de Benguela, foi realizado o presente estudo. Para a região em estudo definem a faixa litorânea (Diniz, 1998) ou orla litoral e a zona de transição (Marques, 1977) ou faixa sub-planáltica (Diniz, 1998).

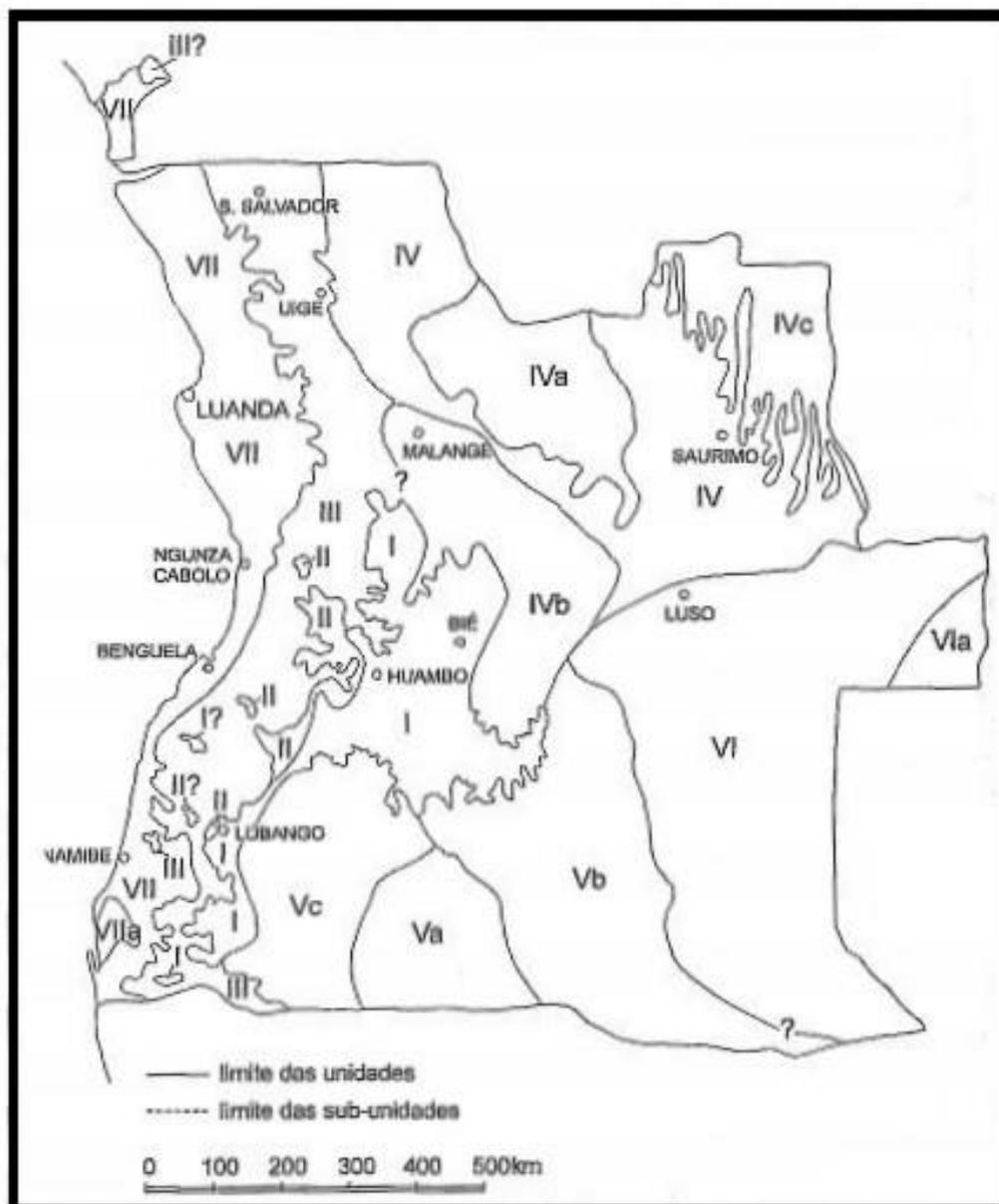


Figura 3.4a – Carta geomorfológica de Angola segundo Marques (1977). II-Planalto antigo; II-Cadeia Marginal de Montanhas; III-Zona de Transição; IV-Orla Meridional da Bacia do Congo (a. Depressão de Cassinga; b. Depressão de Cuanxa-Luanda; c. Depressão do Cassai); V-Orla Setentrional da Bacia do Calaari (a. Depressão endorreica do Cuvelai-Lueque; b. Bacia do Cubango; c. Depressão do Cunene); VI-Bacia do Zambeze (a. Maciço do Alto Zambeze); VII-Orla Litoral (a. Deserto de Moçamedes).

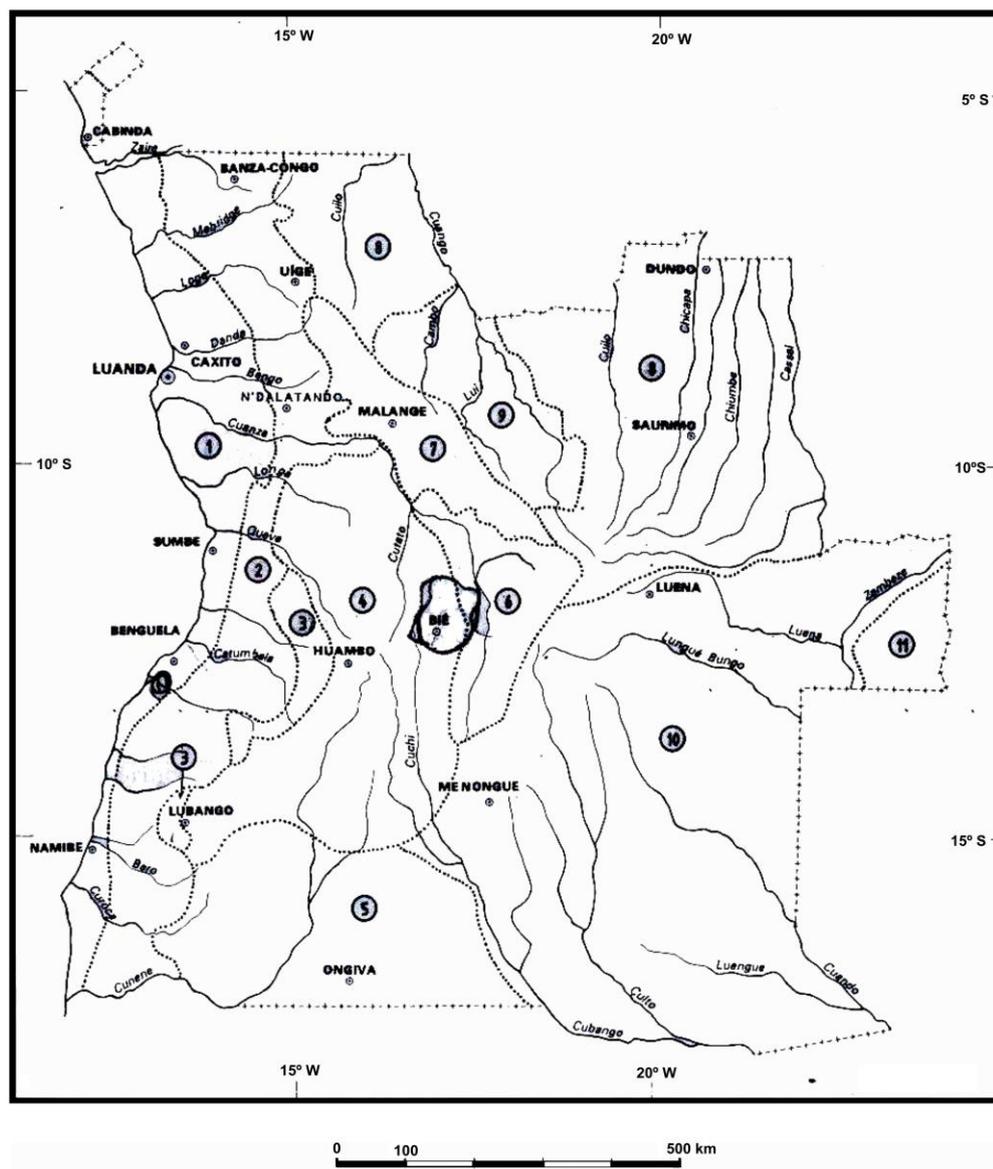


Figura 3.4b – Mapa Geomorfológico de Angola segundo Diniz (1998). 1-Faixa Litorânea; 2-Faixa Sub-planáltica; 3-Montanha Marginal; 4-Planalto Antigo; 5-Baixo Cunene; 6-Alto Cunene; 7-Planalto de Malange; 8-Peneplanície do Zaire; 9-Baixa do Cassange; 10-Peneplanície do Zambeze-Cutango; 11-Macício do Alto Zambeze.

- Zona de transição ou faixa subplanáltica: resulta do rejogo da flexura continental, tendo-se modelado a partir do Terciário médio. Ocupa uma faixa paralela ao oceano Atlântico, que se estende desde o interior de Cabinda até ao oeste do Lubango e rio Cunene. Compreende a extremidade ocidental do Complexo Base do Cratão do Congo e possui altitudes médias entre os 400 m e os 600 m. Nela se erguem formas residuais de relevo, como os montes-ilhas,

plataformas salientes delimitadas por escarpas, degraus e serranias, com cumes a atingirem cotas de 1000 m de altitude (Marques, 1977; Diniz, 1998).

Orla litoral ou faixa litorânea: este grupo ocupa uma faixa com uma largura média entre os 100 km e os 200 km. Exibe uma aplanção recente que é consequência de uma abrasão marinha, a oeste, e ao recuo da escarpa litoral, a leste. Compreende as formações sedimentares meso-cenozóicas e as suas altitudes médias situam-se na ordem dos 150 m a 250 m. No interior, em alguns locais, chega a ultrapassar os 300 m, decaindo suavemente para o litoral numa arriba marinha que marca desníveis na ordem dos 100m aos 150 m. A descontinuidade desta plataforma deve-se à ação do curso dos rios que abrem vales largos e profundos, desenhando extensas planícies fluviais (Marques, 1977 e Diniz, 1998).

Como em qualquer outro local, o relevo da zona de estudo resultou da interação de vários factores, salientando-se a natureza diversificada da sua litologia (rochas sedimentares, ígneas e metamórficas), a evolução tectónica regional e local, o clima e os processos erosivos (Technoexportstrov, 1990).

Na faixa litorânea são de destacar:

- i) a planície litoral e aluvial, de cota baixa, sujeita aos processos costeiros e aluvionares, com os seus relevos mais acentuados sob a forma de arribas e colinas, cortadas por vales profundos de vertentes verticalizadas;
- ii) a restinga do Lobito e o delta do rio Catumbela (Carvalho, 1961). A formação da restinga do Lobito parece estar associada ao transporte de areias pelo mar. A deriva litoral, que se faz de Sul para Norte, arrasta, nesse sentido, parte do material aluvionar do rio Catumbela e o redistribui um pouco mais a norte, sob a forma de uma restinga de orientação NE-SW, com cerca de 5 km de comprimento por 150 m de largura.
- iii) a zona fronteira à linha de costa, marcada por um alinhamento definido por uma escarpa de fácies carbonatada, que na parte norte do Lobito corresponde a uma antiga arriba holocénica (Feio, 1960). Este escarpamento está associado a um falhamento sub-meridiano com rejogo intra-pleistocénico;
- iv) dois patamares de terraços marinhos localizados para o interior, na zona entre Lobito e Benguela, de idade pleistocénica superior a holocénica.

O Complexo Metamórfico forma uma grande depressão que se alonga segundo NNE-SSW.

CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO MORFOESTRUTURAL

4.1. Noção de “lineamento estrutural”

4.1.1. Conceito

Utilizado primeiramente por Hobbs (1904), o termo “lineamento estrutural”, foi definido como sendo “linhas marcantes da paisagem que revelam a arquitectura escondida do substrato rochoso”. Segundo Gomes (2008), lineamentos estruturais são características lineares que podem ser traçadas a partir das imagens de fotografia aérea ou de satélite. Nesse sentido, podem ser compreendidos como elementos lineares cartografáveis, que diferem dos padrões patentes para áreas adjacentes e reflectem, presumivelmente, estruturas subsuperficiais (O’ Leary *et al.*, 1976). Estes elementos podem ser detectados pelo alinhamento linear de estruturas morfológicas como vales e escarpas, bem como por características tonais que, em muitos casos, são expressões superficiais de fracturas (Lillesand *et al.*, 2003).

De modo geral, podemos descrever um lineamento estrutural como “um elemento linear cartografável, simples ou composto, de características rectilíneas ou ligeiramente curvilíneas, observado à distância e na superfície da Terra, relacionado com um processo geológico / geomorfológico natural, não antrópico” (Brum da Silveira, 2002), revelador de uma falha ou de outra linha de fraqueza da crosta terrestre (Sabins, 1997). Estas estruturas lineares estão associadas a fracturas (certas ou prováveis), a limites ou contactos geológicos, a filões, a eixos de dobras e a xistosidade.

A interpretação de imagens de satélite é uma etapa prévia e crucial para a maioria dos trabalhos de cartografia geológica, estrutural e geomorfologia que se baseiam em apurado trabalho de campo, especialmente quando se estudam áreas remotas (Lillesand *et al.*, 2003).

Com efeito, a percepção visual do ser humano apresenta limitações, visto que, a sensibilidade espectral das nossas células sensoriais, é restrita (só

vemos um determinado tipo de energia, a que corresponde ao espectro visível), por outro lado, a estatura humana diminui, tanto a área que conseguimos observar, como a perspectiva de visualização (Salinero, 2007).

O recurso a sensores artificiais, a bordo de plataformas localizadas a altitudes variáveis, permite atenuar estas limitações, ao proporcionar o acesso a tipos de energia não visível (ultravioleta, infravermelho e micro-ondas), e fornecer uma nova perspectiva panorâmica, evitando os longos e dispendiosos trabalhos de campo em terrenos de difícil acesso e com más condições de observação.

4.1.2. Critérios de identificação.

As imagens de satélite são adquiridas em formato numérico, sendo compostas por *pixel* associados a níveis digitais (intensidade radiométrica). Estes podem ser convertidos em níveis de cinza ou em níveis de cor (composições coloridas), favorecendo a interpretação visual. Logicamente, as imagens podem ser interpretadas digital ou visualmente.

Ao contrário do tratamento digital, que se baseia, quase exclusivamente, na intensidade radiométrica de cada *pixel* em cada banda utilizada, a análise visual permite incorporar, na interpretação da imagem, outros critérios, como a textura, a estrutura e a disposição, critérios esses muito difíceis de definir em termos digitais. No processo de interpretação visual de imagens de satélite, empregam-se os seguintes critérios de identificação, similares aos da foto-interpretação clássica (Salinero, 2007):

– Brilho: faz referência à intensidade de energia recebida pelo sensor para uma determinada banda do espectro. Obviamente, o brilho de um determinado alvo varia em função da banda utilizada: a vegetação, por exemplo, aparece em tons mais claros na banda do infravermelho próximo do que na banda do vermelho;

– Cor: a cor que os nossos olhos percebem é fruto da reflectividade selectiva dos objectos em diferentes comprimentos de onda. Um elemento que apresente a cor verde, significa que apresenta alta reflectividade na banda

verde, e baixa nas restantes. A cor que os alvos apresentam depende, logicamente, das composições coloridas RGB utilizadas;

– Textura: faz referência à heterogeneidade espacial de um alvo, no que concerne ao contraste espacial entre os elementos que o compõem. Se essa heterogeneidade for elevada, o objecto apresentar-se-á, visualmente, com grande rugosidade; se for baixa, apresentar-se-á com grande suavidade;

– Contexto espacial: por contexto espacial entende-se a localização de determinados alvos em relação a elementos vizinhos da imagem. A classificação digital não considera o contexto geográfico: por exemplo, determinados jardins no interior de uma área urbana podem ter um tom, cor e textura muito similares a uma floresta natural de caducifólias. A separação destes elementos implica a análise do contexto espacial: os que surgem em áreas edificadas são parques urbanos;

– Sombras: o mesmo alvo pode apresentar reflectividades diferentes dependendo da exposição geográfica das vertentes (soalheira ou úmbria) e, portanto, há que ter em conta este elemento, de modo a evitar demarcar fronteiras quando as diferenças residem apenas nas condições de iluminação.

– Padrão espacial: este critério diz respeito à organização peculiar dos objectos que formam uma determinada cobertura (ex: plantações artificiais de eucaliptos, campos de golfe, etc.);

– Forma e tamanho: a forma de um alvo é importante para a sua identificação, já que o seu contorno permite associá-lo a um padrão familiar. A forma permite a distinção, por exemplo, entre estradas e linhas de caminhos-de-ferro (de traçado menos sinuoso), entre rios e canais artificiais (estes últimos com um aspecto mais geométrico). A forma permite igualmente reconhecer estruturas geológicas bem definidas, como por exemplo lineamentos. O tamanho complementa a identificação de uma cobertura: por

exemplo, a forma de um campo de ténis e de um campo de futebol é similar, mas não o seu tamanho.

No caso específico de estruturas geomorfológicas como os lineamentos, estas podem ser reconhecidas visualmente, em fotografias aéreas ou em imagens de satélite, como assinala Brum da Silveira (2002), através da identificação de elementos lineares (traços ou linhas) que se distinguem, por exemplo, através de diferenças na tonalidade, cor, contraste, variações de textura ou de padrões pictóricos de áreas, relacionados, entre outros, com a diversidade na vegetação, teor de humidade, tipo de substrato rochoso ou composição dos solos.

No presente trabalho, recorreu-se à interpretação visual dos alinhamentos morfoestruturais da área em estudo, a partir do modelo digital de terreno (MDT) construído com um filtro direccional N-S e E-W, a partir de imagens obtidas pelo sensor ETM+ do satélite Landsat 7 (ver Fig. 2.7). Os vectores correspondentes aos lineamentos interpretados foram traçados em ambiente de SIG no programa (ArcGis 9.2), tendo-se obtido uma imagem com os lineamentos estruturais – cartas, à escala de 1:600.000.

4.2. Análise morfológica

A análise morfológica feita à área de estudo, com base no modelo digital de terreno (MDT; Fig. 2.7), permitiu distinguir quatro províncias fisiográficas dispostas em faixas grosseiramente paralelas, todas elas com uma orientação geral NNE-SSW (Fig. 4.1). São coincidentes com as três grandes zonas litológicas definidas para a região por Galvão & Portugal (1971) e por Galvão & Silva (1972). De oeste para leste, sucedem-se: i) Planície Litoral; ii) Planície Intermédia; iii) Orla Alta; iv) Planalto Antigo.

4.2.1. Planície litoral

Esta província fisiográfica está repartida em três retalhos dispostos ao longo do litoral, o maior dos quais se estende da Restinga do Lobito a Benguela, abrangendo a desembocadura dos rios Catumbela e Cavaco (Fig. 4.1). Os outros dois retalhos, mais pequenos, situam-se no sector do Vale de

Hanha e linha litoral adjacente (Ponta do Jomba e Praia da Hanha). Compreende os depósitos fluviais e litorais de idade plisto-holocénica que se estendem ao longo da linha de costa, que nas folhas 227-228 da Carta Geológica de Angola à escala 1/100 000 (Galvão & Portugal, 1971) e respetiva notícia explicativa (Galvão & Silva, 1972) são designados por Q (sedimentos argilo-arenosos da planície costeira), Q2 (tufos calcários, areias, cascalheiras e sedimentos argilosos), a' (areias de praia) e a'' (aluviões). O seu relevo é baixo a muito baixo, conferindo a estes retalhos, no MDT, uma textura suave, aveludada e quase esbatida.

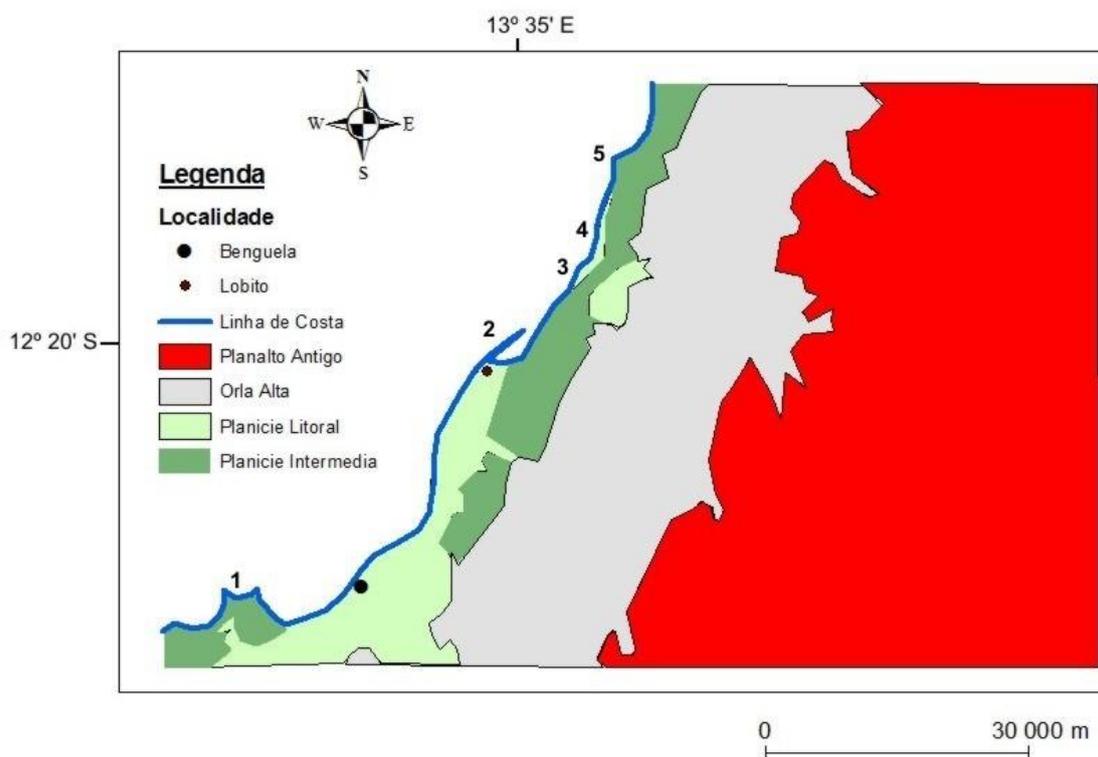


Fig. 4.1. Províncias fisiográficas definidas para a região em estudo, a partir da análise do MDT da Fig. 2.7. 1 = Baía Farta; 2 = Restinga do Lobito; 3 = Ponta do Jomba; 4 = Praia da Hanha; 5 = Ponta do Binge.

4.2.2. Planície Intermédia

Esta província aparece em duas faixas relativamente estreitas, que se intercalam com os retalhos da província fisiográfica anteriormente descrita. Uma dessas faixas ocupa a extremidade SW da carta, junto à linha de costa, na zona da Baía Farta e possui uma orientação NE-SW. É caracterizada por

uma série de cristas e vales estreitos, paralelos entre si, com a mesma orientação da faixa. A outra faixa correspondente a esta província inicia-se na margem direita do rio Cavaco, no sector interior da sua desembocadura e estende-se para norte, segundo uma orientação NNE-SSW. Até à latitude do Lobito, contacta a ocidente com a província da Planície Litoral. Para norte desse paralelo, passa a ocupar a linha de costa, à exceção do litoral adjacente ao Vale de Hanha. O seu limite oriental é bem marcado por uma crista estreita e elevada, paralela à direcção da faixa.

Esta província é ocupada por formações sedimentares da Bacia de Benguela, que nas folhas 227-228 da Carta Geológica de Angola à escala 1/100 000 (Galvão & Portugal, 1971) e respetiva notícia explicativa (Galvão & Silva, 1972) são designadas por: i) formações de idade cretácica, de natureza carbonatada, margosa, conglomerática, arenosa, argilosa e até gipsífera (Apc1: Apciano Medio-Inferior; Apc2: Apciano Superior; Alb1lg: Albiano Inferior; Alb2: Albiano Medio-Inferior; Alb3: Albiano Superior; Cm e Sn; ii) formações miocénicas, de natureza gresosa grosseira (Mi); iii) formações pós-pliocénicas, correspondentes a depósitos de terraço (Q1).

Esta província ocupa uma posição mais elevada que a província anteriormente descrita. O seu relevo é, no essencial, constituído por sucessões paralelas de cristas e vales com a orientação predominante NNE a NE-SW, que confere a estas faixas, no MDT, uma textura granulada fina a pouco grosseira. Observam-se, no entanto, rede de sulcos de orientação NW-SE.

4.2.3. Orla Alta

Esta província fisiográfica ocupa uma faixa de orientação NNE-SSW, contígua e paralela à província anteriormente descrita. Abrange praticamente toda a zona do Complexo Metamórfico e as litologias que nela predominam são os gnaisses e os migmatitos, secundados por xistos. Nas folhas 227-228 da Carta Geológica de Angola à escala 1/100 000 (Galvão & Portugal, 1971) e respetiva notícia explicativa (Galvão & Silva, 1972) são designadas, no seu conjunto, por A1. A província ocupa uma superfície suavemente basculada para oriente. O seu relevo, que suaviza de oeste para leste, é, no essencial, constituído por sucessões paralelas de cristas e vales muito estreitos, com a

orientação predominante NNE a NE-SW. Observam-se, no entanto, sulcos de orientação NW-SE, que correspondem aos vales fluviais, bastante encaixados dos principais rios da região (de sul para norte, o Cavaco, o Catumbela e o Hanha). No MDT, a superfície desta província revela-se granulosa no sector ocidental e suavizada no sector oriental. Nota-se uma suave ondulação, de largo comprimento de onda, da superfície basal, perpendicular à direcção geral da província.

4.2.4. Planalto Antigo

Esta província fisiográfica ocupa a metade oriental da área de estudo e contacta a ocidente, de forma bastante irregular, com a província da Orla Alta.

Geologicamente, integra a Zona Granítica (A2) das folhas 227-228 da Carta Geológica de Angola à escala 1/100 000 (Galvão & Portugal, 1971) e respetiva notícia explicativa (Galvão & Silva, 1972). O seu relevo é acentuadamente mais vigoroso que o das províncias anteriormente descritas e é aqui que se atingem as maiores altitudes. A sua orientação geral oscila entre o NNE-SSW, nas proximidades da Orla Alta, e o NE-SW, mais para o interior, e é marcada por cristas e vales profundos e alongados. Os relevos com a orientação NE-SW formam, com frequência, largos sigmóides em forma de “S”. Menos frequentes são os vales de orientação NW-SE a WNW-ESSE. Para o interior da província, são comuns as zonas mais aplanadas, onde se destacam “montes-ilha”. No MDT, a superfície desta província possui uma textura muito grosseira e de muito alto-relevo, retalhado por uma rede de profundos sulcos.

4.3. Cartografia estrutural

Da análise morfoestrutural, interpretaram-se os seguintes sistemas de alinhamentos principais:

4.3.1. Sistema de lineamentos NE-SW

É o sistema de lineamentos mais penetrativo e predominante, sendo mais expressivo na província do Planalto antigo, onde se materializa sob a forma de profundos e acentuados vales (fig. 4.2). Estes vales separam cristas

que se alongam também segundo NE-SW, algumas delas com uma geometria em largos sigmóides em forma de “S”. É traduzido por falhas profundas de soco, ou zonas de falha e diáclases, de orientação média N50°E a N60°E. Uma dessas zonas de falha é a grande falha de Hanha.

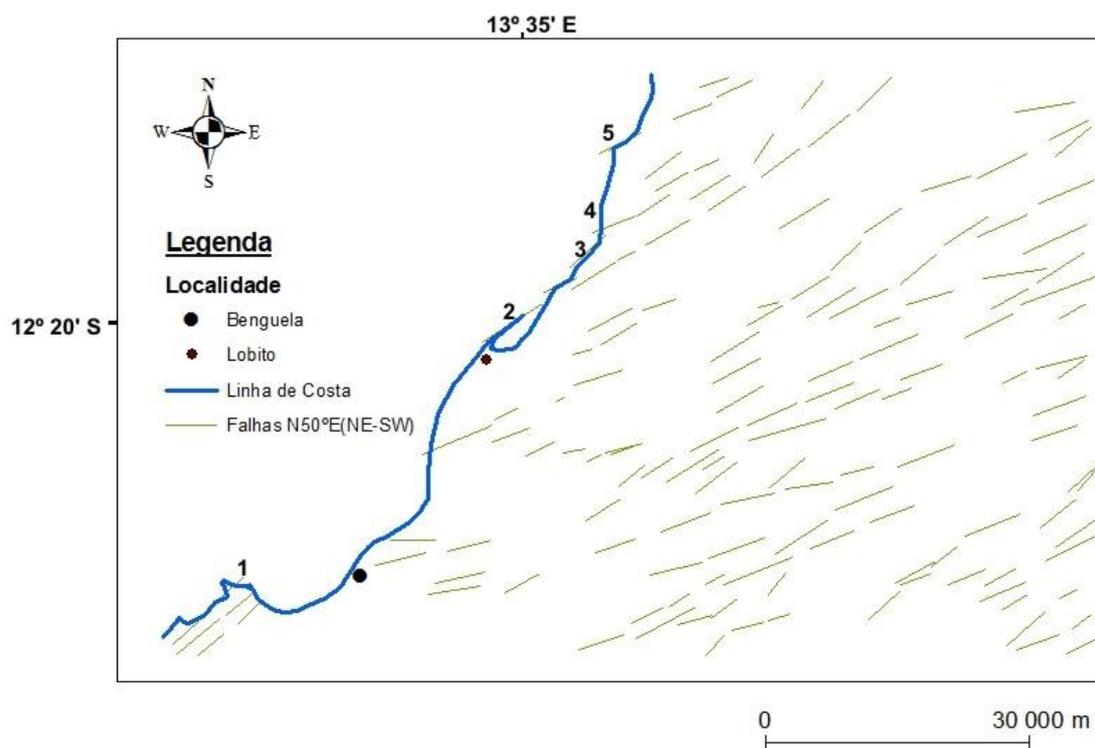


Fig. 4.2. Sistema de alinhamentos NE-SW, identificados a partir do MDT da Fig. 2.7. 1 = Baía Farta; 2 = Restinga do Lobito; 3 = Ponta do Jomba; 4 = Praia da Hanha; 5 = Ponta do Binge.

Este sistema torna-se mais subtil em expressão, quando se passa para as províncias mais ocidentais da Orla Alta e a Planície intermédia, mas continua a ser evidente. Parece controlar a linha de costa em vários locais do litoral, como seja entre a Ponta do Jomba e a Praia de Hanha ou na Ponta do Binge.

4.3.2. Sistema de lineamentos NNE-SSW

É o segundo sistema de lineamentos mais penetrativo que aparece em toda a área estudada. É dominante nas províncias da Orla Alta e da Planície Intermédia, onde se expressa por sucessões paralelas de cristas e vales que se estendem ao longo da direcção destas províncias (Fig. 4.3). É grosseiramente paralelo à linha de costa e controla a orientação da

proeminente crista que separa a Orla Alta da Planície Intermédia. No Planalto Antigo, este sistema é mais secundário, embora domine a orientação das cristas e dos vales em alguns locais. É traduzido por falhas profundas do soco de orientação média N10°E a N20°E, que terão actuado como falhas normais durante a fase de rifte do Cretácico inferior, controlando a geometria alongada da bacia.

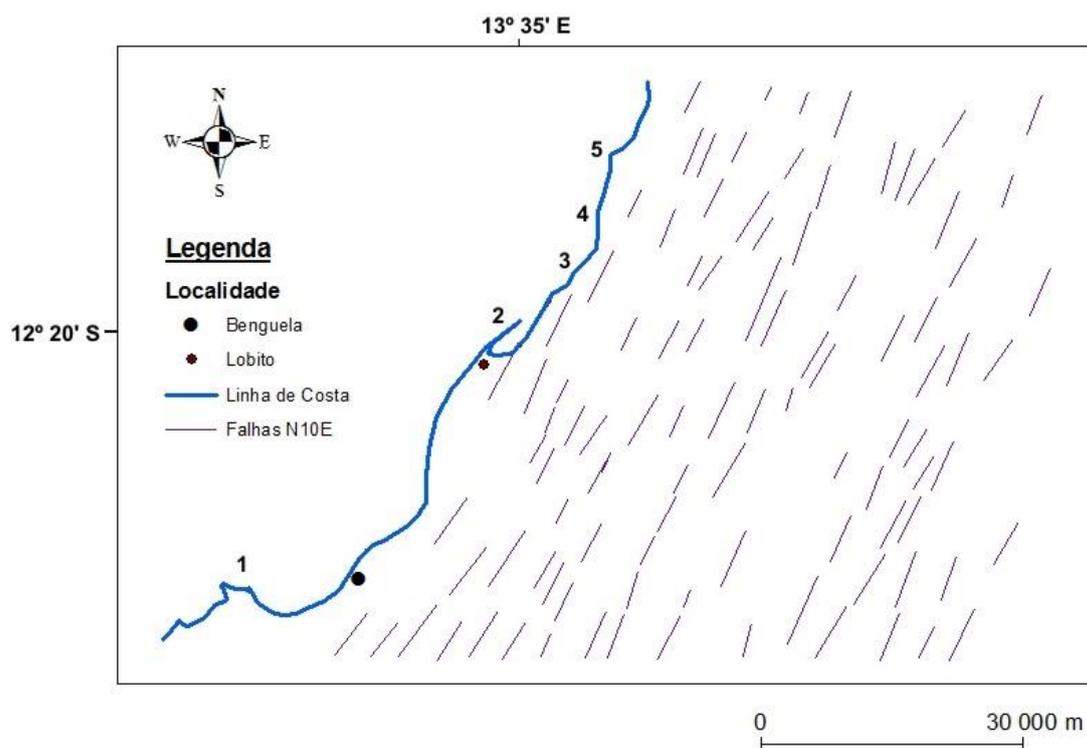


Fig. 4.3. Sistema de alinhamentos NNE-SSW, identificados a partir do MDT da Fig. 2.7. 1 = Baía Farta; 2 = Restinga do Lobito; 3 = Ponta do Jomba; 4 = Praia da Hanha; 5 = Ponta do Binge.

4.3.3. Sistema de lineamentos NW-SE

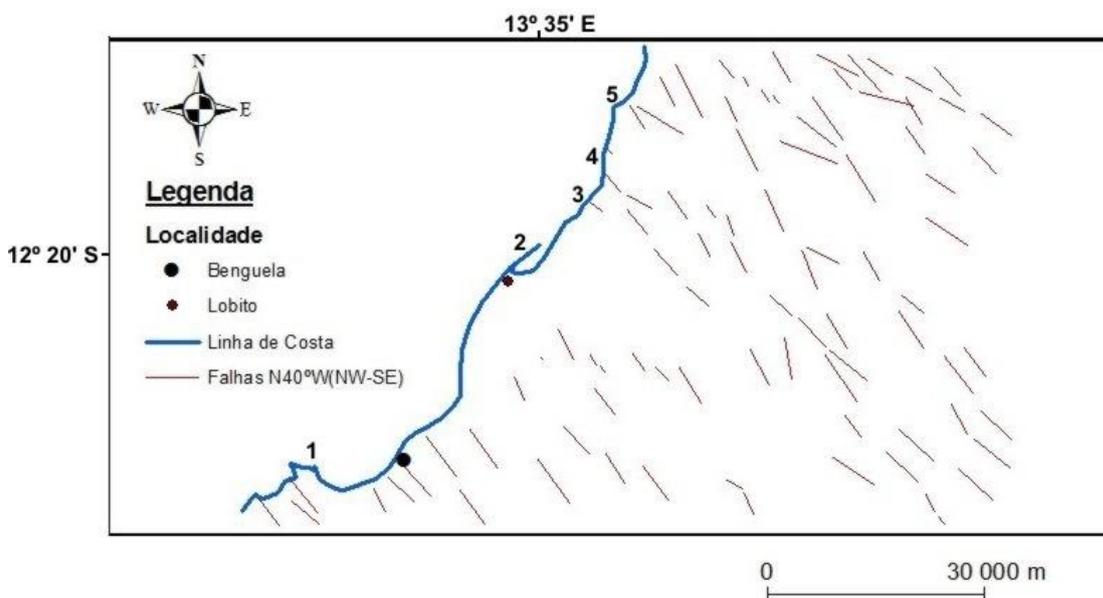


Fig. 4.4. Sistema de alinhamentos NW-SE, identificados a partir do MDT da Fig. 2.7. 1 = Baía Farta; 2 = Restinga do Lobito; 3 = Ponta do Jomba; 4 = Praia da Hanha; 5 = Ponta do Binge.

Este sistema de lineamentos, que corresponderá a fracturação profunda do soco de orientação média $N40^{\circ}W$, identifica-se sobretudo na província do Planalto antigo, onde se expressa por profundos e acentuados vales (Fig. 4.4). Nas províncias da Orla Alta e da Planície Intermédia, os lineamentos com esta orientação são menos frequentes e menos expressivos, embora sejam o prolongamento, para ocidente, dos segmentos mais orientais. Nestas duas províncias, este sistema parece controlar o traçado dos vales fluviais dos principais rios da região, como Cavaco e Catumbela.

4.3.4. Sistema de lineamentos E-W

É o menos dominante dos sistemas de lineamentos identificados, sendo reconhecido sobretudo na província do Planalto Antigo (Fig. 4.5). Nas províncias mais ocidentais, os lineamentos deste sistema são menos expressivos e surgem sobretudo junto ao litoral (Planície Intermédia).

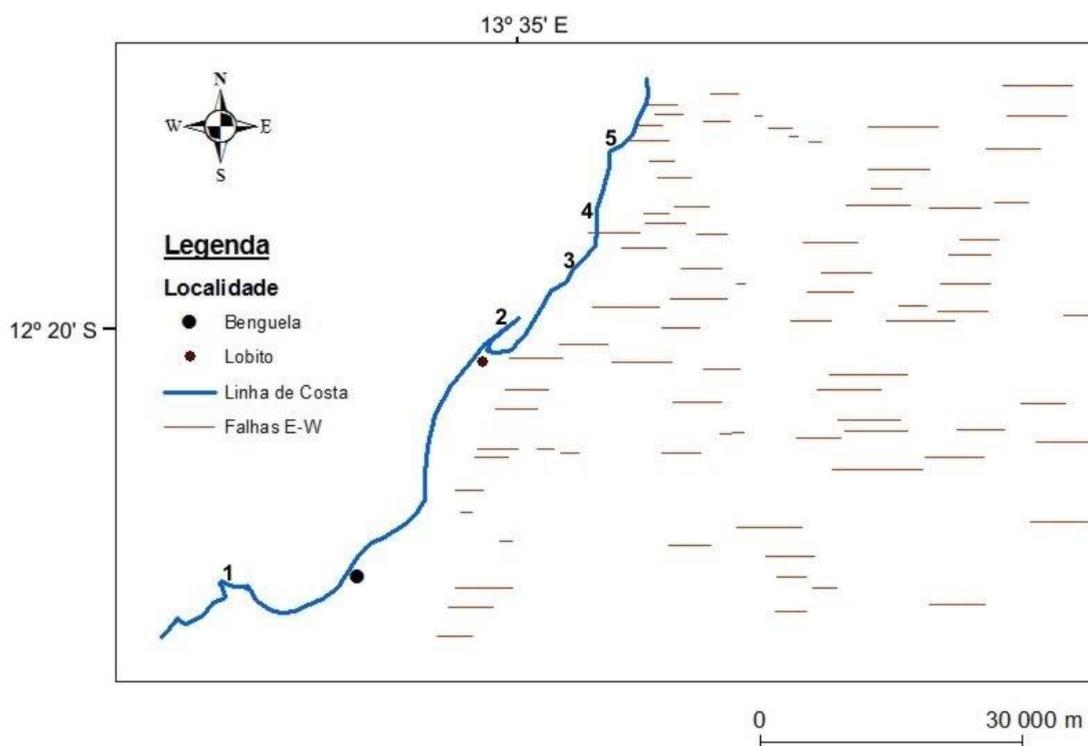


Fig. 4.5. Sistema de alinhamentos W-E, identificados a partir do MDT da Fig. 2.7. 1 = Baía Farta; 2 = Restinga do Lobito; 3 = Ponta do Jomba; 4 = Praia da Hanha; 5 = Ponta do Binge.

CAPÍTULO 5 - RECONHECIMENTO DE CAMPO

Neste capítulo procede-se à descrição e interpretação das observações de campo efetuadas na região em estudo, de modo a restringir a interpretação dos dados digitais adquiridos por sensores remotos através de técnicas de Detecção Remota. Foram escolhidos 18 locais de observação, repartidos entre o rio Cavaco, a sul, a o rio Cubal da Hanha, a norte (Figs. 5.1 e 5.2) e o rio Catumbela Biópio, que foram visitados durante o mês de Junho de 2014. A má acessibilidade impediu que se visitassem os locais mais remotos, como os situados na extremidade norte e oriental da área.

Caracterização morfoestrutural da região de Bimbas-Hanha-Biópio (Benguela, Sudoeste de Angola), com base em técnicas de detecção remota: contributo para a cartografia regional

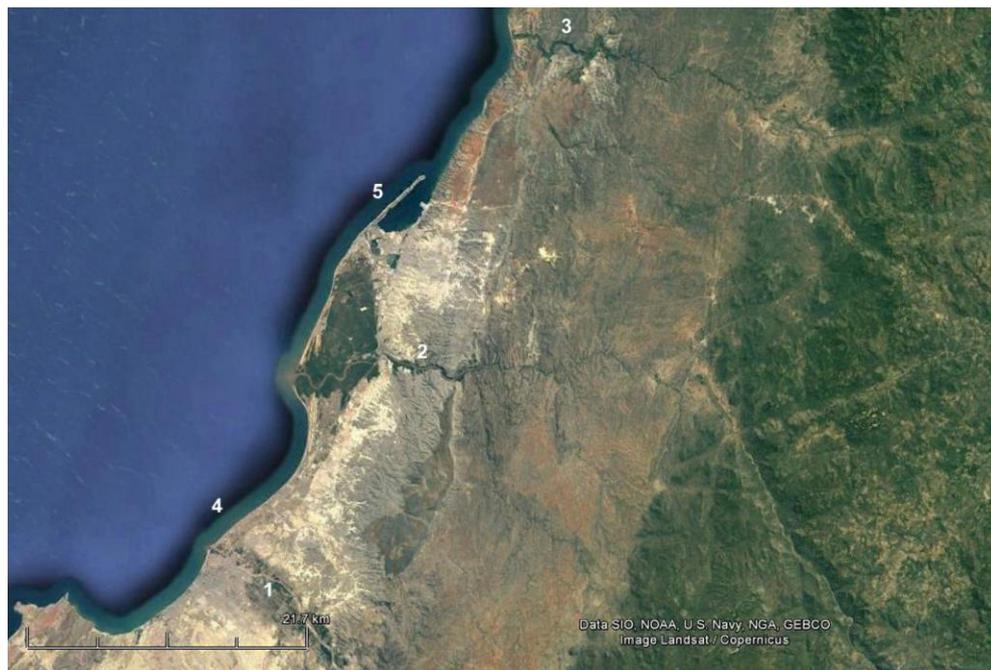


Fig. 5.1. A área onde foram feitas as observações de campo (imagem *Google Earth*). 1 = Rio Cavaco; 2 = Rio Catumbela; 3 = Rio Cubal da Hanha; 4 = Baía de Benguela; 5 = Restinga do Lobito.

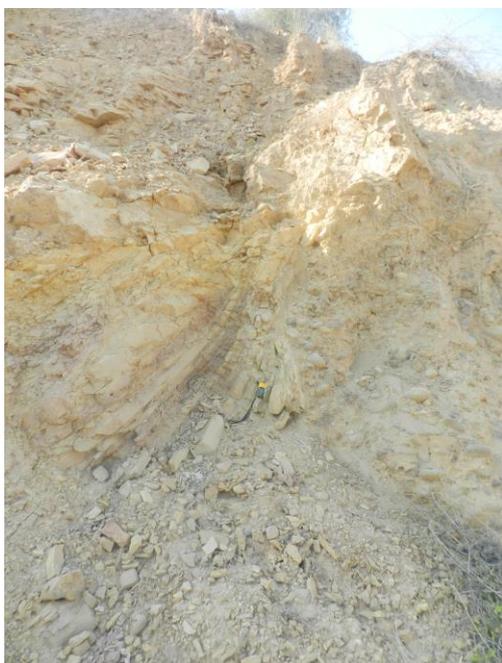


Fig. 5.2. Sector sul da área, com a localização das Paragens Bg-1 a Bg-8 (imagem base extraída do *Google Earth*).

5.1. Paragem 1 (Bg1): Bimbas-1

Coordenadas: 12° 38.194'S; 13° 29.168'E (Fig. 5.2)

A)



B)

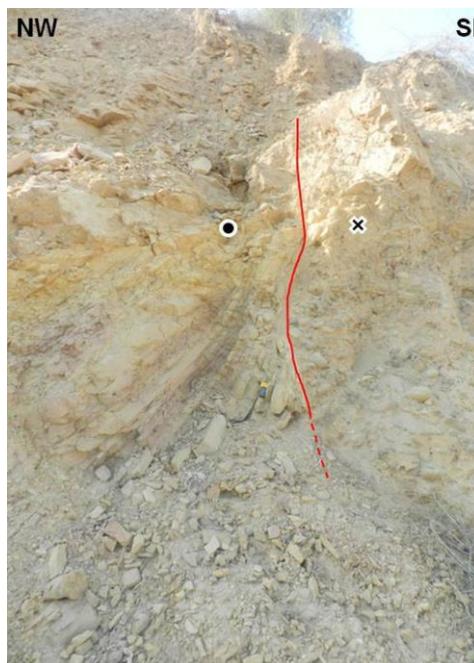


Fig. 5.3. Falha translacional esquerda N30°W; vertical. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo

Descrição: encosta de uma colina onde aflora uma sequência alternante de arenitos e argilitos, em contacto por falha com um conglomerado grosseiro. Este conglomerado aflora imediatamente a SSE da falha (Fig. 5.3).

- Atitude da falha: N30°W; vertical
- Atitude da estratificação (S0) antes da falha: E-W; 10°N
- Atitude da estratificação (S0) junto à falha: N30°W; vertical.

5.2. Paragem 2 (Bg-2) – Bimbas-2

Coordenadas: 12° 38.217'S; 13° 29.206'E (Fig. 5.2)

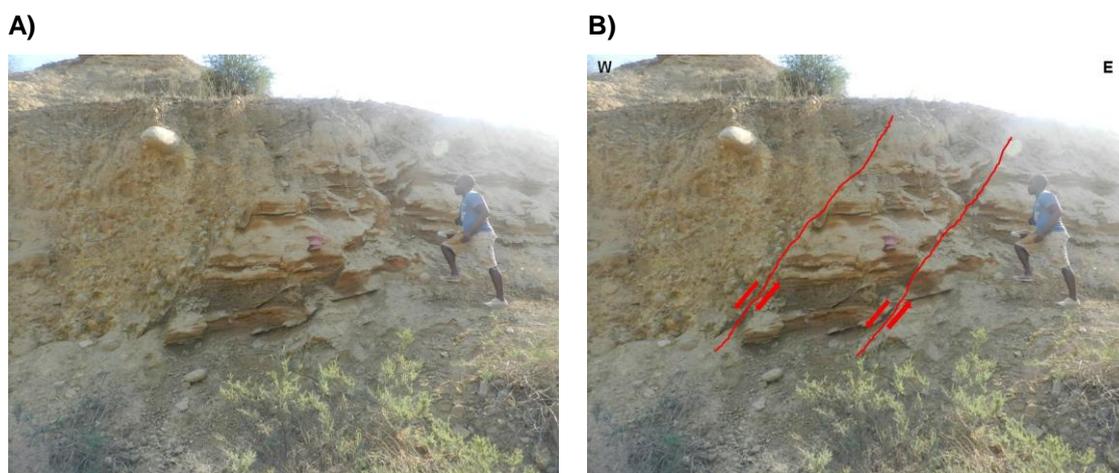


Fig. 5.4. Falhas normais de atitude N20°E; 45°W. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo

Descrição: do outro lado da colina, a cerca de 200 m para SE de Bg-1, observa-se a mesma sucessão de arenitos e argilitos. O afloramento é afectado por duas falhas normais de atitude N20°E; 45°W (Fig. 5.4). Na falha mais a ocidente, observa-se injeção de conglomerados ao longo do plano de falha.

5.3. Paragem 3 (Bg-3) – Capilongo, ao longo do talude da via férrea

Coordenadas: 12° 36.877'S; 13° 31.253'E (Fig. 5.2)

Descrição: no talude ocidental da via-férrea aflora o soco do Complexo Metamórfico (Fig. 5.5). É aqui constituído por gneisses, migmatitos e granitóides. É atravessado por filão de rocha dolerítica, com mais de 10 m de espessura, que intrui ao longo de uma falha N30°E; vertical Figs. 5.5 e 5.6).

O afloramento apresenta-se bastante fracturado, possuindo a fracturação principal as seguintes atitudes:

-N30°E; Vertical

-N30°E; 25°E

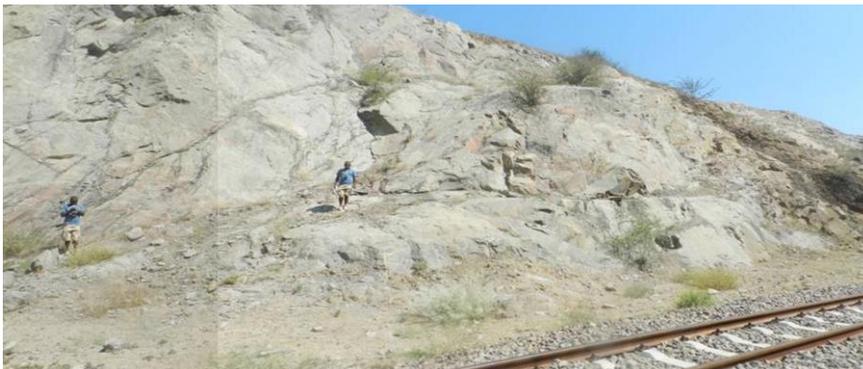
-N-S; Vertical

-N-S; 45°E

-N60°E; Vertical

-Carreamento subhorizontal com vergência para N; é cortado pelo filão básico.

A)



B)



Fig. 5.5. Carreamento com vergência para N e a falha N30°E; Vertical, com a intrusão do filão básico. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.



Fig. 5.6. Aspecto do filão básico intruído ao longo da falha N30°E; Vertical.

5.4. Paragem 4 (Bg-4) – Capilongo, junto à ribeira

Coordenadas: 12° 36.983'S; 13° 31.245'E (Fig. 5.2)

Descrição; no leito seco de uma ribeira, alinhada segundo N60°E. Este alinhamento da ribeira parece ser controlado por falha com igual direcção.

Os taludes da ribeira são constituídos por alternância de arenitos e argilitos, sub-horizontais.

No leito seco da ribeira, na extremidade SW, aflora o Complexo Metamórfico, exibindo falhas com atitude (Fig. 5.7):

- N60°E; vertical (paralela à ribeira) – desligamento direito
- N-S; vertical - desligamento esquerdo)

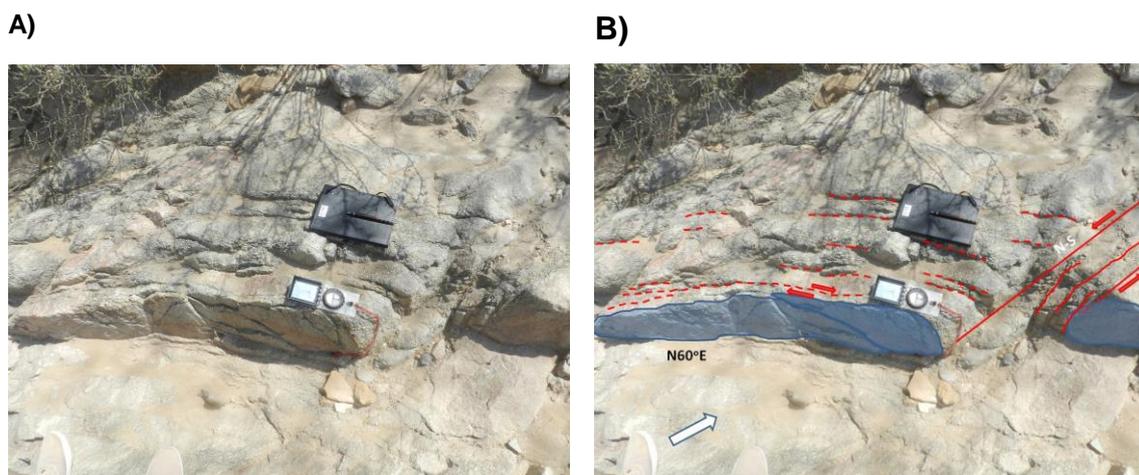


Fig. 5.7. Sistemas de falhas (N60°E; vertical e N-S; vertical) no leito seco da ribeira. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.

5.5. Paragem 5 (Bg-5) – Capilongo, no talude da via Férrea

Coordenadas: 12° 37.016'S; 13° 31.359'E (Fig. 5.2)

Descrição: no talude oriental da via-férrea aflora uma de sequência sedimentar detrítica constituída por alternância de arenitos e argilitos.

Atitude da estratificação (S0): E-W; 10°S

Atitude da fracturação:

-N20°E; vertical;

-N60°W; vertical

5.6. Paragem 6 (Bg-6) – Capilongo, no talude da via Férrea

Coordenadas: 12° 37.095'S; 13° 31.386'E (Fig. 5.2)

Talude oriental constituído por alternância de arenitos e argilitos.

Descrição: o estrato junto à base do talude, com cerca de 1,70 m de espessura, exhibe estratificação entrecruzada (Fig. 5.8).

Atitude da estratificação (S0): N40°E; 10°NW

Atitude da fracturação:

-N20°E; Vertical

-N60°W; vertical



Fig. 5.8. Aspecto do talude oriental da via-férrea, onde aflora uma sequência de arenitos e argilitos. No estrato inferior identifica-se estratificação entrecruzada.

5.7. Paragem 7 (Bg-7) – Capilongo, no talude da via Férrea

Coordenadas: 12° 37.159'S; 13° 31.384'E (Fig. 5.2)

Descrição: no talude oriental aflora o Complexo Metamórfico. As rochas aflorantes (migmatitos e gneisses) estão bastante fracturadas por carreamento e diáclases (Fig. 5.9).

-Atitude do carreamento: E-W; 30°N – exhibe vergência para sul;

-Atitude das diáclases: E-W; 45° S

É visível um fino veio de quartzo leitoso deformado em dobra de flanco inverso, com vergência aparente para sul;

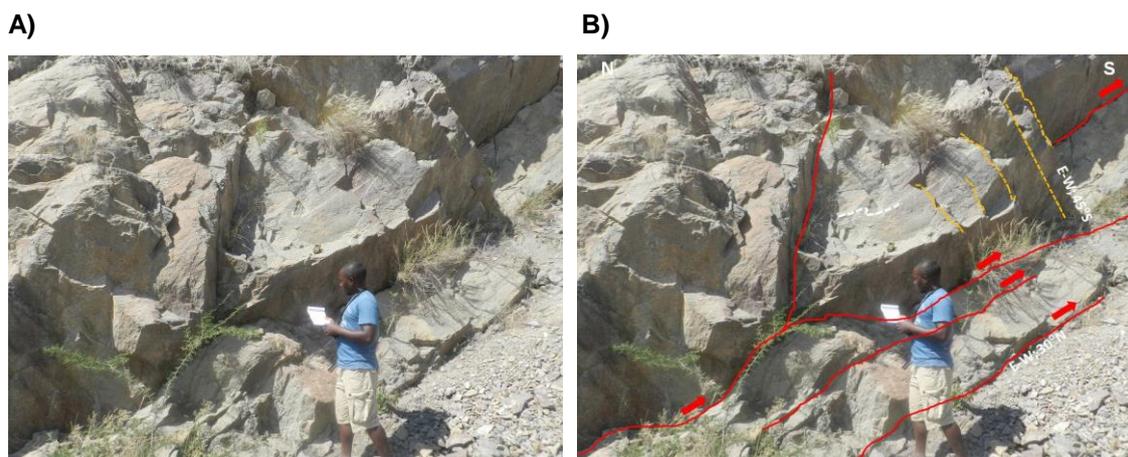


Fig. 5.9. Sistema de carreamentos (E-W; 30° S) e sistema de diáclases (E-W; 45° S) a afectar o talude oriental da via Férrea. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.

5.8. Paragem 8 (Bg-8) – Capilongo, no talude da via Férrea

Coordenadas: 12° 37.203'S; 13° 31.370'E (Fig. 5.2) Descrição: No talude oriental da via-férrea observa-se o contacto entre o soco metamórfico e o enchimento da bacia.

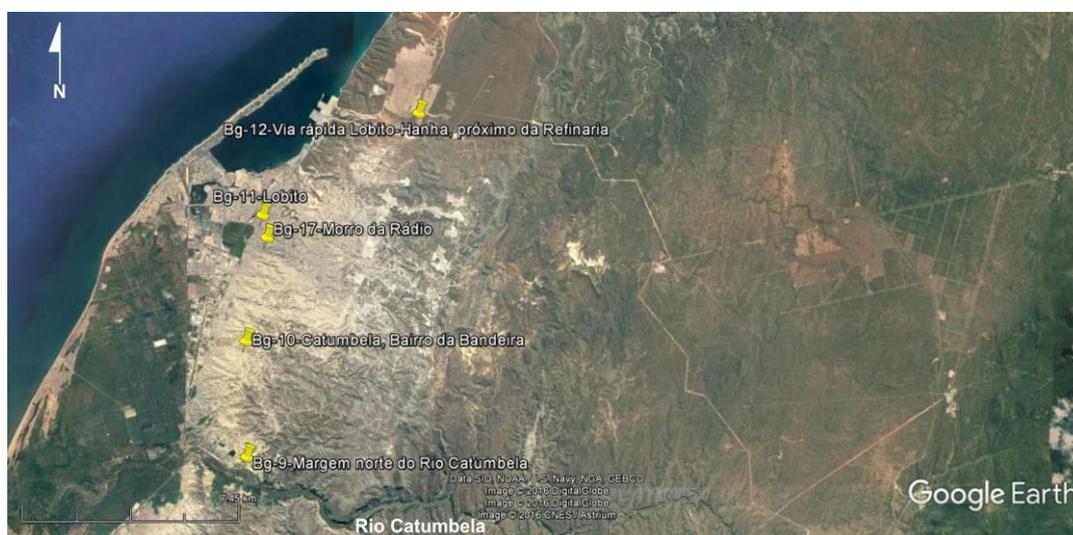


Fig. 5.10. Sector centro da área, com a localização das Paragens Bg-9 a Bg-12 e Bg-17 (imagem base extraída do *Google Earth*).

5.9. Paragem 9 (Bg-9) – Margem norte do rio Catumbela

Coordenadas: 12° 26.499'S; 13° 33.477'E (Fig. 5.10)

Descrição: na margem norte do Rio Catumbela, ao longo da estrada que vai para a estação de tratamento de água (troço W-E).

Talude constituído por grés e argilitos, muito alterados, afectados por dois sistemas de falhas normais de atitude (Fig. 5.11):

- N20°E; 45°W,
- N30°W; 45°SE,

5.10 – Paragem 10 (Bg-10) - Catumbela, Bairro da Bandeira

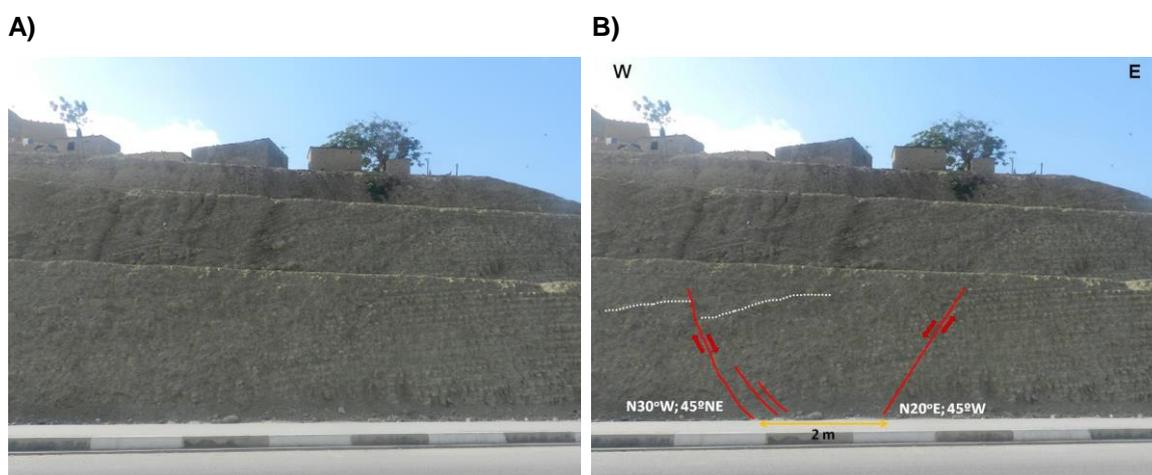
Coordenadas: 12° 24.402'S; 13° 33.470'E (Fig. 5.10)

Descrição: talude com cerca de 10 m de altura, constituído por uma sucessão de grés e argilitos, sub-horizontais (Fig. 5.12).

Observam-se duas falhas (F1 e F2), separadas por uma distância de cerca de 30 m

- F1 - falha normal, com atitude N20°E; 80°W;
- F2 - falha inversa, com atitude N20°W; 30°E - compensa o movimento distensivo de F1

Fig. 5.11. Sistema de falhas no talude da estrada à beira do Rio Catumbela. **A)** Representação pictórica; **B)** Modelo interpretativo



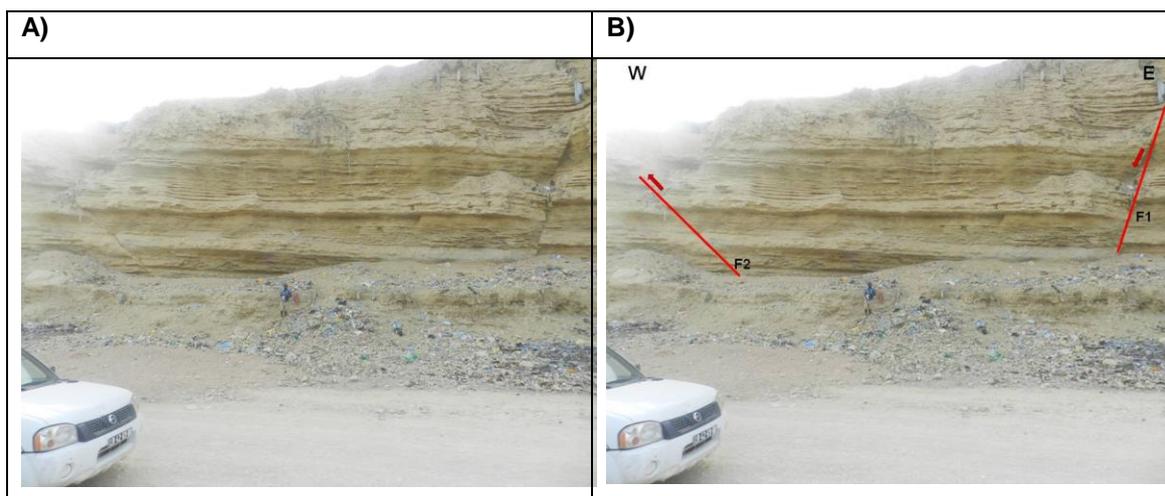


Fig. 5.12. Sistema de falhas no talude do Bairro da Bandeira. F1 = N20°E;80°W (normal); F2= N20°W;30°E (inversa). A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.

5.11. Paragem 11 (Bg-11) – Lobito Velho

Coordenadas: 12° 22.121'S; 13° 33.790'E (Fig. 5.10)

Descrição: junto ao cruzamento da estrada que vai para a Refinaria, na ponte junto à vala, existe um talude com cerca de 5 m de altura, constituído por bancadas de calcário. No topo está construído um bairro habitacional (Fig. 5.13).

Observam-se os seguintes sistemas principais de falhas:

F1 - N50°W; 50°NE - normal; corta o talude quase até ao topo (Fig. 5.13).

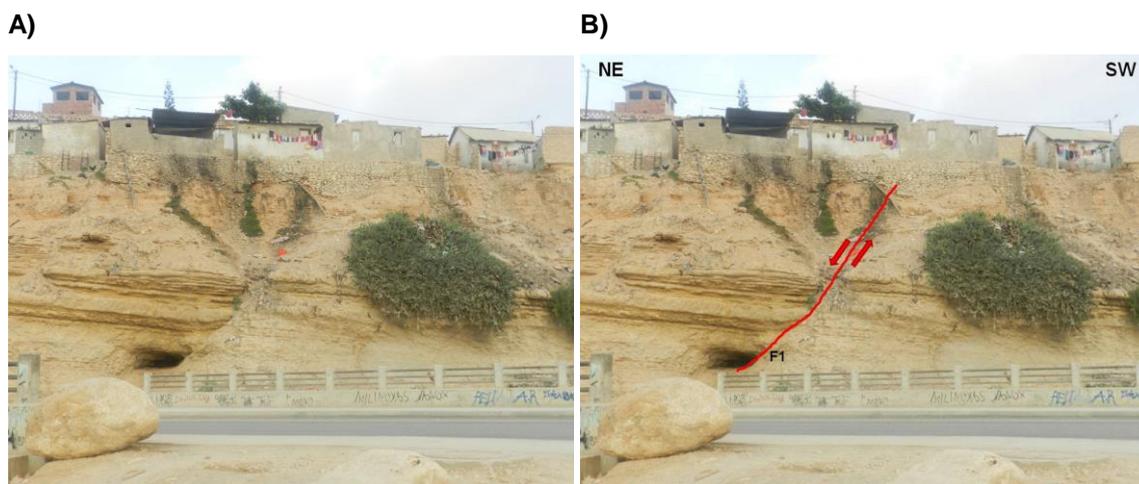


Fig. 5.13. Talude da estrada no Lobito-Velho. F1 = N50°W;50°NE (normal);. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.

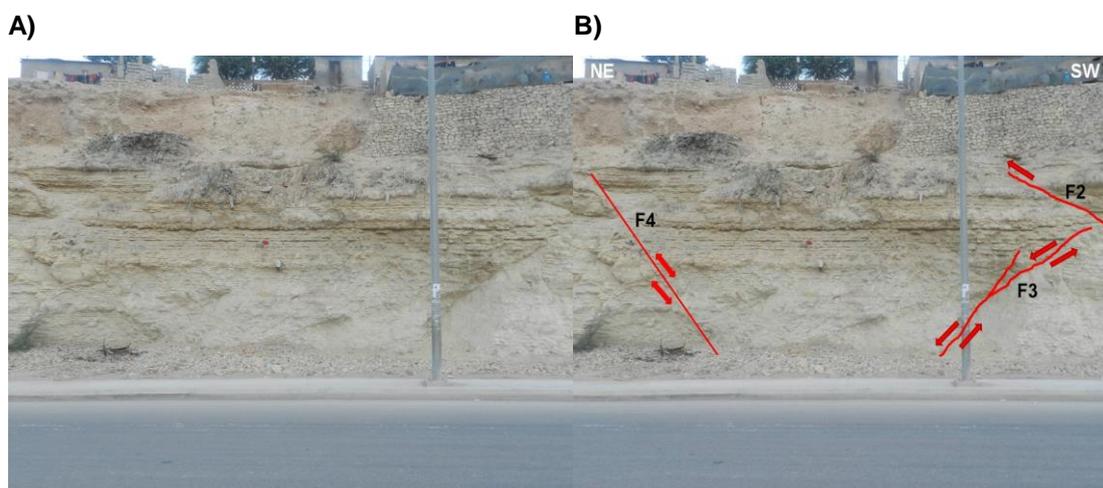


Fig. 5.14. Talude da estrada no Lobito-Velho. F2 = E-W; 40°S (falha inversa;); F3 = N30°W; 70°N (falha normal); F4 = N40°W; 40°SW (falha normal reactivada como inversa). A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.

A cerca de 20 m para norte de F1, observam-se 3 sistemas de falhas que se intersectam (Fig. 5.14):

F2 - E-W; 40°S – inversa,

F3 - N30°W; 70°NE – normal

F4 - N40°W; 40°SW – reativação inversa de falha normal;

5.12. Paragem 12 (Bg-12) - Via rápida Lobito-Hanha, próximo da Refinaria

Coordenadas: 12° 20.298'S; 13° 36.753'E (Fig. 5.10)

Descrição: no talude direito da estrada (caminhando para norte), com uma altura de cerca de 5 m, observam-se bancadas de calcário afetados por falhas normais de atitude N10°W; 70°W. Caixa de falha preenchida por calcite e óxidos (Fig. 5.15).

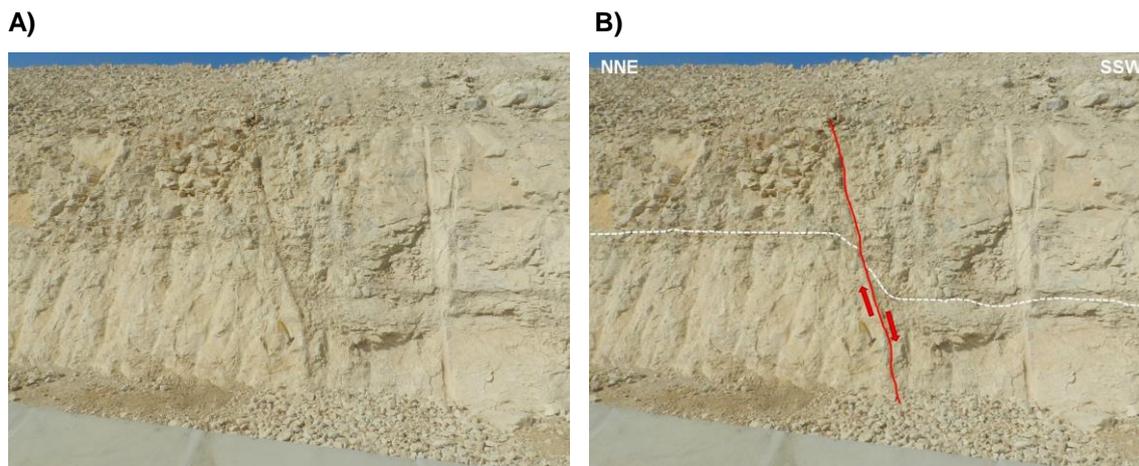


Fig. 5.15. Talude da estrada oriental da estrada Lobito – Hanha do Norte, afectado por sistema de falhas normais N10°W; 70°W. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.

A cerca de 30 m a NE da observação anterior, no talude esquerdo da estrada, onde afloram bancadas de calcário, observam-se os seguintes sistemas de falhas 8 Fig. 5.16): F1 - N10°W; 70°W – normal F2 - N70°E;70°N – normal.

Caracterização morfoestrutural da região de Bimbas-Hanha-Biópio (Benguela, Sudoeste de Angola), com base em técnicas de detecção remota: contributo para a cartografia regional

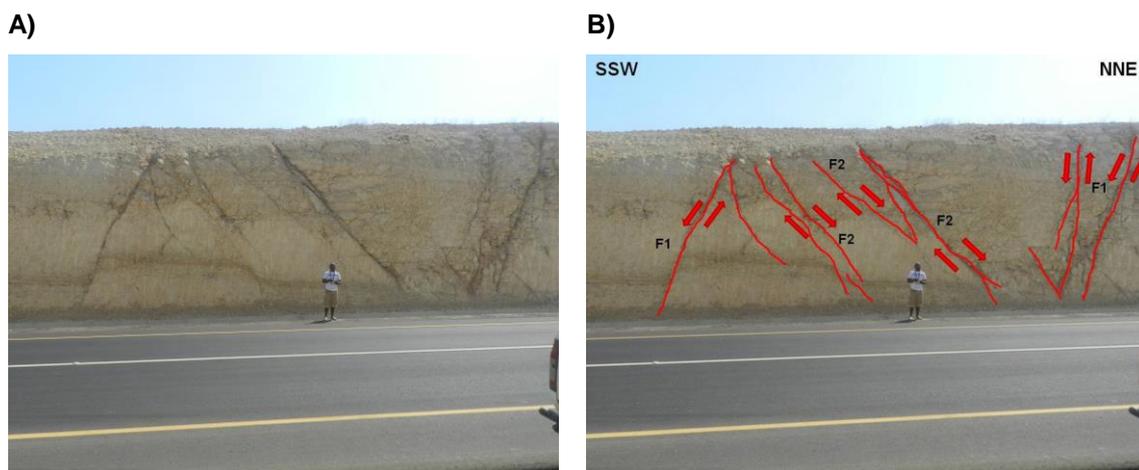


Fig. 5.16. Talude da estrada ocidental da estrada Lobito – Hanha do Norte, afectado por sistema de falhas normais F1 = N10°W; 70°W; F2 = N70°E; 70°N. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.



Fig. 5-17. Sector norte da área, com a localização das Paragens Bg-12 a Bg-16 (imagem base extraída do *Google Earth*).

5.13. Paragem 13 (Bg-13) – Estrada Lobito-Hanha, perto dos “10%”

Coordenadas: 12° 17.083' S; 13° 38.172' E (Fig. 5.17)

Descrição: no talude direito da estrada (sentido Lobito-Hanha), perto dos "10%", onde afloram calcários bastante cataclasados (Fig. 5.18), observam-se falhas com as seguintes atitudes:

- N50°W; 50°SW;
- E-W; 70°S;
- N60°E; 70°S



Fig. 5.18. Aspecto do talude oriental da estrada Lobito-Hanha

5.14. Paragem 14 (Bg-14) – Desvio da estrada do Vale da Hanha (Palanca Negra)

Coordenadas: 12° 16.901'S; 13° 38.939'E (Fig. 5.17)

Descrição: taludes do caminho constituídos por calcário dolomítico, afectados por zonas de cisalhamento direito com direcção N60°E (Fig. 5.19).

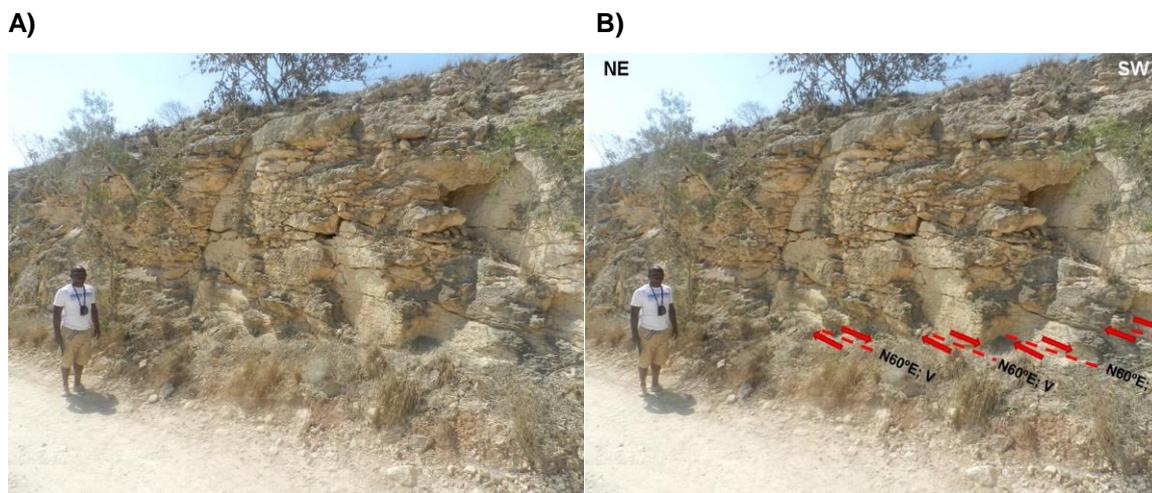


Fig. 5.19. Aspeto do talude da estrada no desvio do Palanca Negra. A) Representação pictórica; B) Modelo interpretativo.

5.15. Paragem 15 (Bg-15) – Miradouro do Vale da Hanha

Coordenadas: 12° 15.840'S; 13° 40.185'E (Fig. 5.17)

Descrição: miradouro do lado esquerdo da estrada para a Fazenda da Hanha (no sentido descendente) (Fig. 5.20). Vista privilegiada para o vale tectónico da Hanha, de orientação geral N60°E. Ao fundo, a NE, avista-se a Fazenda da Hanha.



Fig. 5.20. O vale tectónico da Hanha, visto do miradouro. A nordeste avista-se a Fazenda da Hanha.

5.16. Paragem 16 (Bg-16) – Fazenda da Hanha

Coordenadas: 12° 14.321'S; 13° 43.060'E (Fig. 5.17)

Descrição: leito do rio Cubal da Hanha, sob a ponte de ferro da Fazenda da Hanha (Fig. 5.21). Observam-se afloramentos do soco metamórfico, com presença de migmatitos

- Atitude geral da foliação: N20°E; vertical;
- Atitude da fracturação dominante: N50°E; vertical



Fig. 5.21. Aspecto do leito do rio Cubal da Hanha, sob a ponte da Fazenda da Hanha.

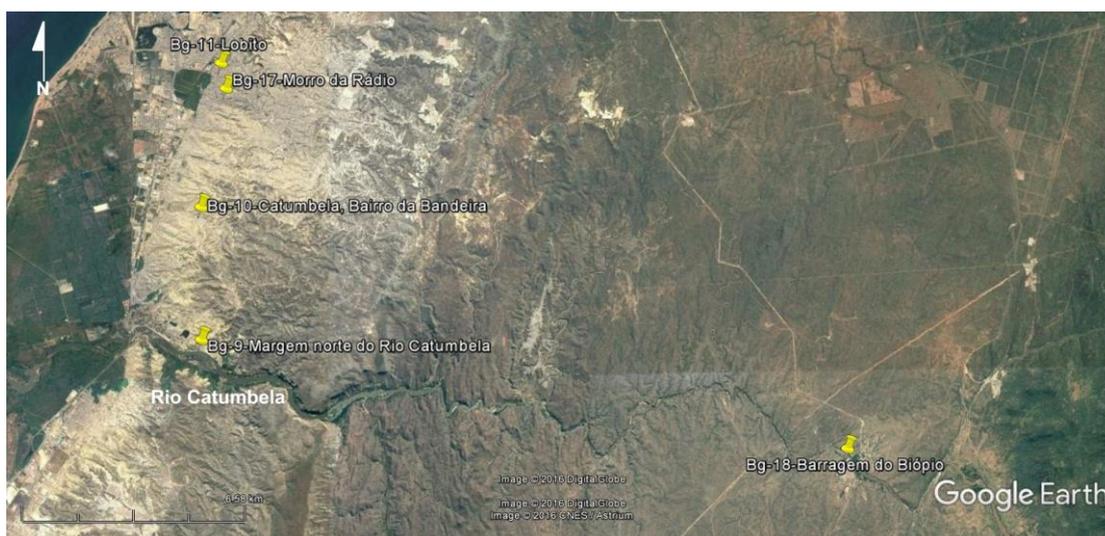


Fig. 5.22. Sector centro-este da área, com a localização das Paragens Bg-9 a Bg-11, Bg17 e Bg-18 (imagem base extraída do *Google Earth*).

5.17. Paragem 17 (Bg-17) – Morro da Rádio

Coordenadas: 12° 22.529'S; 13° 33.879'E (Fig. 5.22)

Descrição: no talude do lado esquerdo da estrada, no sentido de quem sobe, observa-se uma sucessão rítmica de calcários e argilitos, afectada por 2 falhas normais com carácter ligeiramente lístrico (Fig. 5.23). A distância mínima entre as falhas é de cerca de 5m;

-Atitude das falhas: N30°W; 70°NE

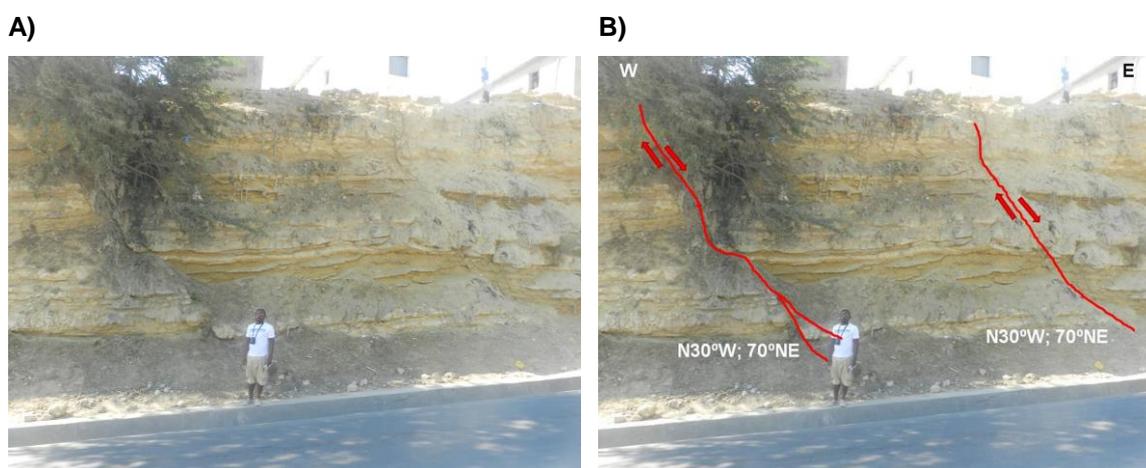


Fig. 5.23. Aspeto do talude norte da estrada do Morro da Rádio. **A)** Representação pictórica; **B)** Modelo interpretativo.

5.18. Paragem 18 (Bg-18) – Barragem do Biópio

Coordenadas: 12° 28.229'S; 13° 43.835'E (Fig. 5.22)

Descrição: Soco metamórfico, constituído por migmatitos e gneisses, exibindo superfícies S (foliação) e C (cisalhamento).

- Atitude geral da foliação (S1) - N60°E; vertical;
- Atitude geral dos cisalhamentos C - N50°W; vertical (direito) (Fig. 5.24).

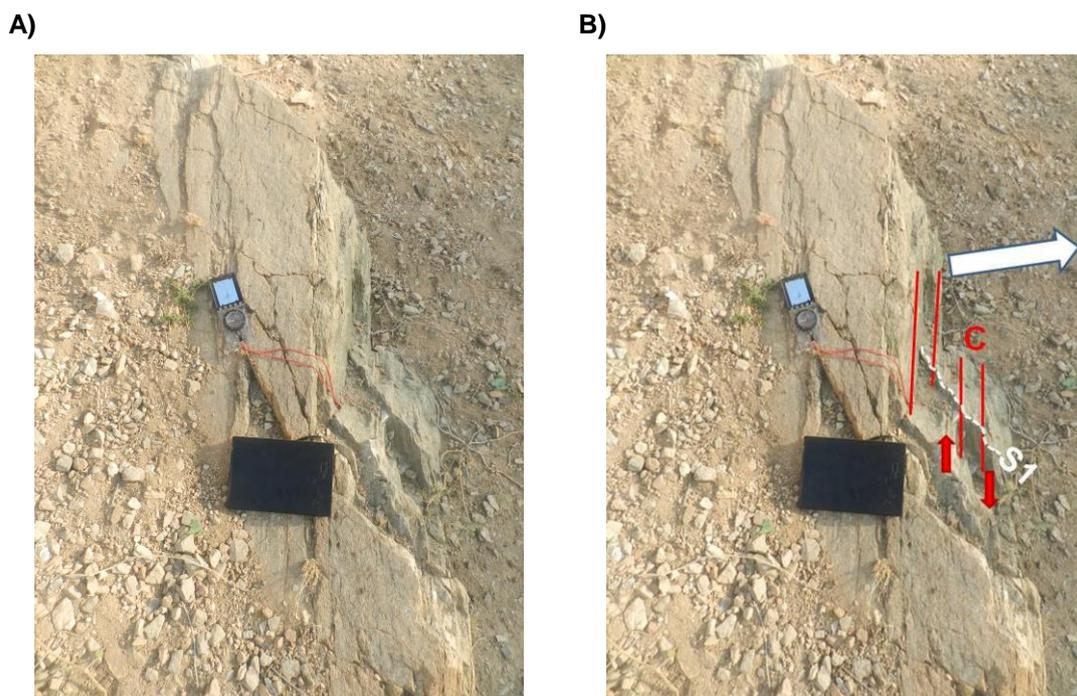


Fig. 5.24. Relação entre a foliação (S1) e o cisalhamento (C) no soco metamórfico da Barragem do Biópio A seta branca indica o Norte. **A)** Representação pictórica; **B)** Modelo interpretativo.

Na margem sul do Rio Catumbela, a oeste do paredão da barragem do Biópio, junto ao leito do rio, observa-se um corpo ígneo de natureza gabroide, intruído no soco metamórfico. Parece intruído ao longo de fracturas de direcção N50°W (Fig. 5.25). Há evidências de metassomatismo e, por outro lado, o corpo ígneo contém xenólitos do encaixante.

- Direcção do contacto, a Nordeste: N50°W;
- Direcção do contacto, a Sudoeste: E-W

O contacto a sudoeste faz-se por uma banda de jaspe que, em alguns locais, alcança 1m de largura (Fig. 5.26). É afectada por três sistemas de fracturas (Fig. 5.27):

- . N-S;
- . N50°W;
- N60°E.

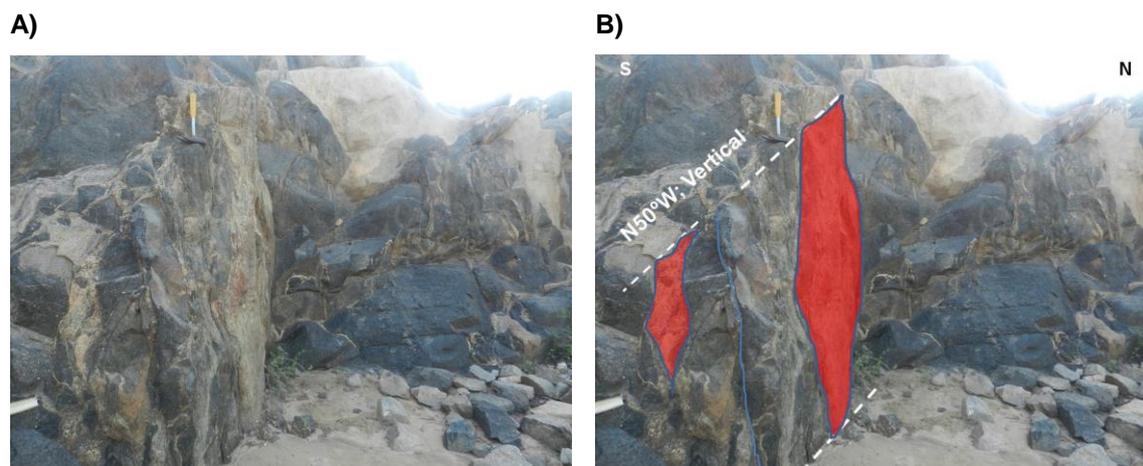


Fig. 5.25. Aspecto do contacto nordeste da intrusão de gabro. **A)** Representação pictórica; **B)** Modelo interpretativo.

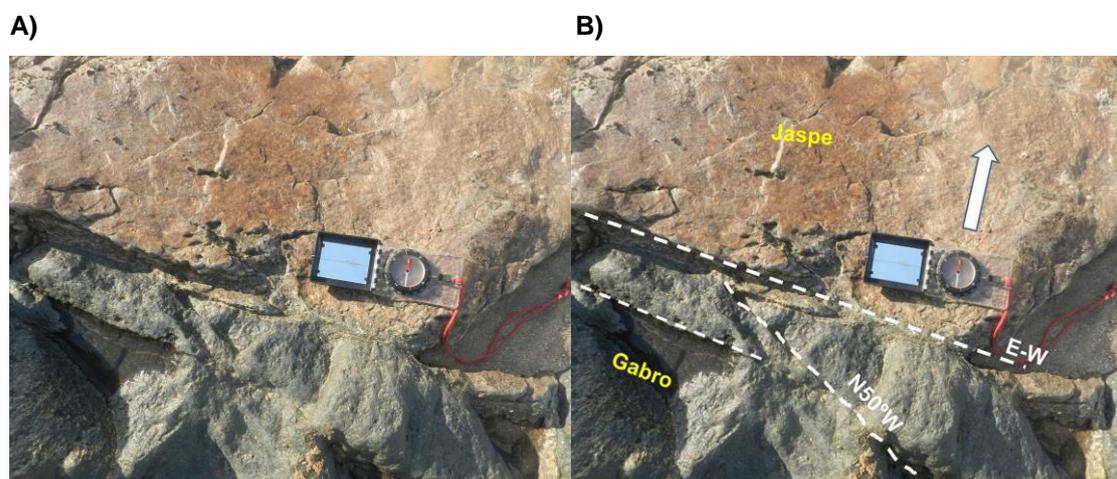


Fig. 5.26. Pormenor do contacto sudoeste da intrusão de gabro, com destaque para a banda de jaspe e os principais lineamentos tectónicos. A seta branca indica o Norte. **A)** Representação pictórica; **B)** Modelo interpretativo.

A)



B)

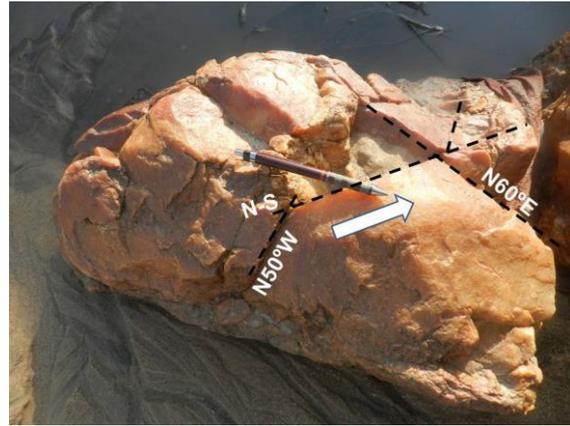


Fig. 5.27. Pormenor da banda de jaspe e com os principais lineamentos tectónicos. A seta branca indica o Norte. **A)** Representação pictórica; **B)** Modelo interpretativo.

CAPITULO 6 - DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

6.1. Contributo para a cartografia regional

6.1.1. Importância dos grandes lineamentos estruturais na tectónica regional

A análise morfoestrutural feita à região de Benguela, no sector Bimbas-Hanha-Biópio, efectuada a partir da interpretação de dados digitais obtidos a partir de técnicas de detecção remota espacial, constringida por observações de campo, permitiu a identificação de vários sistemas de lineamentos estruturais (Figs. 6.1 a 6.3). Estes mesmos lineamentos manifestam-se no terreno como fracturas, zonas de falha e cristas rochosas. São dominantes e possuem implicações maiores na arquitectura regional, os seguintes sistemas:

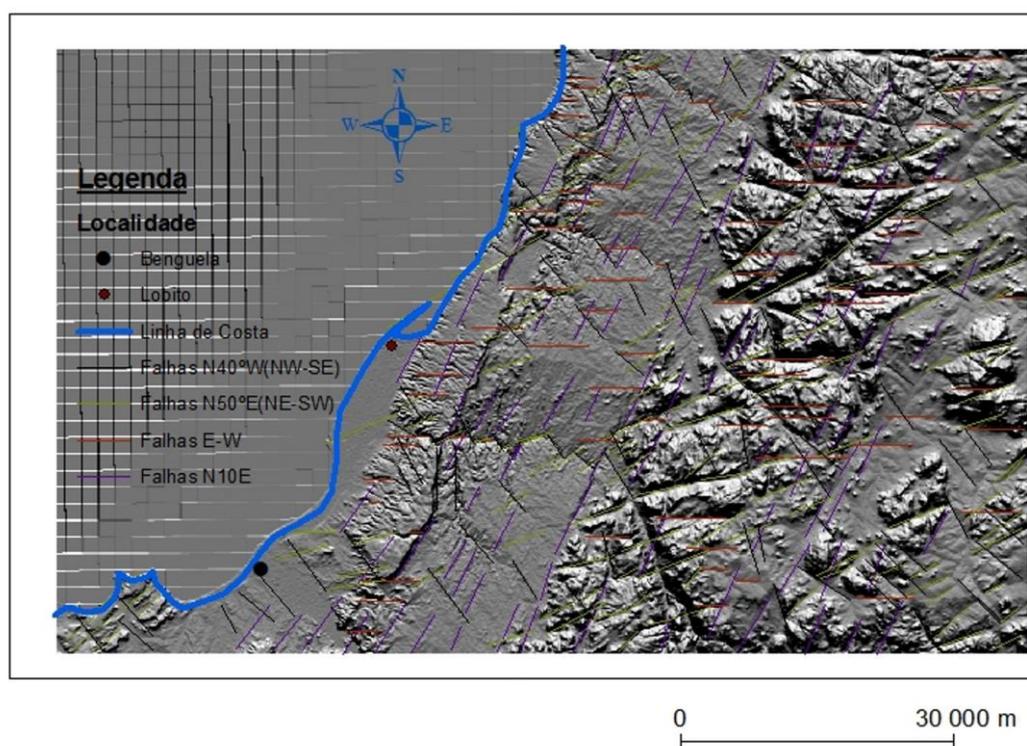


Fig. 6.1. Modelo digital de terreno (MDT) da região estudada, com a identificação dos principais sistemas de lineamentos morfoestruturais.

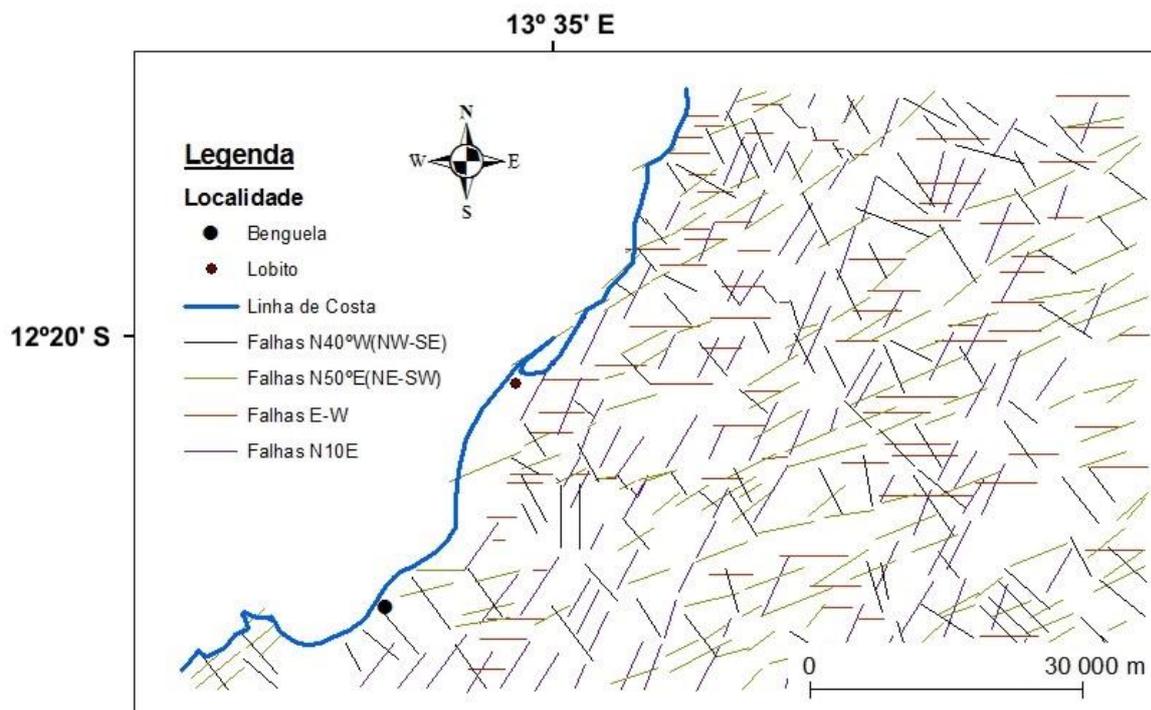


Fig. 6.2. Mapa dos principais sistemas de lineamentos morfoestruturais, interpretados a partir do MDT da Fig. 6.1.

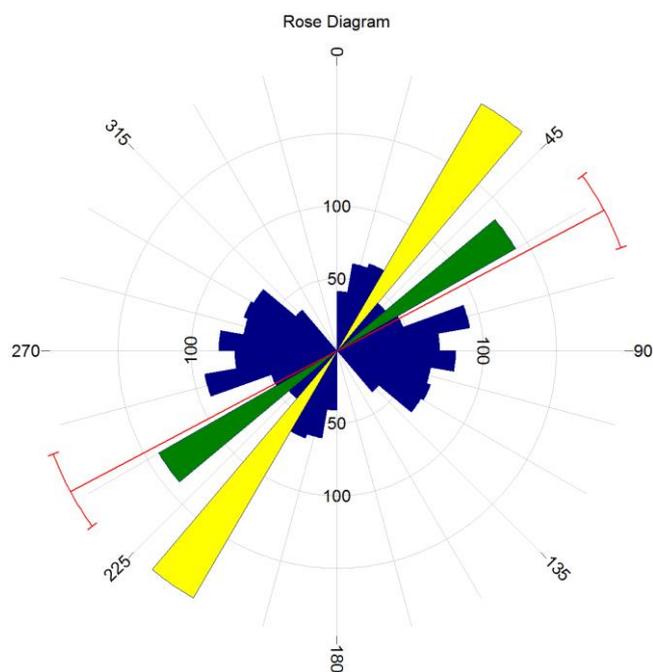


Fig. 6.3. Diagrama de rosetas da área de estudo, indicando a orientação dos lineamentos morfoestruturais predominantes.

-Sistema NE-SW (Figs. 6.1 a 6.4): é o sistema mais dominante na área estudada. Materializa-se no terreno quer como zonas de cisalhamento à escala regional, com componente de desligamento direito, que se estendem desde a Zona Granítica a Oriente, à faixa Litoral, quer como diaclases. A orientação média destas estruturas oscila entre os N60°E e os N70°E. Um exemplo maior é a Falha de Hanha, de grande expressão morfológica. A intersecção destes alinhamentos com a linha de costa manifesta-se pelo contorno indentado desta última, com um visível recuo para oriente (ou para a direita, olhando de Sul para Norte), originando promontórios nas zonas escarpadas, como é o caso da Ponta do Jomba e da Ponta do Binge. Na Zona Granítica, este sistema é responsável pela torção em sigmóides com geometria em “S”.

Este sistema é também identificado no planalto antigo, sendo um dos sistemas dominantes no bordo ocidental do Planalto da Huíla (Mpenço, 2010; Lopes et al., 2016). É composto por falhas profundas, antigas zonas de cisalhamento regional e rampas laterais dos antigos cavalgamento dos cinturões orogénicos Proterozóicos, que actuaram como zonas de falha transcorrente durante a fase de rifte do Aptiano, associado à abertura do Atlântico Sul (Hudec & Jackson, 2004; Versfelt, 2010). Prolongam-se actualmente para *offshore* como falhas transformantes. Podem promover a intrusão de diques doleríticos.

-Sistema NNE-SSW (Figs. 6.1 a 6.4): é o segundo sistema dominante na região. Materializa-se no terreno como falha normais de orientação média N10°E a N20°E, com abatimento de blocos para oeste e diaclases. É o sistema responsável pela arquitectura do soco em escadaria de blocos que se abatem para ocidente e formalizam o fundo alongado das bacias sedimentares marginais, que se desenvolvem a partir do Aptiano (Hudec & Jackson, 2004; Versfelt, 2010). A sua reactivação, posterior, em fases pós-Aptiano, na zona da Faixa Litoral, levará à deformação da cobertura sedimentar e desencadeará a tectónica salífera desta margem (Galvão e Silva, 1973). Podem promover a intrusão de diques doleríticos.

-Sistema NW-SE (Figs. 6.1 a 6.4): É o terceiro sistema dominante identificado na região em estudo. Manifesta-se no terreno como duas famílias de falhas: i) uma família de direcção N30°W, que se traduz ora em desligamentos

esquerdos, ora como falhas normais. Na zona costeira, os desligamentos esquerdos deste sistema deslocam para ocidente (para a esquerda, quando se olha de Sul para Norte) a linha de costa, tendência que se vai acentuando à medida que se caminha mais para Norte; ii) uma família de direcção N50°W, que na Faixa Litoral se traduz por falhas normais, mas que no soco se pode traduzir por cisalhamentos direitos.

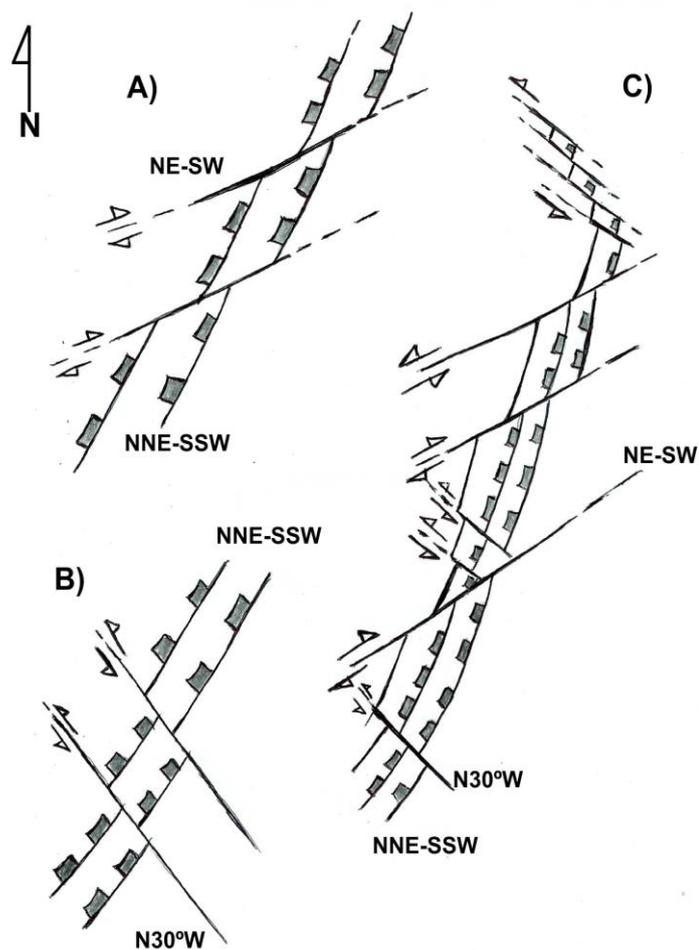


Fig. 6.4. Modelos estruturais esquemáticos da articulação dos três principais alinhamentos estruturais. A) articulação entre os alinhamentos NNE-SSW (normais) e os alinhamentos NE-SW (cisalhamentos direitos); B) articulação entre os alinhamentos NNE-SSW (normais) e os alinhamentos N30°W (cisalhamentos esquerdos); C) Articulação entre os três dominantes sistemas.

O sistema NW-SE também é identificado no planalto antigo, sendo o mais dominante no bordo ocidental do Planalto da Huíla (Mpenço, 2010; Lopes et

al., 2016). É composto por falhas profundas que, segundo Hudec & Jackson (2004), funcionaram como rampas frontais dos cavalgamentos das faixas orogénicas proterozóicas, podendo ter sido reactivadas como normais durante a fase de rifte sul atlântico do Aptiano.

São ainda identificados lineamentos menores: i) de orientação N-S, que se traduzem no terrenos por pequenos desligamentos esquerdos; ii) de orientação E-W, que se manifestam no terreno, tanto no soco como na margem, como cavalgamentos.

Na figura 6.4 mostram-se três modelos estruturais esquemáticos da articulação entre si destes três principais sistemas de lineamentos.

6.1.2. A Falha de Hanha e a Restinga do Lobito

Como foi referido no capítulo 3, a Restinga do Lobito, situada imediatamente a norte do delta do rio Catumbela, é um dos aspectos morfológicos a destacar no litoral de Benguela. A formação desta restinga, que possui um alongamento para nordeste, parece estar ligada à deriva para norte dos materiais aluvionares do Catumbela. No entanto, nunca foi aprofundada a razão da acumulação de areia naquele sector da costa, imediatamente a norte da desembocadura do rio, nem avançada uma explicação para a orientação oblíqua da restinga (NE-SW) em relação à orientação da linha costeira (NNE-SSW). Sugere-se que a formação e a manutenção desta restinga tenha um controlo tectónico, desempenhado pela falha de Hanha. O prolongamento desta estrutura maior para a plataforma continental, servirá de barreira ao avanço mais para norte das areias do Catumbela (Fig. 6.5). A interpretação dos dados de Detecção Remota e as observações de campo mostram que:

Caracterização morfoestrutural da região de Bimbas-Hanha-Biópio (Benguela, Sudoeste de Angola), com base em técnicas de detecção remota: contributo para a cartografia regional

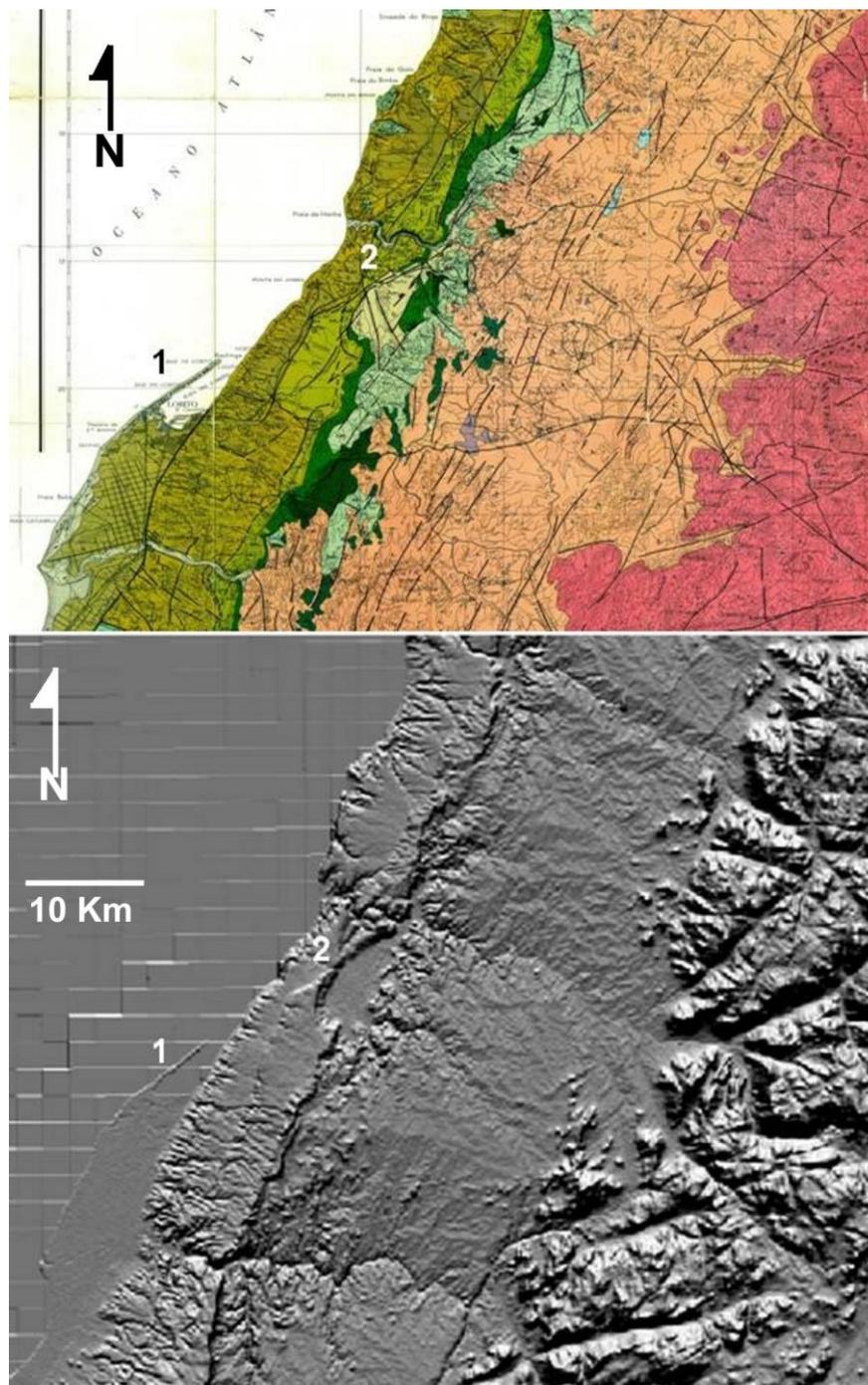


Fig. 6.5a. folhas 227-228 da Carta Geológica de Angola à escala 1/100 000 (Galvão & Portugal, 1971) e o correspondente MDT. 1 = Restinga do Lobito; 2 = Falha de Hanha.

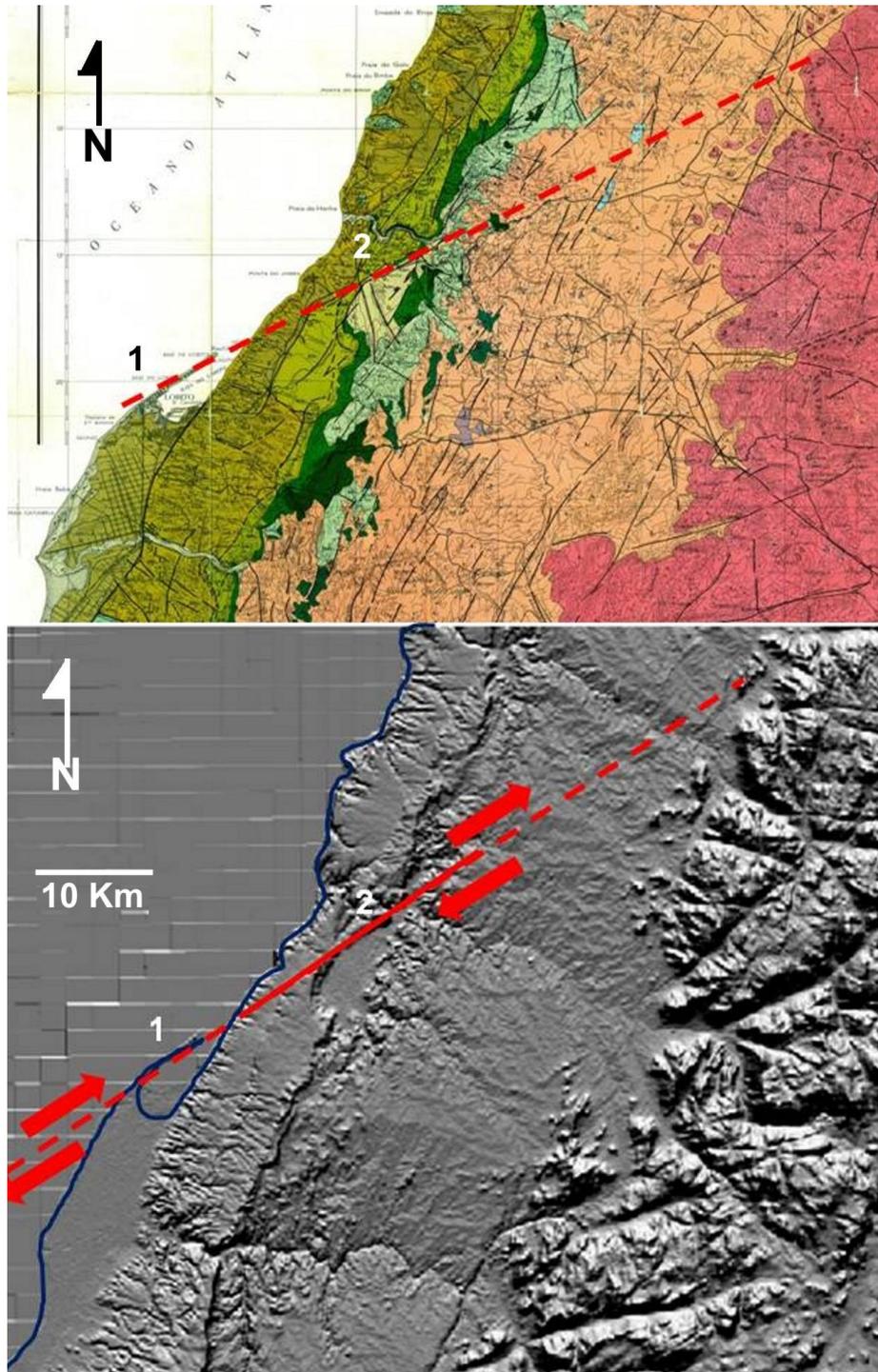


Fig. 6.5b. folhas 227-228 da Carta Geológica de Angola à escala 1/100 000 (Galvão & Portugal, 1971) e o correspondente MDT, com a interpretação do alinhamento de Hanha - Restinga do Lobito e sua relação com a Falha de Hanha1 = Restinga do Lobito; 2 = Falha de Hanha.

- a restinga possui uma geometria alongada no sentido SW-NE;
- é oblíqua à linha de costa, que aqui possui uma orientação NNE-SSW;

-possui um alinhamento perfeito com o prolongamento para o litoral da Falha de Hanha, também de orientação NE-SW.

Serão necessários estudos complementares envolvendo dados de batimetria e de geofísica (reflexão sísmica e gravimetria), para confirmar o prolongamento para a margem da Falha de Hanha e concluir do seu envolvimento na formação da restinga.

6.2. Contributo para o ordenamento do território

Para além do contributo à cartografia regional, o estudo da fracturação do triângulo Bimbas-Hanha-Biópio, com base na interpretação visual e digital de imagens de satélite, com reconhecimento no terreno, tem importantes implicações quer do ponto de vista da cartografia geológica e das interpretações tectónicas regionais, quer no âmbito das políticas de ordenamento do território. Dos contributos que advém deste estudo são de destacar:

-Contributo no âmbito da hidrogeologia: na medida em que o padrão de fracturas influencia a rede de drenagem e a localização dos locais de recarga dos aquíferos existentes. A informação obtida com este estudo será importante para o estabelecimento dos perímetros de protecção das zonas de recarga;

-Contributo no âmbito da estabilidade de taludes e vertentes: existem bairros habitacionais localizados no topo e nas encostas de colinas, em toda a região estudada, mas sobretudo na área do Lobito e nas margens da desembocadura do rio Catumbela. A maioria destes locais apresenta-se intensamente fracturado, o que facilita a infiltração das águas e acelera os movimentos de encosta. Os taludes das redes viárias apresentam-se, também, bastante fracturados, o que facilita a sua instabilidade.

6.3. Conclusões

O estudo morfoestrutural do triângulo Bimbas-Hanha-Biópio (Benguela, SW de Angola), com recurso a imagens obtidas pelo sensor ETM+, do satélite Landsat 7, e do sensor Aster, incluído no satélite Terra, devidamente processadas, permitiu pôr em evidência aspectos da sua morfologia e a identificação e caracterização dos diversos sistemas de lineamentos estruturais que nela se cruzam e que se materializam em falhas, fendas e fracturas. Para constringir os resultados da interpretação dos dados de detecção remota, foi feito o reconhecimento de campo em 18 locais da área estudada, repartidos entre Bimbas, a Sul, Hanha, a Norte e Biópio, a Este. Os resultados obtidos com este estudo contribuem quer para cartografia regional quer para as políticas de ordenamento do território. Para trabalhos a realizar futuramente, sugere-se o prolongamento deste estudo quer à zona interior do planalto, quer para a margem continental, o que permitirá uma maior percepção da dimensão e da continuidade lateral destes sistemas de lineamentos e da sua real importância na morfoestrutura e na evolução geodinâmica desta região.

Referências Bibliográficas

- Blés, J-L., Feuga, B., (1981) – La fracturation des roches. *B.R.G.M. Manuels et Méthods*, nº 1, première partie: *Notions des Mécaniques des Roches*, 7-24.
- Brognon, G. P.; Verrier, G. R., (1966). Oil and geology in Cuanza Basin of Angola. *AAPG Bulletin*, v. 50, pp. 108-158.
- Brum da Silveira, A. P., (2002). Neotectónica e Sismotectónica de um sector do Alentejo Oriental. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pp-339.
- Buta-neto, A. (2006) – Analyse des interactions tectonique salifère – sedimentation grésocarbonatée albienne dans le basin onshore de Benguela (marge sud angolaise). Tese não publicada, Université Bourgogne, Dijon, France, pp-180.
- Carvalho, G. S. (1961) – Alguns problemas dos terraços quaternários de litoral de Angola. *Bol. Ser. Geol. Minas de Angola*, vol. 2, pp. 5-15.
- Carvalho, G. S., 1961. Alguns problemas dos terraços quaternários do litoral de Angola. *Bol. Ser. Gol. Minas de Angola*, 2, 5-15.
- Davis, G. H. & Reynolds, S. J. (1996) *Structural Geology of Rocks and Regions*. Canada: John Wiley & Sons. Inc, pp-775.
- Diniz, A. C., (1998). Características Mesológicas de Angola. IPAD, Lisboa, Portugal, 1ª edição, 480p.
- Feio, M. & Brito, R.S. (1949). Les vallées de fracture dans le modele granitique portugais. *Comptes Rendus du Congrès International de Géographie*, UGI, Lisboa, pp. 254 – 262.
- Feio, M., (1960). Praias levantadas da região do Lobito e Baía Farta. *Garcia da Horta*, 8(2), 357-370.
- Fonseca, Ana D. & Fernandes, João C., (2004). *Detecção Remota*. 1ª Edição. Lisboa: Lidel, pp- 224.
- Galvão, C.F., Portugal, A., (1972). Carta geológica do Lobito á escala 1:100 000. Direcção Provincial dos serviços de Geologia e Minas.

- Galvão, C.F.; Silva, Z., (1972). Notícia explicativa da folha 227-228 (Lobito) à escala 1:100.000. Direcção Provincial dos Serviços de Geologia e Minas, 40 p.
- Gomes, A., (2008). Evolução Geomorfológica da Plataforma Litoral entre Espinho e Águeda. Tese de Doutoramento, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 347 pp.
- Guiraud, M., Buta-Neto, A., Quesne, D., (2010). Segmentation and differential post-rift uplift at the Angola margin as recorded by the transform-rifted Benguela and oblique-to-orthogonal-rifted Kwanza basins. *Marine and Petroleum Geology*, 27, 1040-1068.
- Hatcher, Robert D.Jr (1995), Structural Geology, Concept and Problems. 2nd Ed: Prentice-Hall. Inc., Cap. 6.
- Hobbs, W.H. (1904). Lineaments of the Atlantic border region. Geological Society American Bulletin, 15, pp 483-506.
- Hudec, M.R., Jackson, M.P.A., (2004). Regional restoration across the Kuanza Basin, Angola: salt tectonics triggered by repeated uplift of metastable passive margin. AAPG Bull. 88, 971e990.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R. W. & Chipman, J. W., (2003). Remote sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons, Nova Iorque, 704 pp.
- Lopes, F. C., Pereira, A. J., Mantas, V. M. and Mpenço, H. K., (2016). Morphostructural characterization of the western edge of the Huila Plateau (SW Angola), based on remote sensing techniques. *J. Afr. Earth Sci.*, 117, p. 114-123
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.01.007>
- Marques, M.M., (1977). Esboço das unidades geomorfológicas de Angola (2ª aproximação). Inst. Inv. Cient. Trop. Garcia Orta, S_erv. Geol., Lisb. 2, 41 e 43.
- Marshak, S., Mitra, G., (1988) – Basic methods of structural geology. Prentice-Hall, Inc., Cap. 10.
- Mattauer, M., (1973) – Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre. Hermann Collection Méthods, Part 4, cap.1
- Mpenço, H. K. Cabral (2010), Tese de Mestrado, Caracterização Geológica e Estrutural do Bordo Ocidental do Planalto da Huíla, com base em

Técnicas de Detecção Remota: contribuição para o ordenamento do território, Mestrado em Geociências, Coimbra, pp-11-19.

- O' Leary, D. W., Friedman, J. D. & Pohn, H. A., (1976). Lineament, linear lineation, some proposed new standards for old terms. *Geological Society American Bulletin*, 87, pp 1463 – 1469.
- Park, R. G. (2004) *Foundations of Structural Geology*, 3^o Ediccion ed, New York, EUA: Chapman and Hall, pp-202.
- Peacock, D. (2000), Glossary of normal Faults, *Journal of Structural Geology* (22), pp-291-301.
- Pinho, Ricardo F. da C., (2009). *Aplicação de Técnicas de Detecção Remota para a identificação de lineamentos estruturais num sector do noroeste de Portugal e do sudoeste da Galiza*. Departamento de Geografia. Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Tese para obtenção do grau de Mestre. 127pp.
- Quesne, D., Buta-Neto, A., Benard, D., Guiraud, M., (2009). Distribution of Albian clastic deposits in the Benguela basin (Angola): evidence of a Benguela palaeocurrent? *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 180, 117-129.
- Rabaça, Teresa J. L., (2001). *Caracterização Geoambiental da Região de Penamacor – Idanha por Aplicação de Técnicas de Detecção Remota*. Coimbra. Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Tese para obtenção do Grau de Mestre, 226pp.
- Sabins, Floyd F., (1997). *Remote Sensing – Principles and Interpretation*. 3rd Edition. New York: W.H. Freeman and company, 494 pp.
- Salinero, E. C., (2007). *Teledetección Ambiental. La observación de la Terra desde el espacio*. Editorial Ariel, Barcelona, 586 pp.
- Santos, J. G. (2002), *Movimento de Vertente na Área do Peso da Régua e Avaliação multicriterio para o zonamento de hazards em ambiente SIG*, Território 9, Minerva, Coimbra.
- Santos, T. A. G., (2003). *Atualização de cartografia temática com Imagens de Satélite*. Lisboa: Instituto Superior Técnico da Universidade

Técnica de Lisboa. Tese para obtenção do Grau de Mestre em Sistemas de informação Geográfica.

Tavares, T., (2006). Ammonites et Échinides de l'Albien de Benguela. Systématique, Biostratigraphie, Paléoenvironnement et Paléobiogéographie. PhD Thesis, Université Bourgogne (unpublished), 381 p.

Technoexportstrov, (1990). Esquema para o desenvolvimento socioeconómico da província de Benguela. Comissão provincial de Benguela, Gabinete do Plano.

Twiss, Robert J. & Moores Eldridge M. (1992)-Estructural Geology. W. H. Freeman and Company, Cap. 9, Part IV.

Twiss, Robert J. & Moores Eldridge M. (1992)-Estructural Geology. W. H. Freeman and Company, Cap. 7 e 10.