

“

MODELAÇÃO DE SISTEMAS GEOLOGICOS

Homenagem ao Professor Doutor Manuel Maria Godinho

”

L.J.P.F. NEVES, A.J.S.C. PEREIRA,
C.S.R. GOMES, L.C.G. PEREIRA,
A.O. TAVARES

IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA
COIMBRA UNIVERSITY PRESS

MODELAÇÃO DE SISTEMAS GEOLÓGICOS

Homenagem ao Professor Manuel Maria Godinho

A detecção remota como suporte à caracterização morfo-estrutural do bordo ocidental do planalto da Huíla (SW de Angola)

Horácio Mpengo¹; Fernando Lopes²; Alcides Pereira³; Vasco Manuel Mantas³

¹Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, Portugal e UPRA, ANGOLA. E-mail: mpengoh@yahoo.com.br

²Centro de Geofísica, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, PORTUGAL; fcarlos@dct.uc.pt.

³IMAR, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, PORTUGAL.

Palavras-chave: Angola, Planalto da Huíla, Detecção remota, Caracterização morfo-estrutural

Resumo

Efectuou-se o reconhecimento das principais características morfo-estruturais do bordo ocidental do planalto da Huíla, em 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), e técnicas de exploração (como as composições coloridas RGB). 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 1:1000000. Foram identificados e caracterizados aspectos morfológicos e sistemas de lineamentos principais com orientações N50°W-N60°W, N60°E, N-S, cuja presença no terreno foi confirmada por reconhecimento de campo em vários locais do planalto. 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.

Key-words: Angola; Huila Plateau; Remote sensing; Morphostructural analysis

Abstract

The goal of this work is to recognize the main morfo-structural features of the western edge of the Huíla plateau (Angola) using Remote Sensing techniques. For this purpose a digital elevation model (DEM) of the area was build, based on altimetric data acquired from the Aster sensor, on which image processing techniques (such as enhanced techniques, contrast change and filtering) were applied; the use of other exploitation

techniques, such as RGB color compositions was also tested. The interpretation of the processed satellite images was made by visual and digital means and the results were compared with the available geological mapping (scale 1: 1 000 000). Morphological aspects and the main lineaments systems striking N50°W-N60°W, N60°E, N-S were identified and characterized and, in some cases, confirmed by field work. This study has important implications from the point of view of geological mapping and regional tectonics as well as in land use planning or other areas such as hydrogeology or geotechnics.

Introdução

As imagens de satélite, obtidas e tratadas com a mais variada tecnologia, têm permitido pôr em evidência aspectos geomorfológicos e alinhamentos tectónicos susceptíveis de interpretações diversas. A partir do estudo pormenorizado de sectores relativamente localizados da superfície terrestre, é possível reconhecerem-se e avaliarem-se aspectos estruturais, em particular os padrões de fracturação, e fazerem-se interpretações tectono-estruturais e cinemáticas para domínios mais amplos, tanto continentais (e.g. Lopes *et al.*, 2007; Ayday & Gümüşlüoğlu, 2008; Baruah & Hazarika, 2008) como oceânicos (e.g. Pereira *et al.*, 2008, 2009). Estas novas metodologias permitem ultrapassar os elevados custos e a morosidade associada às técnicas clássicas de reconhecimento geológico. Permitem também a aquisição de informação sobre a regiões inóspitas e/ou de acesso físico difícil, como é o caso de muitas regiões do continente africano. O presente trabalho tem como objectivos o reconhecimento dos principais sistemas de alinhamentos estruturais do bordo ocidental do Planalto da Huíla (Lubango - Angola) e a definição das suas principais características morfo-estruturais como complemento à cartografia estrutural, através da interpretação de dados digitais de detecção remota espacial, adquiridos pelo sensor (ETM+) do satélite Landsat, e pelo sensor (Aster) do satélite Terra.

Enquadramento geomorfológico e geológico

O bordo ocidental do planalto da Huíla está localizado na região centro-sul de Angola, e estende-se de Tchongorói, Província de Benguela, a norte, até Oncôncua, Província do Cunene, a sul, entre as latitudes 13° 30' S e 16° 45' S; e as longitudes 13°00' E e 14° 30' E (Figura 1).

Geomorfologicamente, a superfície do bordo ocidental do planalto da Huíla distribui-se por duas unidades (Marques, 1977): *i*) a unidade I, o Planalto Antigo, que abrange a metade meridional do bordo, representada por uma superfície aplanada tectonicamente soerguida; *ii*) a unidade II, a

Cadeia Marginal de Montanhas, que abrange a metade setentrional do bordo, representada por relevos de desnível muito acentuado. As altitudes oscilam entre os 1000 m (Oncôncua) e os 2330 m (Planalto da Humpata). Para oeste, estas unidades passam abruptamente à unidade III, a Zona de Transição, que se estende paralela ao Atlântico, representada por uma sucessão de patamares aplanados. Esta passagem traduz-se no terreno por um apreciável degrau de erosão, que em algumas zonas apresenta o aspecto de uma verdadeira escarpa, com mais de 1000 m de altura, muito recortada, por vezes revestida de rocha nua (Figura 2a). A intensa fracturação que aí se observa, facilita a acção erosiva e favorece o desprendimento de blocos e as acumulações de sopé. É comum a formação de fendas e canhões, alguns deles profundamente incisos na parede do maciço e de grande impacto visual, como é o caso da Fenda da Tundavala (Serra da Chela; Figura 2b).

Geologicamente, o bordo ocidental do planalto da Huíla está integrado no chamado Bloco Angolano do Cratão Proterozóico do Congo (*e.g.* Deior *et al.*, 2008), cujo interior se manteve estável após os ciclos orogénicos Limpopo-Liberiano (c.2680 M.a a c.2820 M.a) e Eburneano e /ou Tadiliano (c.2100 M.a c. a c.2000 M.a), mas cujas zonas periféricas foram reactivadas e remobilizadas durante os ciclos orogénicos Maiombiano (1300±200 M.a), Kibarino (1300±100 M.a) e Pan-Africano (±975 M.a ±550 M.a) (*e.g.* Carvalho, 1983, 1993; Ferreira da Silva, 2009).

De acordo com Matias (1980) e Carvalho (1983, 1993), ao longo do bordo ocidental do planalto da Huíla afloram, de norte para sul, as seguintes unidades (Figura 1): 1. Granitos porfiroblásticos eburneanos (unidade $P_C\gamma 1$); 2. Granitos biotíticos, granodioritos e dioritos eburneanos (unidade $P_C\gamma$); 3. Granitos e gneisses eburneanos (unidade $P_C\gamma 4$); 4. Quartzitos da Chela, pan-africanos (unidade P_ACh); 5. Calcários da Leba-Tchamalindi, pan-africanos (unidade P_{AL}); 6. Complexo Gabro-anortosítico, limpopo-liberiano (unidade $P_C\beta$ - $P_C\phi$); 7. Granitos Vermelhos do Sudoeste, kibarianos (unidade $P_B\gamma 1$); 8. Noritos e Doleritos, pan-africanos (unidade $P_{A\Delta\gamma}$); 9. Dioritos e Granodioritos do Sudoeste, limpopo-liberianos (unidade P_{Δ}). Esta grande variedade litológica aflorante tem implicações nos distintos recortes do bordo.

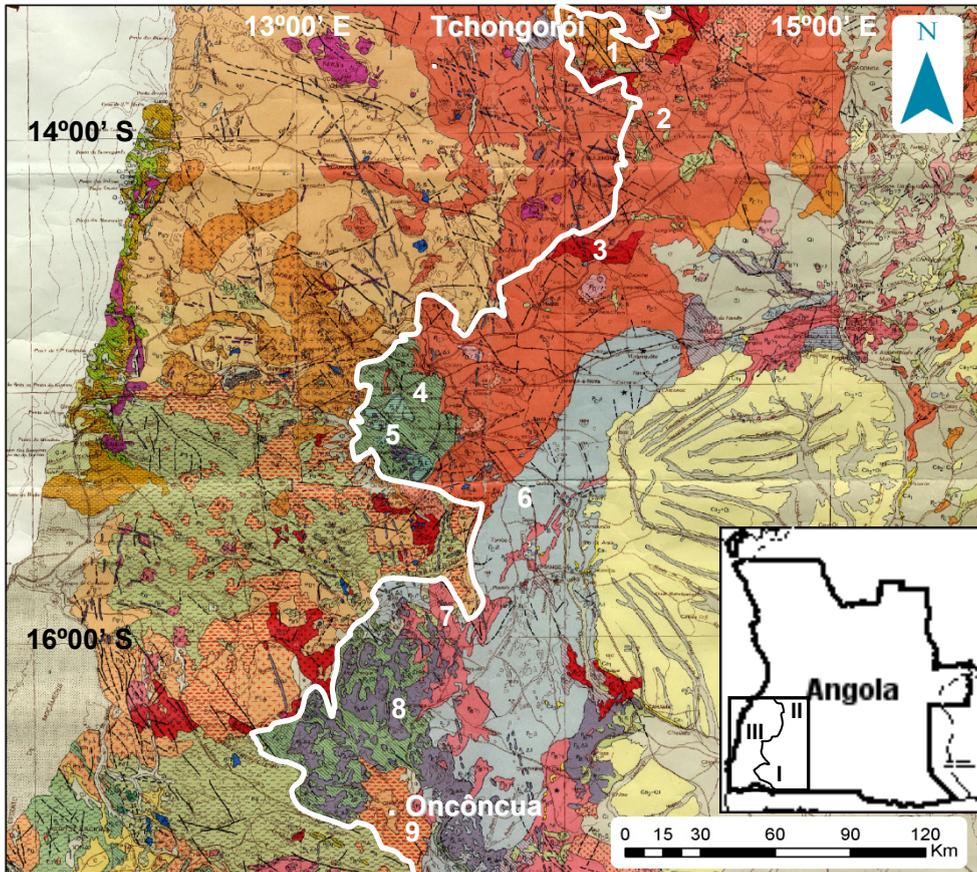


Figura 1. Extracto da folha 3 da carta geológica de Angola à escala 1:1000000 (Matias, 1980), com a localização geográfica do bordo ocidental do planalto da Huila (contorno a branco) e as diferentes litologias que o constituem. 1. Granitos porfiroblásticos eburneanos; 2. Granitos biotíticos, granodioritos e dioritos eburneanos; 3. Granitos e gneisses eburneanos; 4. Quartzitos da Chela, pan-africanos; 5. Calcários da Leba-Tchamalindi, pan-africanos; 6. Complexo Gabro-anortosítico, limpopo-liberiano; 7. Granitos Vermelhos do Sudoeste, kibarianos; 8. Noritos e Doleritos, pan-africanos; 9. Dioritos e Granodioritos do Sudoeste, limpopo-liberianos. Unidades geomorfológicas: I. Planalto Antigo; II. Cadeia Marginal de Montanhas; III. Zona de Transição.

Metodologia

Neste estudo foram utilizadas imagens obtidas pelo sensor ETM+, do satélite Landsat 7, e do sensor Aster, incluído no satélite Terra. As imagens do satélite Landsat-7, num total de 8, correspondem ao path 181 e 182 e row

070 e 071 e foram obtidas em duas estações diferentes: época de chuva (23 de Fevereiro de 2000 e 24 de Fevereiro de 2003) e época seca (de 17 de Setembro de 2002 a 24 de Setembro de 2002). Todos os dados radiométricos foram adquiridos através do sistema Glovis da USGS. Todas as imagens foram convenientemente georreferenciadas no mesmo sistema de projecção (UTM) e *datum* WGS-84.

Como a área estudo se dispunha por 4 imagens, foi necessário proceder à criação do respectivo mosaico. Após esta fase, ao mosaico obtido foram aplicadas técnicas de realce para equilibrar as diferenças na tonalidade entre as diferentes imagens que o compõem e ainda técnicas de alteração do contraste. Foram aplicados diferentes filtros do tipo direccional com o propósito de evidenciar direcções preferenciais dos lineamentos estruturais. Obtiveram-se ainda composições coloridas diversas do tipo RGB, com suporte nas imagens da época seca e da época das chuvas.

Com base nos dados altimétricos obtidos através do sensor Aster (produto Meti-Nasa) correspondentes a 4 secções de 1° de longitude e 1° de latitude, foi elaborado o modelo digital de terreno (MDT), com uma resolução espacial de 30 metros e precisão compreendida entre os 7 e 14 metros. Ao MDT foram aplicadas técnicas de filtragem, na base de filtros direccionais, para realçar os lineamentos estruturais responsáveis pelos principais aspectos geomorfológicos da região. Os vectores correspondentes aos lineamentos interpretados foram traçados em ambiente ERMapper 7.1 e posteriormente transferidos para ambiente SIG (ArcGis 9.2). Todas as manipulações dos dados radiométricos foram efectuadas com base no programa informático ErMapper 7.1. Para validação da cartografia elaborada e obtenção de dados de pormenor, foi efectuado reconhecimento de terreno em Abril de 2010.

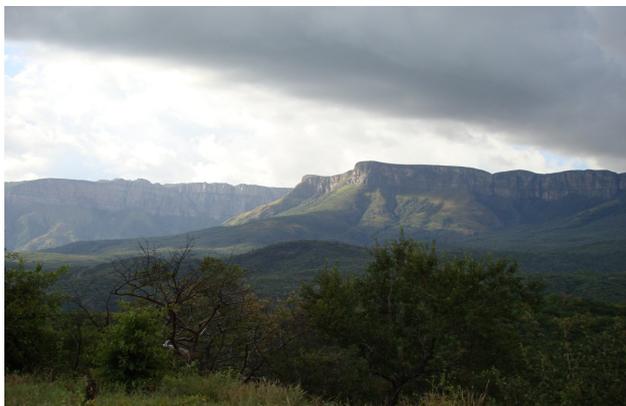


Figura 2a. A imponente da escarpa do bordo ocidental do Planalto da Huíla.



Figura 2b. A vertiginosa Fenda da Tundavala.

Caracterização morfo-estrutural

Da análise morfo-estrutural ao bordo ocidental do planalto da Huíla, com base no modelo digital de terreno, foi possível interpretar os seguintes sistemas de lineamentos dominantes (Figuras 3-6):

-Sistema $N50^{\circ}W-N60^{\circ}W$ – é o sistema mais penetrativo e predominante ao longo do bordo ocidental do planalto, onde o recorta em facetas com a mesma orientação, materializadas em fendas e canhões. Estes lineamentos constituem verdadeiros corredores que se prolongam para noroeste, através da peneplanície, traduzindo falhas profundas de soco, ou zonas de falha, ao longo das quais se implantaram, por vezes, rochas doleríticas. Na zona central do bordo, é possível reconhecer nos taludes da Estrada da Leba e da estrada de acesso à Tundavala, zonas de falha com esta orientação, onde as rochas aparecem profundamente cataclasadas e milonitizadas. Por outro lado, um dos sistemas de diáclases que predomina em afloramentos de quartzito no planalto da Humpata possui, também, esta orientação. As falhas deste sistema terão actuado como normais durante a fase de rifte do Cretácico inferior.

-Sistema N60°E – é o segundo sistema mais predominante. No sector central os lineamentos formam corredores que se prolongam para sudoeste, através da peneplanície onde controlam a orientação e a forma sigmoidal do relevo. Traduz-se por falhas profundas do soco que terão actuado como zonas de transferência durante a fase de rifte do Cretácico inferior (Hudec & Jackson, 2004). Parece favorecer a implantação de filões doleríticos.

-Sistema N-S - identificado sobretudo nas regiões central e nordeste do bordo, onde controla a orientação do relevo. Ao longo de alguns destes lineamentos instalam, por vezes, soleiras e filões doleríticos.

-Sistema N10°W- N20°W – é sobretudo identificado nas regiões central e sudoeste do bordo, onde controla a orientação do relevo. Em alguns locais, lineamentos com esta direcção estão intruídos por soleiras e filões doleríticos.

Menos expressivos são os sistemas N20°E e E-W que se identificam um pouco por todo o bordo, mas que, localmente, podem ter impacto importante na geomorfologia. Por exemplo, na extremidade nordeste destaca-se o sistema de lineamentos arqueados de orientação E-W a N30°W, bastante penetrativo, responsável pela forma em esporão do bordo do planalto. Faz parte da faixa de dobramentos e carreamentos pan-africanos da periferia do cratão (*e.g.* Mauririv, 1993). Na extremidade sudoeste é ainda de realçar o sistema ENE-WSW que intersecta obliquamente os sistemas anteriores.

Os sistemas N50°W-N60°W e N60°E definem as principais características morfo-estruturais do bordo ocidental do Planalto da Huíla, e controlam o traçado facetado da sua escarpa. O próprio relevo do interior do planalto é, por vezes, condicionado por estas direcções estruturais, onde vales profundos e cristas em forma de sigmoides em “S” e “Z” aparecem dispostos em “escadaria”. Conjugando os lineamentos com o modelo digital de terreno e a geologia da região, é possível concluir que as estruturas principais se comportam como grandes corredores de deformação, indicando uma complexa evolução tectónica. O profundo enraizamento crustal de alguns dos lineamentos estruturais destes corredores pode ser evidenciado pela instalação, no seu seio, de filões e soleiras doleríticas.

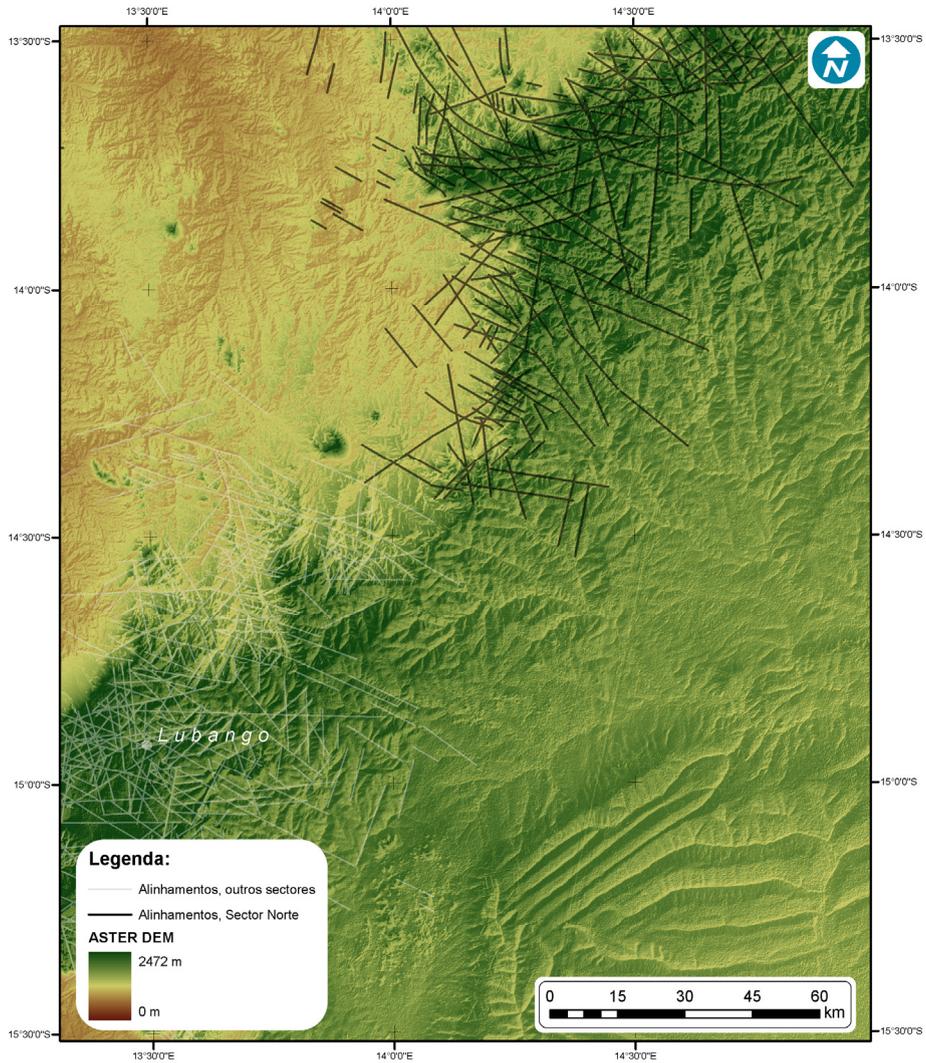


Figura 3. Modelo digital do terreno do sector setentrional da área estudada, com os principais lineamentos identificados no bordo do planalto.

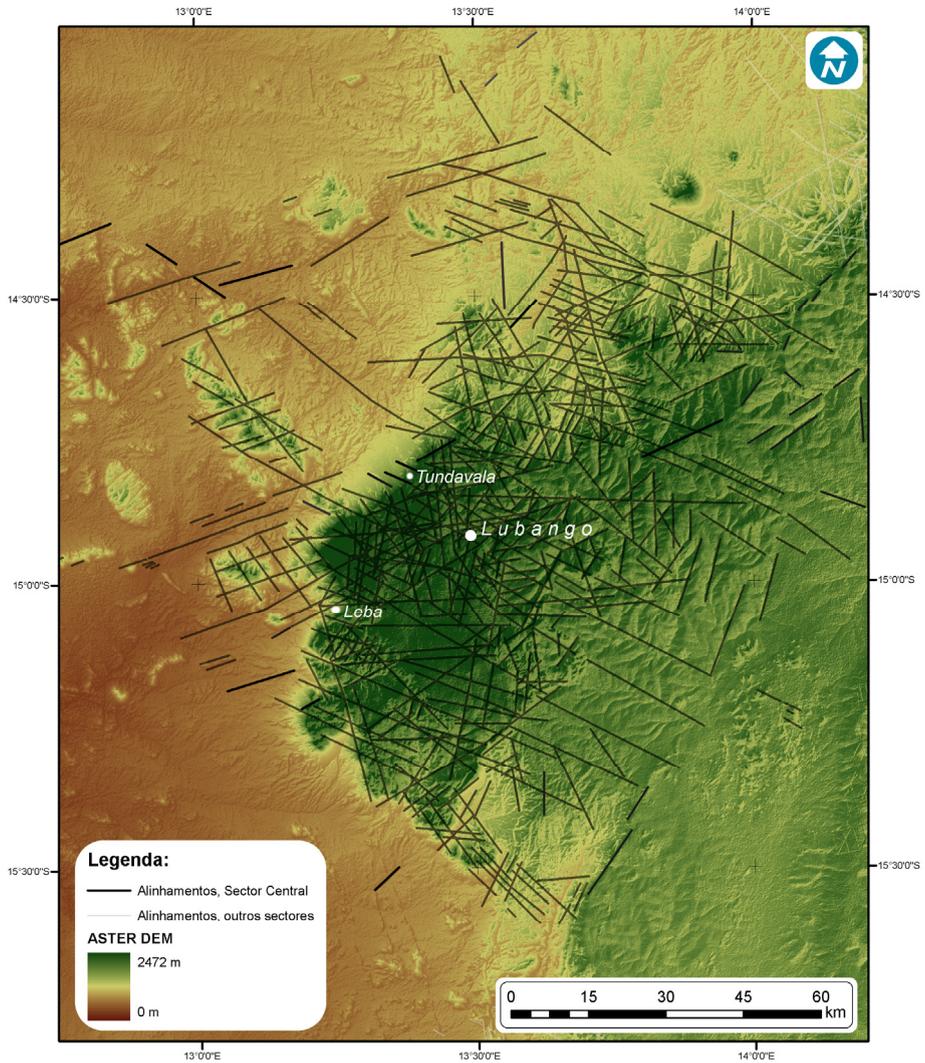


Figura 4. Modelo digital do terreno do sector central da área estudada, com os principais lineamentos identificados no bordo do planalto.

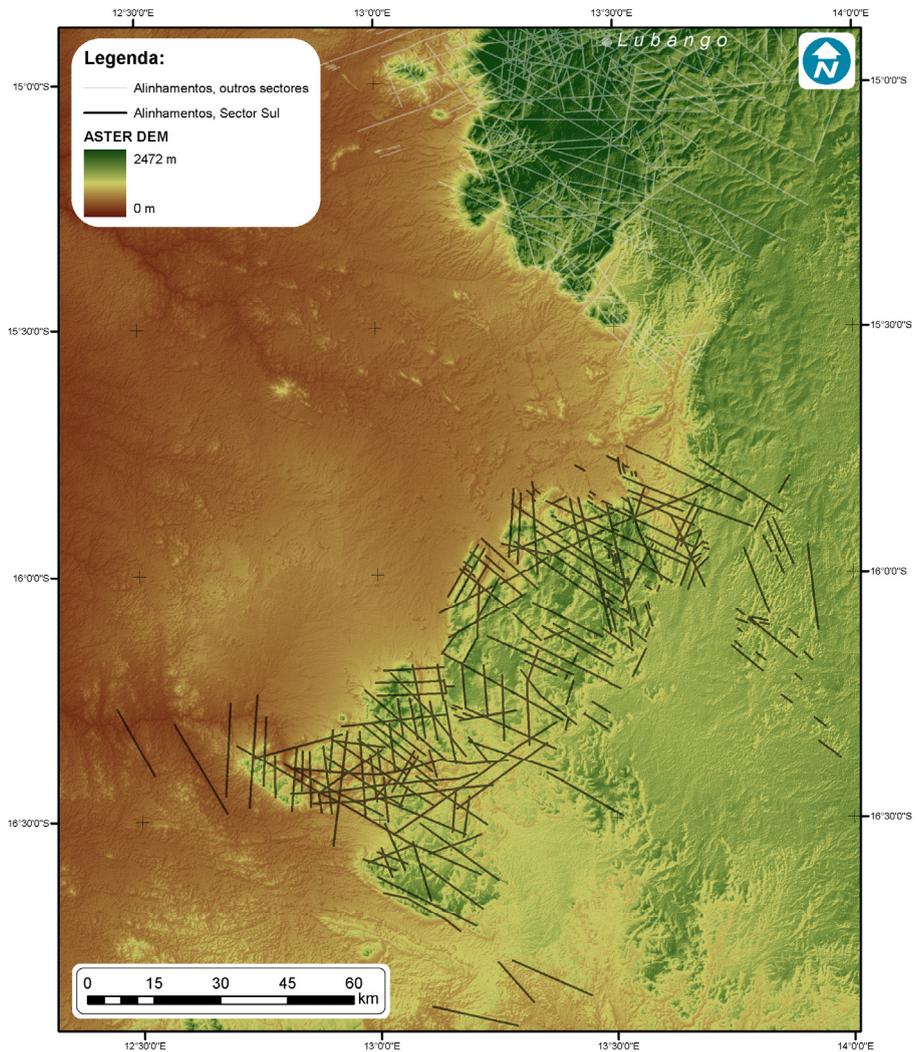


Figura 5. Modelo digital do terreno do sector meridional da área estudada, com os principais lineamentos identificados no bordo do planalto.

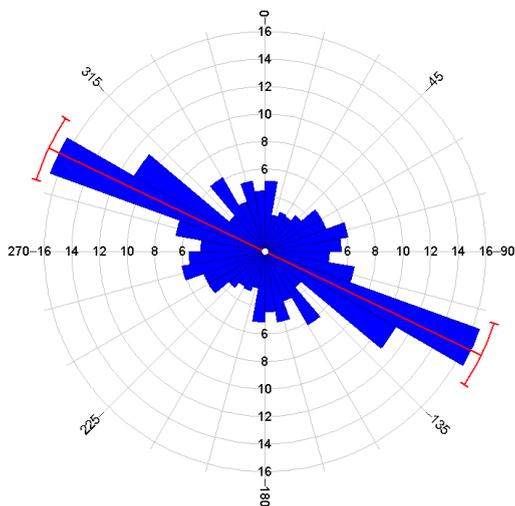


Figura 6. Diagrama de rosetas de toda a área de estudo, indicando a orientação dos lineamentos predominantes no bordo do planalto.

Considerações finais

O presente estudo permitiu pôr em evidência aspectos da morfologia do bordo ocidental do planalto da Huíla e a identificação e caracterização dos diversos sistemas de lineamentos estruturais que nele se cruzam e que se materializam em falhas, fendas e fracturas. Os resultados obtidos têm importantes implicações no âmbito da cartografia regional e das interpretações tectono-estruturais, ao permitirem aferir e complementar em detalhe a cartografia geológica existente, nomeadamente no que respeita ao padrão de fracturação do bordo ocidental do planalto da Huíla. Os grandes sistemas de lineamentos estruturais (N50°W-N60°W, N-S, N60°E) tornam-se mais evidentes e são, de igual modo, destacadas orientações (N10°W-20°W; N20°E; E-W) secundárias, o que constitui uma mais-valia para as interpretações tectono-estruturais regionais. Reconhece-se a grande importância dos alinhamentos N60°E e N50°W-N60°W que terão actuado, respectivamente, como falhas de transferência e falhas normais durante a fase de rifte do Cretácico inferior e terão sido responsáveis pelo traçado recortado em facetas poligonais do bordo ocidental do planalto da Huíla (Figura 7).

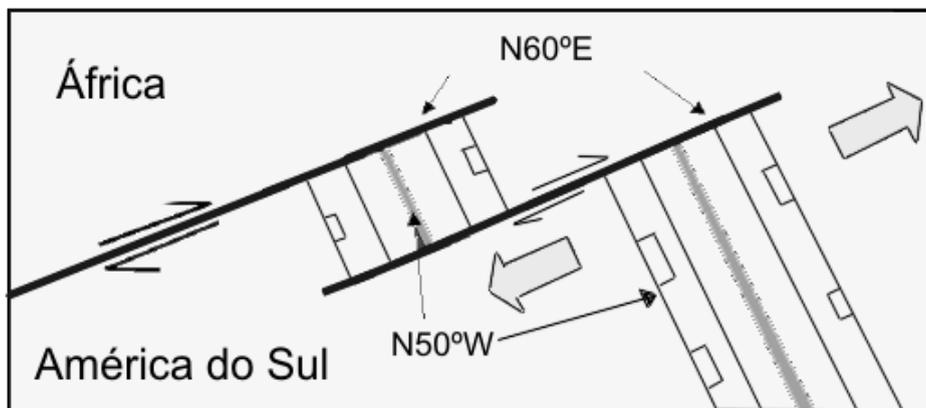


Figura 7. Modelo para o funcionamento dos sistemas N60°E e N50°W durante a fase de rifte do Cretácico inferior.

Este estudo traz também mais-valias no âmbito das políticas de ordenamento do território, com aplicação: *i*) à hidrogeologia, na medida em que o padrão de fracturas influencia a rede de drenagem (dendrítica a rectangular) e a localização dos locais de recarga dos aquíferos existentes no planalto da Huíla. A informação obtida com este estudo será importante para o estabelecimento dos perímetros de protecção das zonas de recarga; *ii*) aos problemas da estabilidade de taludes: as redes viárias que ligam o planalto às zonas baixas atravessam o bordo do planalto. A estabilidade dos seus taludes depende, para além do declive destes, do grau de fracturação e alteração das suas rochas constituintes, aliados às condições climáticas. São frequentes os movimentos de massas, sobretudo a queda de blocos, com consequente interrupção das comunicações viárias. De igual modo, ao longo de algumas encostas, sobranceiros às escarpas, onde o coberto vegetal é escasso, é comum encontrarem-se pequenos povoados, que vivem sob a ameaça dos movimentos de massa. O reconhecimento do padrão de fracturação poderá contribuir para a minimização dos riscos associados a estes fenómenos.

Para trabalhos a realizar futuramente, sugere-se o prolongamento deste estudo quer à zona interior do planalto da Huíla, quer à peneplanície adjacente a ocidente deste, o que permitirá adquirir uma maior percepção da dimensão e da continuidade lateral destes sistemas de lineamentos e da sua real importância na morfo-estrutura e na evolução geodinâmica desta região.

Nota: o presente trabalho integra-se no âmbito de uma dissertação de Mestrado em Geociências da FCTUC, no ramo de especialização de Ambiente e Ordenamento do Território.

Bibliografia

- Ayday, C., Gümüşlüoğlu, E. (2008) - Detection and interpretation of geological linear features on the satellite images by using gradient filtering and principal component analysis. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, XXXVII (B8), Beijing, 1207-1210.
- Carvalho, H. (1983)- Notice explicative préliminaire sur la géologie d'Angola. Instituto de Investigação Tropical, Sér. Géol. Lisboa; 6, 15-30.
- Carvalho, H. (1993) - The Precambrian of SW Angola and NW Namíbia. *Com. Inst. Inv. Cient. Tropical*, Lisboa; 4, 38p.
- Baruah, S. & Hazarika, D. (2008) - A GIS based tectonic map of northeastern India. *Current Science*; 95, 176-177.
- Deilor, C., Theveniaut, H., Cage, M., Pato, D., Lafon, J.-M., Bialkowski, A., Rooig, J.-Y., Neto, A., Cavongo, M. & Sergeev, S. (2008) - New insights into the Precambrian geology of Angola: basis for an updated lithochronological framework at 1:2000000 scale. *22nd Colloquium of African geology. Hammamet –Tunisia*, 52-53.
- Ferreira da Silva, A. (2009) - A geologia da República de Angola desde o Paleoarcaico ao Paleozóico Inferior. *Boletim de Minas*; 44, 99-162.
- 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 Bulletin*; 88, 971-990
- Lopes, F.C., Pereira, A. & Vicente, A. (2007) - Recognizing salt-structures on the basis of geophysical and remote sensing data: the case of Monte Real salt-structure (onshore West-Central Portugal). *Proceedings Book. IEEE, International Geoscience and Remote Sensing Symposium, July Barcelona, Spain*, 23-27.
- Marques, M.M. (1977) - Esboço das unidades geomorfológicas de Angola (2ª aproximação), *Inst. Inv. Cient. Tropical, Garcia de Orta, Sér. Geol.*, Lisboa, 2, 41-43.
- Matias, D.N. (1980) - Carta Geológica de Angola à escala 1:1000000 (folha 3). Instituto Geográfico Cadastral.
- Maurirv, J.C., 1993. The Pan-African west-Congo belt: Links with eastern Brazil and geodynamical reconstruction. *International Geology Review*; 35, 436-452.
- Pereira, L.C., Andrade, A.A.S., Gomes, C. R., Lopes, F.C. & Azevedo, J.M. (2008) - Análise Geométrica e cinemática de alinhamentos tectónicos no Atlântico nordeste. *Comunicações Geológicas*; 95, 51-59.
- Pereira, L.C., Lopes, F.C. & Gomes, C. R. (2009) - Alinhamentos tectono-estruturais na Margem Sudoeste Ibérica - um modelo interpretativo. *Livro de resumos. 6º Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica. Oviedo. 1-5 Dezembro*, 25-28.