

MODELAÇÃO NUMÉRICA DE BACIAS TRANSTENSIONAIS; ENSAIO DE APLICAÇÃO À DEPRESSÃO DE VILARIÇA (NE PORTUGAL)

F. Monteiro Santos¹, A. Mateus², L. Matos¹, J. Cabral²

¹ Centro de Geofísica, Departamento de Física, Fac. De Ciências, Univ. Lisboa, R. Escola Politécnica, 58, 1269-102 Lisboa.

² Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa

Abstract

The main characteristics presented by tectonic basins generated in pure strike-slip and transtensional regimes (usually called pull-apart basins) were analysed using the bidimensional finite-elements in the plane stress approach. Particular boundary conditions were used in order to evaluate the constraints imposed to the development of the Vilarica tectonic depression.

Resumo

As características geométricas principais apresentadas por bacias tectónicas geradas em condições de desligamento puro e de transtensão (vulgarmente denominadas por bacias do tipo *pull-apart*) foram examinadas recorrendo a modelos numéricos bidimensionais de tensão plana (elementos finitos). Os cálculos efectuados tiveram em conta condições de fronteira particulares por forma a avaliar os condicionamentos impostos ao desenvolvimento da depressão tectónica de Vilarica.

Introdução

As bacias tectónicas ocorrem geralmente na dependência de dispositivos estruturais de complexidade distinta, muitas vezes compreendendo falhas de desligamento (com movimentação vertical variável) *en échelon*, tomando, nestas circunstâncias, a denominação *pull-apart*. Em Portugal Continental são conhecidas várias bacias deste último tipo destacando-se, pelas suas dimensões, a depressão tectónica de Vilarica, associada à zona de falha conhecida por Manteigas – Vilarica – Bragança.

As características das bacias *pull-apart* têm sido estudadas por vários autores, recorrendo a modelos analíticos fundamentados na teoria da elasticidade (*i.e.* Rodgers, 1980; Segall & Pollard, 1980). Tais modelos fornecem indicações preciosas quer sobre a orientação das falhas que se desenvolvem no ressalto (positivo ou negativo) definido entre as duas falhas de desligamento, quer sobre as características do campo de tensão e de deslocamento vertical que se estabelecem no domínio de génese da bacia de *pull-apart* (caso o ressalto seja positivo). Duas principais conclusões se retiram como resultado destas modelações: (1) a direcção da componente compressional tende a ser paralela às falhas de desligamento; e (2) o eixo da depressão tende a ligar os dois extremos das falhas com disposição *en échelon*.

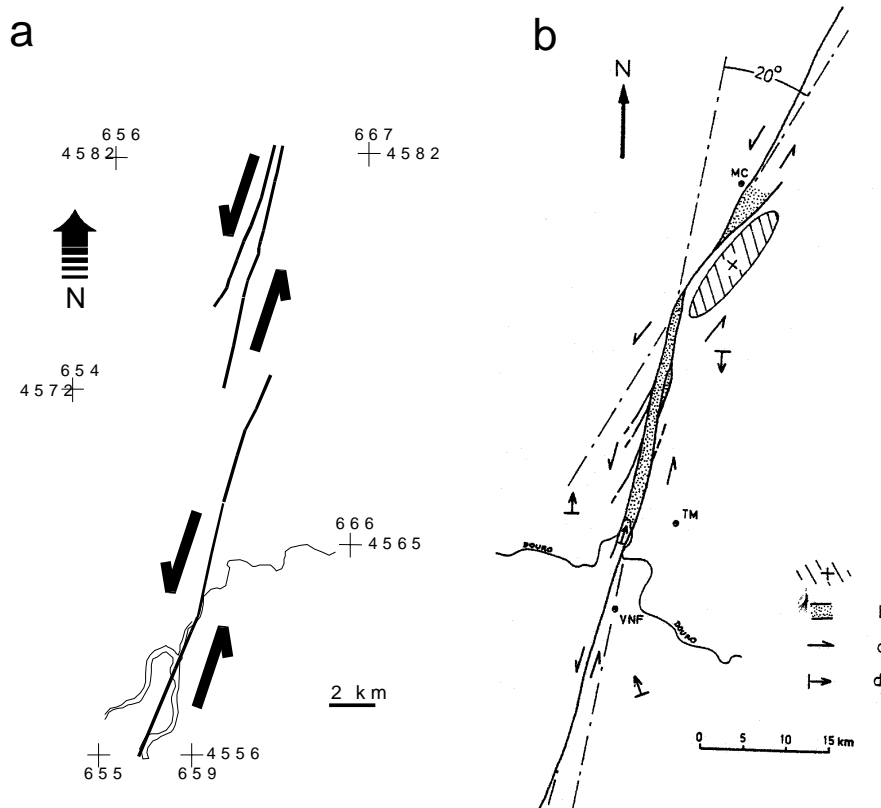
Mais recentemente, Gölke *et al.* (1994) e Katzman *et al.* (1995) estudaram os deslocamentos verticais e as variações da topografia intimamente relacionadas com as bacias *pull-apart*, utilizando modelos numéricos 2-D (elementos finitos) e 3-D (elementos de fronteira). Os resultados obtidos por estes autores mostram que a depressão se desenvolve no domínio de ressalto positivo entre as falhas de desligamento *en échelon*, apresentando dois núcleos de maior profundidade, junto das extremidades dos acidentes considerados. Mais revelam que a morfologia da depressão é fortemente condicionada pelas condições de fronteira impostas ao modelo.

Recorrendo a um modelo de tensão plana 2-D (elementos finitos), Bertoluzza & Perotti (1997) estudaram a distribuição do campo de tensões para diferentes condições de fronteira (movimento de *desligamento* em condições de transtensão e de transpressão) a fim de explicar as relações angulares entre as falhas que constituem o dispositivo *en échelon* e as falhas

normais que limitam a depressão formada.

No presente trabalho apresentam-se os resultados preliminares de um estudo realizado com o objectivo de melhor compreender a génese e evolução geométrica da depressão de Vila-riça, impondo condições de fronteira particulares, ditadas pelo conhecimento da rede de aciden-tes patente na região de Sta Comba da Vila-riça – Pocinho (em particular os que registam activi-dade neotectónica; ver Mateus *et al.*, neste volume). Acresce mencionar que a depressão de Vila-riça corresponde a uma bacia alongada, estreita (com uma largura média de 2 km) e rela-tivamente plana (com uma altitude mínima compreendida entre 100 e 250 m), que se estende segundo a direcção geral NNE-SSW ao longo de cerca de 20 km. A vincada expressão geomor-fológica desta depressão traduz em boa parte o vigor da maioria das vertentes de a limitam (es-pecialmente íngremes quando talhadas em rochas graníticas) em ambos os bordos.

Fig.1. a – Representação esquemática dos acidentes com expressão cartográfica activos no Plio-Quaternário (ver Mateus *et al.*, presente volume, para detalhes); **b** – Modelo interpretativo de Cabral (1985) para a formação da depressão de Vila-riça; a- *demí-horst* de Bornes; b- depressão tectónica; c- sentido de desligamento; d- basculamento da superfície de aplanação.



A ocidente da de-pressão, identifica-se a superfície de Lousa-Vilarinho (parte oriental da superfí-cie de Carrazeda de Anciães) que, bascu-lada para Norte, atin-ge altitudes compre-ndidas entre os 850 e os 700 m; a oriente, reconhece-se a su-perfície da Meseta que se eleva progres-sivamente de Sul para Norte, desde os 550 m até à altitude de 1200 m, corres-pondendo ao topo da Serra de Bornes.

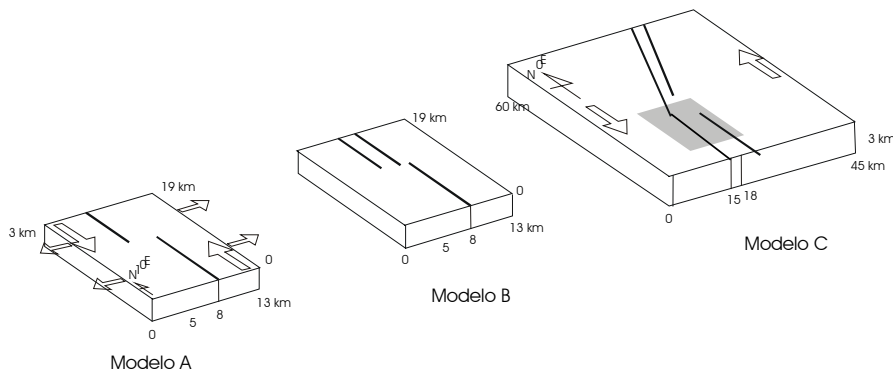
2. Modelo numérico

O modelo nu-mérico utilizado neste trabalho assume que

o substracto rochoso tem comportamento elástico, isto é, que existe uma relação linear entre os campos de tensões e das deformações. Considera-se uma aproximação 2-D de tensão plana, não permitindo, portanto, que se desenvolvam componentes verticais de tensão. Os cálculos efectuados fundamentam-se em modelos que compreendem cerca de 800 elementos triangulares (blocos) num total de aproximadamente 500 nodos. As estruturas não afectadas

por falhas foram modeladas considerando blocos com módulo de Young igual a 75 GPa e razão de Poisson igual 0.25. As falhas de desligamento foram representadas por blocos com módulo de Young igual a 1.0 GPa e razão de Poisson igual a 0.05. Estes valores, escolhidos de forma

Fig.2. Modelos utilizados no presente estudo. A espessura da placa é de 3 km. No modelo C a área sombreada corresponde à abrangida pelos modelos A e B.



empírica, minimizam as tensões tangenciais ao longo das falhas, permitindo a simulação de estruturas sujeitas a movimentação horizontal.

As condições de movimento de desligamento e de transtensão foram obtidas através da im-

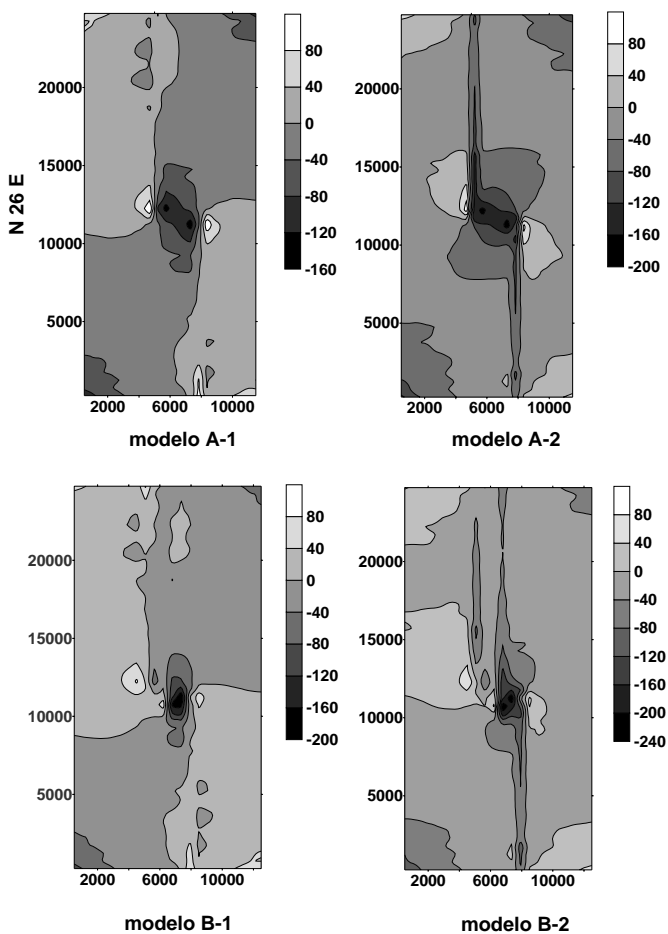
posição de constrangimentos cinemáticos de fronteira, isto é, impondo deslocamentos apropriados em algumas das fronteiras do modelo de acordo com os dados estruturais disponíveis (Figs. 1 e 2; ver ainda o mapa incluso no trabalho de Mateus *et al.*, neste volume). A fim de simular a condição de desligamento, as fronteiras E e W foram sujeitas a deslocamentos de 1 km em sentidos opostos. O estado de transtensão foi simulado assumindo um movimento (250 m), daquelas fronteiras segundo as direcções E e W (movimentos representados pelas setas na Fig. 2, modelo A).

O facto de se usar um modelo de tensão plana, impedindo a existência de tensões verticais, conduz a que os valores calculados para o campo dos deslocamentos verticais tenham apenas carácter qualitativo. De igual modo, as deformações nas proximidades dos extremos das falhas de desligamento estarão afectadas de um erro difícil de estimar. Por estas razões, o estudo que agora se apresenta deve ser considerado como uma primeira aproximação ao problema.

3. Resultados

O presente estudo contempla três modelos distintos (Fig. 2) em duas condições: 1) de desligamento puro; e 2) de desligamento em transtensão. Os modelos A e B representam, de forma esquemática, o dispositivo geométrico identificado a Sul do *demi-horst* de Bornes para o qual existem evidências de campo que sustentam a sua actividade durante o Plio-Quaternário, não obstante o traçado de uma das estruturas tenha sido em grande parte inferido (compare-se a Fig.1a com o mapa apresentado por Mateus *et al.*, presente volume). O modelo C simula simplificada a solução geométrica proposta por Cabral (1985) para a génese da depressão de Vilariça (Fig.1b). Em qualquer dos casos, o parâmetro estudado foi o deslocamento vertical, que permite visualizar qualitativamente a geometria da depressão.

Fig3. Deslocamento vertical (em metros) calculado para os modelos A e B nas condições de desligamento puro (1) e de deligamento em transtensão (2).



3.1. Modelos A e B

Os diagramas patentes na Fig. 3 ilustram os resultados obtidos na simulação com os modelos A e B. Em ambos os casos a existência de transtensão origina uma depressão junto aos desligamentos considerados (modelos A-2 e B-2), bem como induz a rotação da depressão que liga as extremidades destes acidentes. Este efeito pode ser cabalmente apreciado no modelo A-2. Observa-se ainda, em qualquer dos modelos, a existência de movimentos verticais positivos junto das extremidades das falhas.

No modelo B estudam-se os efeitos inerentes à imposição de um terceiro acidente activo entre as duas estruturas que aparentam limitar a depressão em estudo. Como se pode observar (Fig. 3, Modelo B-2), a existência deste novo elemento estrutural conduz ao fecho da depressão a Norte, modificando apreciavelmente a geometria da bacia (comparem-se as figuras correspondentes às respostas dos Modelos A-2 e B-2, Fig. 3).

3.2. Modelo C

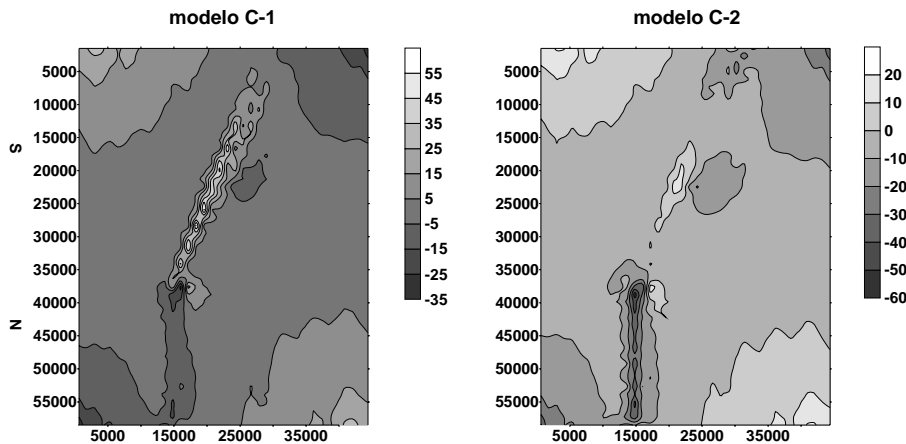
Na Fig. 4 apresentam-se os resultados obtidos para o modelo C em situação de desligamento puro (Modelo C-1) e de desligamento em transtensão (Modelo C-2). Apenas no sistema de falhas a Sul de Bornes se verifica a formação de uma depressão alongada, mais profunda no domínio de encurvamento do acidente principal. As condições de fronteira impostas a este modelo conduzem ainda à gênese de um outro relevo positivo, a Norte de Bornes.

4. Conclusões

A simples comparação entre os resultados obtidos e as características morfológicas apresentadas pela depressão de Vilarça colocadas em evidência pela cartografia, sugere fortemente que, do ponto de vista geométrico, a gênese desta última se afigura consistente com um

dispositivo estrutural transtensivo esquerdo similar ao retratado pelo modelo B. Não obstante o

Fig.4. O mesmo que na figura 3, mas para as condições assinaladas para o modelo C.



carácter meramente qualitativo desta análise preliminar, importa ainda salientar que a solução geométrica imposta ao modelo B se revela igualmente compatível com a natureza assimétrica da bacia em estudo, também inferida com base nos estudos de magneto-telúrica levados a cabo recentemente (e.g. Matias *et al.*, 1997). Nesta linha de raciocínio,

condições de fronteira distintas e mais complexas deverão ser introduzidas e testadas em trabalhos subsequentes por forma a contemplar o jogo simultâneo em desligamento esquerdo e falha normal dos acidentes que limitam a depressão a E e W, respectivamente.

Uma nota final relativamente aos resultados decorrentes da aplicação do modelo C. A depressão gerada a Sul de Bornes, apesar de alongar-se segundo a direcção NNE-SSW, tende a apresentar uma morfologia alargada e maiores profundidades num domínio onde as evidências de campo revelam a escassez de depósitos sedimentares recentes. Também contrariamente ao indicado pela cartografia geológica, não se desenvolve qualquer depressão tectónica a Norte de Bornes (bacia de Macedo de Cavaleiros). Daqui se depreende que a simulação numérica dos dispositivos geométricos envolvidos na génese das bacias de Vilarica e de Macedo de Cavaleiros conforme a proposta de Cabral (1985), exige a definição de um modelo mais complexo que o testado, incluindo necessariamente modificações nas condições de fronteira por forma a contemplar os constrangimentos impostos: 1) pelos diferentes estilos tectónicos evidenciados pelos acidentes em causa; e 2) pelas inflexões do traçado destes acidentes na região a Norte da Serra de Bornes.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projecto "Estudos de Magneto-telúrica na falha Manteigas-Vilarica-Bragança", financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia/Ministério da Ciência e Tecnologia (PBIC/C/CTA/2123/95).

Referências

- Bertoluzza, L. & Perotti, C.R. 1997. A finite-element model of the stress field in strike-slip basins: Implications for the Permian tectonics of the Southern Alps (Italy). *Tectonophysics*, 280, 185-197.
- Cabral, J.M. 1985. Estudos de neotectónica em Trás-os-Montes Oriental. Provas de Apt. Ped. E Cap. Científica. Dep. Geol. Fac. Ciências da Univ. Lisboa, 125 p..
- Gölke, M., Cloetingh, S. & Fuchs, K. 1994. Finite-element modeling of pull-apart basin formation. *Tectonophysics*, 240, 45-57.

- Katzman, R., ten Brink, U.S. & Lin, J. 1995. Three-dimensional modelling of pull-apart basin: implications for the tectonics of the Dead Sea Basin. *J. Geophys. Res.*, 100 (B4), 6295-6312.
- Mateus, A., Andrade, M., Cabral, J. & Monteiro Santos, F.A. 1999. Análise cinemática e dinâmica da rede de fracturas identificada na região de Sta. Comba da Vilarça-Pocinho (NE Portugal). Neste volume.
- Matias H.C., Monteiro Santos F., Mateus A., Almeida E.P., Cabral J. & mendes-Victor L. 1997. Estudos de magneto-telúrica no sector Norte da bacia tectónica da Vilarça – resultados preliminares. XIV Reunião de Geologia do Oeste peninsular, Vila Real, 153-158.
- Rodgers, D.A. 1980. Analysis of pull-apart basins development produced by en échelon strike slip faults. In: Balance, P.F., Reading, H.G. (Eds.), *Sedimentation in Oblique-Slip Mobile Zones*, Spec. Publ. Int. Assoc. Sedimentol. 4, 27-41.
- Segall, P. & Pollard, D.O. 1980. Mechanics of discontinuous faults. *J. Geophys. Res.*, 85, 4337-4350.