

Geoboletim

Folha informativa do Centro de Geofísica de Évora

15 de Setembro de 2010
Número 15



Centro de Geofísica de Évora, Rua Romão Ramalho, 59, 7002 554 Évora, Portugal • Tel: 266 745300 • Fax 266 745394 • <http://www.cge.uevora.pt>

Editorial

A. Alexandre Araújo *Centro de Geofísica de Évora, Departamento de Geociências, ECT, Universidade de Évora*

A criação e participação em redes internacionais é fundamental para o desenvolvimento da actividade científica de qualquer centro de investigação. Em Novembro de 2009 a Reitoria da Universidade de Évora, em representação do CGE, assinou um protocolo envolvendo a FCUL e o CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Brasil, para a criação da READE - Rede Luso-Brasileira de Remediação e Reabilitação de Ambientes Degradados. No âmbito deste protocolo já se realizaram deslocações de investigadores portugueses ao Brasil, para participação em eventos científicos e, nos dias 24 e 25 de Junho, realizou-se em Évora o **Seminário de cooperação Minas Gerais-Portugal: Desenvolvimento Mineral, Sustentabilidade e Geologia**. Neste encontro participou uma importante delegação do Estado de Minas Gerais com representantes, do CETEC, das Universidades Federais de Minas Gerais e Ouro Preto, da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, da Fundação Estadual do Meio Ambiente, da Companhia de Desenvolvimento Económico de Minas Gerais e do Pólo de Excelência Mineral e Metalúrgico da

Índice

Editorial	1
GeoComentário	1
GeoInformação	2
Geoagenda	2
GeoArtigo (Influência das estruturas variscas na evolução Alpina do Alto Atlas ocidental (Marrocos)	3
GeoArtigo (Physics of Seismo-Electromagnetic Phenomena)	5
GeoAgenda (Caracterização e recuperação de bacias hidrográficas na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais)	6

Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior. Como resultado do encontro salienta-se o acordo alcançado, no sentido da integração destes parceiros brasileiros na READE, da integração de outras unidades da UÉ e da FCUL e do alargamento do objecto de estudo desta rede a outras áreas da Geologia e Geofísica. Decorrem presentemente negociações sectoriais entre vários parceiros, estando o CGE a protocolar directamente com a Universidade Federal de Ouro Preto os termos de uma cooperação ao nível do ensino graduado e pós-graduado, na área da Geofísica.

GeoComentário

Ana Maria Silva *Centro de Geofísica de Évora, Departamento de Física, ECT, Universidade de Évora*

O Centro de Geofísica de Évora tem procurado inserir a sua actividade científica e de formação avançada em redes internacionais. Desde 2003 que se tem vindo a inserir em redes observacionais e em consórcios internacionais das ciências atmosféricas e geofísicas, permitindo-lhe ter acesso aos dados em tempo quase real da respectiva comunidade científica que os produz e os utiliza ou a ter acesso à utilização de infraestruturas e plataformas observacionais nacionais e europeias. Destacamos, a título de exemplo: a **AERONET** (AErosol RObotic NETwork) da NASA, **EARLINET** (European Aerosol Research Lidar NETwork), **SPALINET** (Spanish and Portuguese Lidar NETwork), **CO2NET** (European Carbon Dioxide Knowledge Transfer Network), **IMERNET** (Ibero-maghrebian earthquake risk reduction network), **European Chemistry Thematic Network** E-Learning Programme entre outras e a inserção em consórcios nacionais (**RISCOS** e do **ESPAÇO**) e Internacionais (**COPAL**, **EPOS**) da **ESFRI** (European Science Foundation for Research Infrastructures).

No que diz respeito à cooperação com outras Unidades I&D e Universidades responsáveis por programas doutorais nas Ciências da Terra ou Atmosféricas, o CGE, tem procurado inserir-se em redes de programas doutorais como por exemplo com a Universidade Complutense de Madrid, com a Universidade de Granada ou da Extremadura ou ainda com as Universidades do Magreb em Oran (Argélia) e Mekness (Marrocos). Há intercâmbio de membros do CGE para a colaboração na docência de disciplinas desses programas doutorais, partilha de orientações de dissertações de doutoramento ou ainda o acolhimento de pós-doutorandos e de professores visitantes dessas Universidades. Há

ainda o acolhimento de estudantes de doutoramento oriundos dos Países Africanos de Língua Portuguesa e de Timor Leste.

A extensão da cooperação formal do CGE com as Universidades e Centros de Investigação do Brasil era uma prioridade até que em finais de 2009 o Centro de Geofísica de Évora (CGE) e a Universidade de Évora em parceria com o Centro de Recursos Minerais, Mineralogia e Cristalografia (CREMINER) e a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa assinavam um protocolo de colaboração científica com a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), **READE** – Rede Luso-Brasileira de Remediação e Reabilitação de Ambientes Degradados. Este protocolo vinha corporizar as relações de trabalho que alguns investigadores do CREMINER e do CGE, desenvolviam desde há muito com o CETEC.

Já em meados de 2010, e no âmbito do protocolo da READE, se intensifica a colaboração científica, no domínio da Geologia, com a participação de um membro do CGE no 3º Workshop do Quadrilátero Ferrífero 2050 e se iniciam os contactos com investigadores Universidade Federal de Ouro Preto (**UFOP**) para a criação de um curso de Geofísica/Geologia, pós graduações com duplo diploma em Geofísica Aplicada e desenvolvimento de projectos conjuntos em Sismicidade, Neotectónica e Sismo-tectónica, Exploração mineral, Tectónica, Geologia Ambiental. Em finais de Junho é organizado na UE o Seminário de cooperação Minas Gerais-Portugal: **Desenvolvimento Mineral, Sustentabilidade e Geologia**, com a participação de 6 Instituições de Investigação e Universidades brasileiras e duas Universidades Portuguesas e assinado uma extensão do protocolo da **READE**.

GeoInformação

O CGE Organizou, em conjunto com o Departamento de Física da Universidade de Évora, o Workshop **“Jornadas de Física por ocasião da Jubilação do Prof Rui Namorado Rosa”**, que ocorreu nos dias 15 e 16 de Junho de 2010 na Universidade de Évora, tendo sido editado o Livro das comunicações do Workshop “Jornadas de Física por ocasião da Jubilação do Prof Rui Namorado Rosa”, ISBN: 978-989-95091-2-2, Universidade de Évora, Évora, Portugal(Depósito Legal: 312638/10).

Nos dias 8 a 10 de Junho um colega da área da Geologia participou, como orador convidado, no 3º Workshop do Quadrilátero Ferrífero 2050, Fórum Internacional: Visão de Futuro para Quadrilátero Ferrífero, tendo apresentado a palestra **“Neotectónica e Sismotectónica: Aplicações no âmbito de uma política de desenvolvimento sustentável”**.

Nos dias 24 e 25 de Junho realizou-se em Évora um *Seminário de Cooperação Minas Gerais-Portugal, Desenvolvimento Mineral, Sustentabilidade e Geologia*, Nesta reunião participaram cinco instituições/unidades de investigação portuguesas (sendo a UE/CGE uma das instituições) e seis instituições brasileiras.

Participação de membros do CGE na “IV Reunión Española de Ciencia y Tecnología de Aerosoles”, 28-30 de Junho, 2010, Granada, Espanha.

O CGE organizou o Workshop científico **“Predictabilidade de eventos extremos: análise do evento de precipitação na Madeira”**, que decorreu a 30 de Junho de 2010, na Universidade de Évora, com a participação de três Unidades I&D (IDL, CESAM,CGUP).

Participação do CGE no Encontro com a Ciência e Tecnologia em Portugal “2010 Ciência” realizado de 4 a 7 de Julho de 2010, no Centro de Congressos de Lisboa.

Participação de membros do CGE na “25th International Laser Radar Conference” realizada de 5 a 9 de Julho de 2010, em São Petersburgo, Rússia.

João Pedro Rocha defendeu, a 9 de Julho, a sua tese de Mestrado, em Ciências da Terra, da Atmosfera e do Espaço, ramo Geofísica. O título da tese é “Tomografia Sísmica da Litosfera Continental Algarvia”

Realizou-se em Braga, de 12 a 14 de Julho, o VIII Congresso de Geologia. Participaram neste evento cerca de uma dezena de membros do CGE, que apresentaram várias comunicações orais e

em painel. Dois alunos do Mestrado em Ciências da Terra, da Atmosfera e do Espaço, da Universidade de Évora, obtiveram no referido Congresso, os prémios para as melhores apresentações em poster nas temáticas de Geofísica (João Pedro Rocha) e de Geologia Estrutural e Tectónica (Alexis Soares) com os seguintes trabalhos:- Tomografia Sísmica da Litosfera Continental Algarvia - J.P. Rocha; M. Bezzeghoud; B. Caldeira; J.F. Borges; N. Dias; L. Matias; C. Dorbath- Partição da deformação em sequências monoclinais; deformação varisca no Ordovício da Apúlia (autóctone da zona Centro-Ibérica, NW de Portugal) - A. Soares; R. Dias; J. Pamplona.

Participação de membros do CGE na **“COSPAR 10: 38th Scientific Assembly”** que decorreu de 18 a 25 de Julho de 2010 em Bremen, Alemanha.

Participação de membros do CGE na Conferência Internacional de aerossóis **“2010 International Aerosol Conference”** realizada de 29 de Agosto a 3 de Setembro de 2010 em Helsínquia, Finlândia.

Realizou-se, em Vila Real, de 1 a 3 de Setembro, a “Física 2010-17ª Conferência Nacional de Física”, onde participaram colegas do CGE.

Realizou-se em Montpellier (França), de 6 a 10 de Setembro, a **ESC2010 (European Seismological Commission 32nd General Assembly)**. Participaram neste evento vários membros do grupo do Geofísica interna/Sismologia do CGE, onde apresentaram várias comunicações orais e em poster.

O Departamento de Geociências da “École Normale Supérieure de Paris” (ENS, França) convidou o colega Mourad Bezzeghoud para um período de um mês afim de iniciar uma nova colaboração entre ambas as instituições (CGE/UE e Depto. Geo/ENS). Esta colaboração será orientada no domínio da Sismotectónica e da Deformação da crosta.

Foi recentemente aprovado um projecto de I&D no domínio da segurança dos portos que é financiado pela Marinha Portuguesa. O consórcio é formado pelas entidades EDISOFT (Coordenador), FCUL, FEUP e CGE/UEvora,

O CGE foi convidado para organizar a **“Global Conference on Global Warming-2011”** (<http://www.gcgw.org/gcgw11/>). Esta conferência, presidida pelo colega António Heitor Reis, terá lugar em Lisboa de 10 a 14 de Julho de 2011.

Para mais informação, contactar:

Maria Rosa Duque Centro de Geofísica de Évora e Departamento de Física, ECT, Universidade de Évora mrard@uevora.pt

GeoAgenda

19 → 24 Sep 2010; Rome, Italy, European Planetary Science Congress; <http://meetings.copernicus.org/epsc2010/home.html>

20 → 25 Sep 2010; Charleston, SC, United States, Association of Environmental & Engineering Geologists Annual Meeting; <http://www.aegweb.org/i4a/pages/index.cfm?pageID=4565>

20 → 23 Sep 2010 “2nd GALION Workshop”, Genebra, Suíça; <http://alg.umbc.edu/galion/archives/003807.html>

20 → 23 Sep 2010 “2010 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference”, Córdova, Espanha; http://www.eumetsat.int/Home/Main/News/Conferences_and_Events/714765?l=en

20 → 24 Sep 2010 “SXCVI Congresso Nazionale: Società Italiana di Fisica”, Bologna, Itália; <http://www.sif.it/SIF/it/portal/attivita/congresso>

20 → 26 Sep 2010 XI Congreso Internacional de Patrimonio Geológico y Minero & 15ª Sesión Científica de la S.E.D.P.G.Y M., Huelva, Spain; http://www.ub.edu/geologia/noticias/Circular_XI_Congreso.pdf.

23 → 26 Sep 2010; Thessaloniki, Greece, CBGA 2010 — XIX Congress of the Carpathian Balkan Geological Association; <http://www.cbga2010.org/>

24 → 27 Sep 2010; Salzburg, Germany, 11th International Conference on Management of Soil, Groundwater and Sediment; <http://www.consoil.de>

26 de Setembro → 01 de Outubro de 2010; 45º Congresso Brasileiro de Geologia; Hangar – Centro de Convenções e Feiras da Amazônia, Belém do Pará, Brasil, <http://www.45cbg.com.br/site/>

27 → 29 September 2010 FCUL IDL, GeoMod 2010 FCUL, <http://geomod2010.fc.ul.pt/index.php>

27 de Setembro → 01 de Outubro de 2010 Olhar as Pedras; da Geologia à Arqueologia, Curso de Verão - Estremoz 2010, Pólo de Estremoz da Universidade de Évora. <http://www.poloestremoz.uevora.pt/arqueologia/>

27 Sep 2010 → 01 Oct 2010; Cusco, Peru, Fifteenth Peruvian Geological Congress; <http://www.congresosgp.com/eng-index.html>

02 Oct 2010 → 05 Oct 2010; Keystone, Colorado, United States, SEG 2010 — Society of Economic Geologists Conference; <http://www.seg2010.org/>

03 → 06 Oct 2010; Orange, California, United States, EMSEV: Workshop on Electromagnetic Signals Associated with Earthquakes and Volcanoes; <http://sites.google.com/site/emsev2010>

03 Oct 2010 → 08 Oct 2010; Otaru, Hokkaido, Japan, 7th ACES International Workshop; <http://www.aces.org.au/ACES2010>

04 → 08 Oct 2010; Ankara, Turkey, Tectonic Crossroads: Evolving Orogens of Eurasia-Africa-Arabia; <http://www.geosociety.org/meetings/2010turkey/organizers.htm>

14 → 15 Oct 2010; Porto, Portugal, 4th Coastal Altimetry Workshop; <http://www.coastalaltimetry.org/>

14 → 17 Oct 2010; Sudetes, Poland, Lamprophyres and Related Mafic Hypabyssal Rocks: Current Petrological Issues; <http://www.ing.uni.wroc.pl/~lamprophyres2010/>

20 → 23 de Outubro de 2010; 8º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica, Universidade de Aveiro, Portugal, <http://sismica2010.web.ua.pt/index.htm>

23 de Outubro → 13 de Novembro, Curso de Especialização em “Atmosfera e Ambiente – Novas Tecnologias de Observação” (CCPFC/ACC-55774/09). Confere 1 crédito. Destinatários: Professores do Ensino Secundário, Universidade de Évora, Colégio Luís Verney, CGE Organização – CGE.

25 → 29 Oct 2010; Talence, Gironde, France, 23ème Réunion des Sciences de la Terre Bordeaux; <http://www.rst2010.epoc.u-bordeaux1.fr/>

29 → 31 Oct 2010; Portland, Oregon, United States, A Decade of Ridge 2000: Synthesizing Observations of Ocean Spreading Center

Processes; <http://www.ridge2000.org/science/meetings/WorkshopInfo.php?workshopID=2010r2k>

31 Oct → 03 Nov 2010; Denver, Colorado, United States, 2010 Geological Society of America (GSA) Annual Meeting; <http://www.geosociety.org/calendar/2010meet.htm>

02 → 03 Nov 2010; London, United Kingdom, Past Carbon Isotopic Events and Future Ecologies; <http://www.geolsoc.org.uk/events>

04 → 06 Nov 2010; Santa Fe, NM, United States, GeoPRISMS Implementation Workshop: Rift Initiation and Evolution; <http://www.nsf-margins.org/RIE/2010/index.html>

15 → 17 Nov 2010; Luxembourg City, Luxembourg, Workshop of the European Center for Geodynamics and Seismology; <http://www.ecgs.lu/ecgs-fkpe-workshop-induced-seismicity/>

16 → 18 Nov 2010; Rotorua, New Zealand, New Zealand Geothermal Workshop; <http://www.geothermal.org.nz/nzgeothermal2009/>

21 → 24 Nov 2010; Auckland, New Zealand, GeoNZ 2010 — Joint Conference of the Geoscience Society of New Zealand and the New Zealand Geothermal Workshop; <http://www.geonz2010.co.nz>, includes Symposia and related post-conference 5 day field trip on "Bent Orogens and Ribbon Continents".

13 → 17 Dec 2010; San Francisco, California, United States, American Geophysical Union — AGU 2010 Fall Meeting; <http://www.agu.org/>

23 → 29 Jan 2011; Tromsø, Norway, Fifth Annual Arctic Frontiers Conference: Arctic Tipping Points; <http://www.arctic-frontiers.com/>

28 Feb → 04 Mar 2011; Honolulu, Hawaii, United States, AGU Chapman Conference on Atmospheric Gravity Waves and Their Effects on General Circulation and Climate; <http://www.agu.org/meetings/chapman/2011/ccall/>

21 → 24 Mar 2011; Long Beach, United States, GS11 — SIAM Conf on Mathematical & Computational Issues in the Geosciences; <http://www.siam.org/meetings/g11/>

21 → 25 Mar 2011; Santa Fe, New Mexico, United States, AGU Chapman Conference on Climates, Past Landscapes and Civilizations; <http://www.agu.org/meetings/chapman/2010/ecall/>

Para mais informação contactar:

Joaquim Luís Lopes Centro de Geofísica de Évora e Departamento de Geociências, ECT, Universidade de Évora - lopes@uevora.pt

GeoArtigo

Influência das estruturas variscas na evolução Alpina do Alto Atlas ocidental (Marrocos)

Mohamed Hadani Centro de Geofísica de Évora, ECT, Univ. Évora.

A cadeia intra-continental do Alto Atlas em Marrocos teve a sua origem durante o processo de inversão Alpino (Atlásico) que no Cenozóico originou uma estrutura complexa em horst com uma orientação geral ENE-WSW. Embora esta inversão tenha resultado essencialmente da reactivação de estruturas anteriores [e.g. 1], os estudos detalhados são escassos e, quase sempre têm dado ênfase às zonas de cisalhamento ENE-WSW geradas durante a primeira fase de deformação varisca [2]. Esta situação não explica a orientação geral E-W que caracteriza o bordo N da cadeia no sector a sul de Marrakech. Estudos recentes realizados na região do Alto Atlas ocidental [3; fig. 1] permitiram a caracterização estrutural detalhada da deformação varisca ao longo de falha de Al Medinat, levando à identificação de estruturas com importância regional que até ao momento tinham

sido negligenciadas. Tomando como base estes estudos, foi possível perceber melhor a influência que as estruturas variscas tiveram durante o processo de inversão.

A deformação varisca no Alto Atlas ocidental está associada à intrusão de uma série de pequenos corpos graníticos que, no sector setentrional se encontram espacialmente associados à falha de Al Medinat. Esta falha, que apresenta um traçado ondulado e uma orientação geral E-W, coloca as formações do Paleozóico sobre o Meso-Cenozóico. Os estudos de cartografia estrutural realizados em sectores escolhidos (Addouz, Adassil e Al Medinat) ao longo da falha de Al Medinat [3] permitiram evidenciar que ela se sobrepõe a zonas de cisalhamento variscas que podem ser consideradas em 3 sistemas:

- tal como na generalidade do Varisco marroquino, o padrão geral é

profundamente condicionado pelos cisalhamentos direitos ENE-WSW (D1), os quais apresentam uma importância regional (zonas de cisalhamento de Imi-n-Tanout, Erdouz e Tizi-n-Test);

- cisalhamentos esquerdos WNW-ESE, cuja importância a nível da região foram por nós evidenciados em trabalhos recentes [3], e que foram gerados nos estádios finais da D1 afectando as

estruturas precoces e controlando a instalação das intrusões graníticas já referidas;

- no tardivarisco esta estrutura foi afectada por acidentes NNE-SSW a NE-SW com um carácter mais frágil e uma cinemática esquerda.

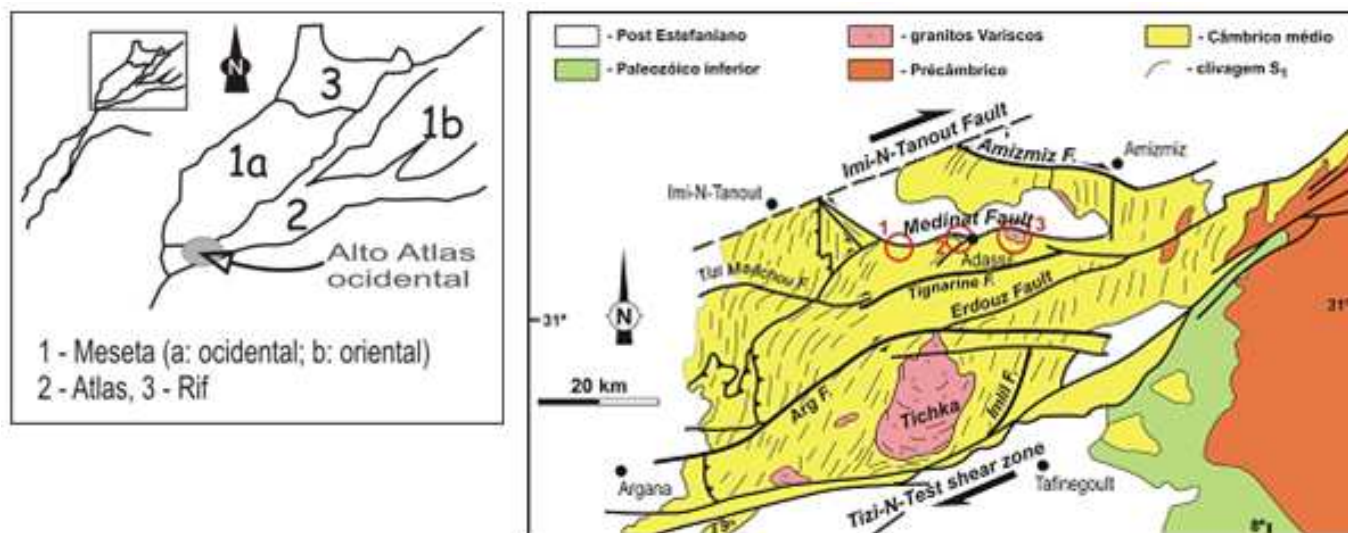


Figura 1. Esboço estrutural do Alto Atlas ocidental e a sua localização no Varisco marroquino, evidenciando a relação geométrica entre as 3 zonas estudadas (assinaladas com círculos vermelhos; 1- Addouz, 2- Adassil e 3- Al Medinat) e as principais estruturas [4].

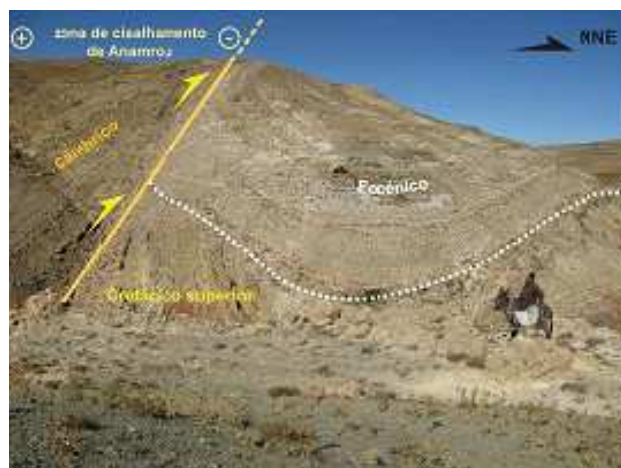
A deformação atlásica vai ser responsável pela reactivação de algumas estruturas geradas no ciclo orogénico anterior, sendo a cinemática essencialmente controlada pela relação geométrica entre as estruturas e a direcção de compressão máxima atlásica que foi próxima de N-S nos vários impulsos associados à inversão atlásica [5]. A orientação geral E-W da falha de Al Medinat leva a que, quando vista como um todo, se tenha comportado essencialmente como falha inversa levando ao cavalgamento das formações paleozóicas a sul, sobre o meso-cenozóico conservado no bloco setentrional abatido (Fig. 1). No entanto, quando vista em pormenor verifica-se que esta orientação corresponde à reactivação de troços NW-ESE associados às zonas de cisalhamento esquerdas do final da D1, intercalados com segmentos NE-SSW a NE-SW que correspondem, quer a cisalhamentos direitos precoces da D1, quer a cisalhamentos esquerdos da D2.

A reactivação dos cisalhamentos dúcteis WNW-ESE esquerdos faz-se essencialmente com componente cavalgante induzindo a génese de dobras no meso-cenozóico nas imediações da falha de Al Medinat (Figs. 2 e 3); estas dobras surgem, quer como sinclinais de primeira ordem adjacentes à falha, quer como dobras de segundo ordem devido a problemas de espaço induzidos pela curvatura da superfície de discordância entre o Mesozóico e o Paleozóico devido ao rejogo inverso (Fig. 3). No que diz respeito à idade da inversão, é possível evidenciar mais do que um impulso responsável pela génese de discordâncias intra Meso-Cenozóico (Fig. 2).

Ao rejogo atlásico das estruturas variscas NNE-SSW a NE-SW parece evidenciar-se uma componente de desligamento esquerdo predominante que, na região de Addouz está bem marcada nos sedimentos carbonatados do Eocénico.

A falha de Al Medinat é pois o resultado da reactivação de várias estruturas dúcteis ou dúcteis-frágeis variscas com diferentes

orientações. Esta situação leva a que o processo de inversão atlásico seja complexo, gerando-se um padrão de deformação heterogéneo bem expresso nas estruturas preservadas no Meso-Cenozóico que, como é evidente não sofreram a deformação varisca.



2. Estruturas associadas à movimentação durante o Atlásico da zona de cisalhamento WNW-ESE de Anamrou (região de Al Medinat) que chegam a afectar os sedimentos eocénicos

Embora ainda não existam estudos de pormenor da deformação varisca junto à falha de Amizmiz que constitui o bordo N do Alto Atlas ocidental (Fig. 1) e que foi profundamente reactivada durante o Atlásico, o seu padrão ondulante onde alternam troços WNW-ESE e NESW, sugere fortemente uma evolução em tudo semelhante à descrita para a falha de Al Medinat.



Figura 3. Reactivação da zona de cisalhamento varisca D1 de Adassil (onde está intruído o granito de Adassil) como cavalcamento durante o Atlásico, observando-se em primeiro plano os dobramentos nas formações do Cretácico adjacentes à discordância principal.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado pela orientação do Prof. Rui Dias (Univ. de Évora) e da Profa. Maria do Rosário Azevedo (Univ. de Aveiro).

Referências:

[1] Missenard, Y.; Taki, Z.; Frizon de Lamotte, D.; Benammi, M.; Hafid, M.; Leturmy, P. & Sébrier, M. (2007). Tectonic styles in the Marrakesh High Atlas (Morocco): The role of heritage and mechanical stratigraphy. *Journal of African Earth Sciences*, 48, 247-266.
[2] Lagarde, J. (1985). Cisaillements ductiles et plutons granitiques contemporains de la déformation hercynienne post-viséenne de la Meseta Marocaine. *Hercynica*, 1, 29-37.

[3] Hadani, M. (2009). Evolução tectono-metamórfica e magmática do sector setentrional do Alto Atlas ocidental (Marrocos) no contexto do Varisco Ibero-Marroquino. Tese de Doutoramento, Universidade de Évora.

[4] Cornée, J. J.; Ferrandini, J. & Bernard, S. (1987). Le Haut-Atlas occidental paléozoïque, un graben cambrien moyen entre deux décrochements dextres N60°E, hercynien (Maroc). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 305, Sér. II, pp. 499-503.

[5] Frizon de Lamotte, D.; Zizi, M.; Missenard, Y.; Hafid, M.; El Azzouzi, M.; Maury, R.; Charrière, A.; Taki, Z.; Benammi, M. & Michard, A. (2008). The Atlas System. In: A. Michard, O. Saddiqi, A. Chalouan & D. Frizon de Lamotte (Eds.), *Continental Evolution: The Geology of Morocco*, Springer, 133-202.

GeoArtigo

Physics of Seismo-Electromagnetic Phenomena

H. G. Silva and M. Bezzeghoud Centro de Geofísica de Évora, Departamento de Física, ECT, Universidade de Évora

The study of seismo-electromagnetic (SEM) phenomena is a relatively recent research field and is related with peculiar electromagnetic effects in the preparatory stage of impending earthquakes (EQ), normally 5 to 10 days before the seismic events. Some of these phenomena are (see Fig.1): abnormal ultra-low-frequency (ULF) electromagnetic emissions [1], very-low-frequency (VLF) and low-frequency (LF) radio anomalies associated with ionosphere perturbations [2], variation of total electron content (TEC) in ionosphere [1], atypical infrared (IR) emissions [3], and also unusual atmospheric electricity (AE) behaviours [4]. Amazingly, laboratorial experiments have revealed the appearance of unexpected pressure stimulated currents streaming out of stressed rocks in the vicinity of fracture that seem to validate SEM [5]. Moreover, anomalously high Radon levels prior to seismic events have been proved to correlate rather well with SEM occurrences [6], and thus Radon could be yet another cause of SEM.

SEM is presently a very active field and its interest is growing worldwide, mainly because of its applicability to short-term earthquake prediction (one or two weeks before the EQ) as a consequence of its precursory nature. Even though EQ prediction is a long standing dream of the modern science the development of a pre-quake forecasting system based only in SEM observations is an elusive plan and is not definitely regarded as an objective.

Instead, the main effort of this research area is presently directed towards a systematic field observation of SEM effects complemented by laboratorial investigations of the electromagnetic

properties of rocks, and theoretical modelling to give new insights into the fundamental Physics of these interesting occurrences. In fact, SEM is a very attractive subject by itself and has interesting applications, like the evaluation of the fracture state of a given rock only by electrical means, much beyond EQ prediction.

The work being developed here in CGE does focus in the understanding of SEM Physics and for reason is composed by two parts: SEM observation (developing observation networks in Europe) and SEM physical comprehension (performing laboratorial experiments, and theoretical modelling). In this sense it is an ambitious project and is now producing the first results [7,8], and will reinforce SEM studies in Europe, in particular, in the Iberian Peninsula where it is certainly an innovative project.

The SEM observation will focus in two aspects: the installation/reinforcement of networks of ULF electromagnetic field sensors, VLF/LF radio receivers, and AE sensors; monitorization and analyzes of the data resulting from these networks. Furthermore, we are already collaborating with INFREP (VLF/LF radio receiver network), contacts have by now been made to integrate the planned ULF sensors in SEGMA (a European array of ULF sensors), and the operating AE sensor is been considered to include LINET (an international lightning detection network in Europe). In addition, Portuguese institutions that work with us in this field, like the associated laboratory I3N-Aveiro, and the Physics Department of University of Porto (FCUP), will evidently benefit from our integration in such international networks.

In this way, the comprehension of SEM Physics concerns two features: laboratorial studies of the electromagnetic properties of various rocks (with different water contents at diverse temperatures) in the vicinity of fracture (simulating seismic ruptures) already underway in collaboration with I3N-Aveiro complemented by theoretical simulations of charging effects in fracture processes in common "spring-mass" models [9] being developed in association with FCUP; monitorization of Radon concentration levels, and theoretical evaluation of its potential (essentially through ionization) to cause SEM.

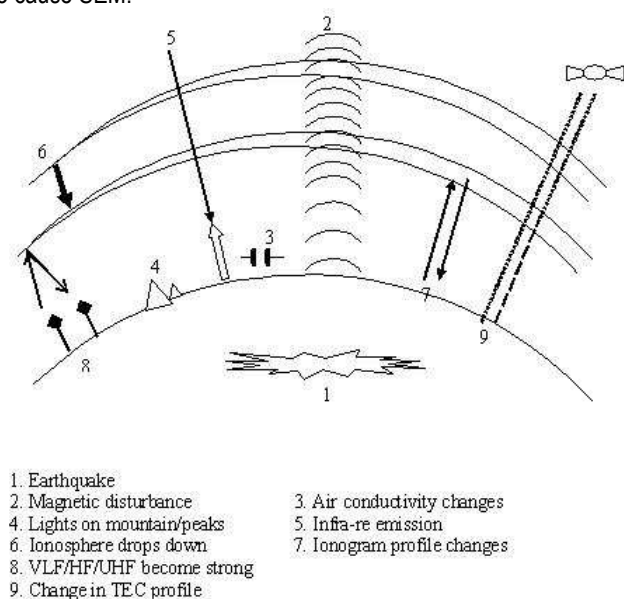


Figure. 1. – Simple picture of SEM phenomena.

Este boletim está disponível na internet em
<http://www.cge.uevora.pt>

Todas as informações para o Geoboletim deverão ser enviadas
 até ao dia 1 de Dezembro de 2010

Acknowledgments

H. G. Silva is grateful to the support from FCT through grant SFRH/BPD/63880/2009. The QREN founding (Operational Programme 'Thematic Factors of Competitiveness' co-funded by the European Regional Development Fund (ERDF) through the research program SIRAS is also acknowledged.

References

- [1] V. Chauhan, O.P. Singh, V. Kushwah, V. Singh, and B. Singh, "Ultra-low-frequency (ULF) and total electron content (TEC) anomalies observed at Agra and their association with regional earthquakes", *Journal of Geodynamics* 48, 68 (2009).
- [2] P. F. Biagi, L. Castellana, T. Maggipinto, and A. Ermini, "An overview on preseismic anomalies in LF radio signals revealed in Italy by wavelet analysis", *Annals of Geophysics* 51, 237 (2008).
- [3] D. Ouzounov, D. Liu, K. Chunli, G. Cervone, M. Kafatos, and P. Taylor, "Outgoing long wave radiation variability from IR satellite data prior to major earthquakes", *Tectonophysics* 431, 211 (2007).
- [4] R.G. Harrison, K.L. Aplin, and M.J. Rycroft, "Atmospheric electricity coupling between earthquake regions and the ionosphere", *J. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Phys.* 72, 376 (2010).
- [5] F. Vallianatos, and D. Triantis, "Scaling in Pressure Stimulated Currents related with rock fracture", *Physica A* 387, 4940 (2008).
- [6] S.A. Pulinets, D. Ouzounov, A.V. Karelin, K.A. Boyarchuk, and L.A. Pokhmelnikh, "The physical nature of thermal anomalies observed before strong earthquakes", *Phys. Chem. Earth* 31, 143 (2006).
- [7] H.G. Silva, M. Bezzeghoud, P. Biagi, R. N. Rosa, M. Salgueiro da Silva, B. Caldeira, A.H. Reis, J.F. Borges, M. Tlemçani and M. Manso, 2010. Seismo-electromagnetic phenomena in the western part of the Eurasia-Nubia plate boundary. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, EGU2010-1159, 2010, European Geosciences Union General Assembly 2010, Vienna, Austria, 02-07 May 2010.
- [8] H. G. Silva, M. Tlemçani, A. Albino, M. Bezzeghoud, R. N. Rosa, B. Caldeira, and J. F. Borges, "Electrical properties of granitic rocks", in the book "Jornadas da Física por ocasião da Jubilação do Professor Rui Namorado Rosa (Universidade de Évora)" page 223 (2010).
- [9] J.W. Chung, A. Roos, J.Th.M. De Hosson, and E. van der Giessen, "Fracture of disordered three-dimensional spring networks: A computer simulation methodology", *Phys. Rev. B* 54, 15 094 (1996).

GeoPalavra

Caracterização e recuperação de bacias hidrográficas na região do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil)

Rita Fonseca CREMINER-LA/ISR, Departamento de Geociências, ECT, Universidade de Évora, Colaboradora do CGE

Marcus Manoel Fernandes CETEC- Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Brasil

Eleonora Deschamps FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente, Brasil, Gerente da Gestão de Resíduos Sólidos Industriais

1. Introdução

Um dos grandes objectivos da rede luso-brasileira de remediação e reabilitação de ambientes degradados, READE, é a formação de equipas multidisciplinares que agreguem investigadores portugueses e brasileiros e a formação avançada de estudantes de ambos os países, como estratégia de fortalecimento do seu potencial científico humano, da promoção da inovação e do constante aperfeiçoamento das tecnologias ambientais e de sustentabilidade. Em termos científicos, os principais estudos incidirão na caracterização e identificação de zonas mais vulneráveis de bacias hidrográficas na região do Quadrilátero Ferrífero (Estado de Minas Gerais), a mais importante província mineral do Brasil, com vista ao estudo de propostas para a sua remediação e reabilitação.

2. Caracterização do Quadrilátero Ferrífero

A região do Quadrilátero Ferrífero, caracterizada por elevada bio e geodiversidade, reveste-se de uma enorme importância social e

económica no Estado de MG. Tem uma elevada densidade populacional, associada a graves problemas ambientais devido à intensa actividade mineira que desde há mais de 300 anos se exerce na região, com maior intensificação nos últimos 50 anos. Com uma área de aproximadamente 7000 Km², e localizado no extremo sul do Cráton de São Francisco, possui formações geológicas com idades Arcaicas e Pré-Câmblicas caracterizadas por três grandes conjuntos de rochas com significativos recursos minerais, em especial ouro e ferro: (1) complexos metamórficos de rochas cristalinas (gnaisses, granitóides), datadas do Arcaico (que recebem denominações locais: Complexos de Bonfim, Belo Horizonte, Bação, Caeté); (2) sequência do tipo greenstone belt do Arcaico representada pelo Supergrupo Rio das Velhas composto por rochas vulcânicas ultramáficas, máficas e félsicas, intercaladas por rochas sedimentares constituídas por formações ferríferas, carbonatadas e siliclásticas; (3) sequências metassedimentares paleo e mesoproterozoicas representadas pelo Supergrupo Minas

(composto por quartzitos, metaconglomerados, metapelitos, itabiritos, mármore e metavulcanitos), Grupo Sabará e Grupo Itacolomi (constituído essencialmente por meta-arenitos e metaconglomerados) – Fig. 1. (Nalini, 2009; Ruchkys, 2009).

Reunindo um conjunto de ocorrências geológicas que, pela sua singularidade, pode constituir a base para a criação de um geoparque de relevância nacional e internacional, foi proposta à UNESCO a criação do Geoparque do Quadrilátero Ferrífero, que visa sobretudo a valorização do património geológico da região sem prejuízo das actividades económicas presentes. Nesse sentido, torna-se necessário uma ampla caracterização, identificação das áreas mais vulneráveis e propostas de medidas adequadas à sua reabilitação.

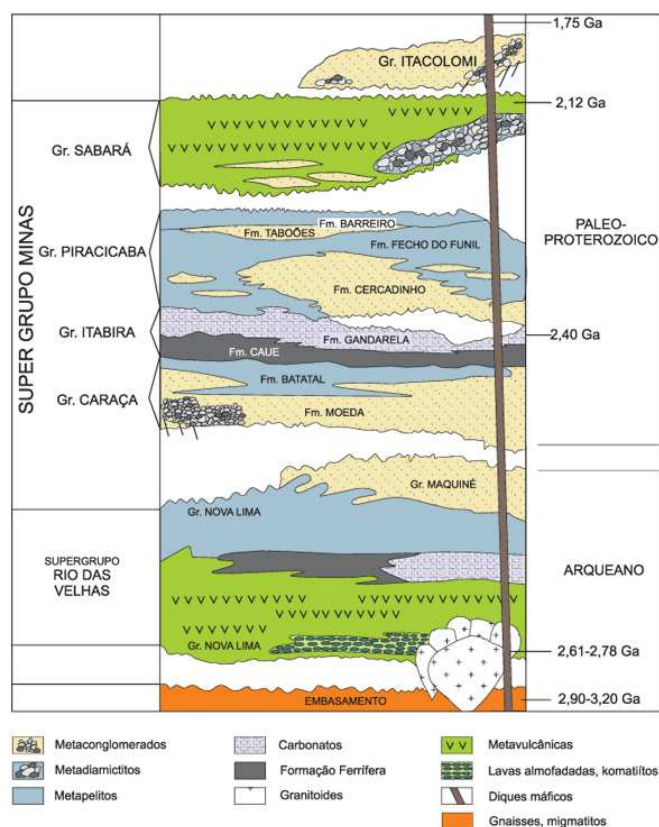


Figura 1- Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (Fonte: Alkmim e Marshak, 1998 in Ruchkys, 2009)

3. Estudos a realizar pela READE

Sendo uma região de forte actividade mineira, i) passada, com diversas explorações abandonadas deixando milhares de toneladas de rejeitos que podem conter, além de outros contaminantes, concentrações elevadas de metais, como cádmio, crómio, mercúrio e arsénio; ii) presente, existindo centenas de explorações em plena actividade e iii) futura, prevendo-se uma forte expansão das áreas de lavra a curto-médio prazo, a elevada concentração de metais pesados, associada a uma erosão acelerada, representa um sério problema de degradação do solo e um forte risco de poluição que tem maior potencial de impacto sobre os recursos hídricos.

Tal impacto é especialmente evidente nas bacias do rio Paraopeba e do rio das Velhas, dois importantes afluentes do Rio São Francisco que, por se encontrarem associados a áreas com forte impacto da mineração de ferro e densamente povoadas, constituem um laboratório natural único que permite avaliar o passado e o presente e, com a proposta de medidas adequadas de reabilitação assentes na caracterização passada e presente, prever o futuro.

Como tentativa de iniciar um processo de recuperação e reabilitação destas áreas contaminadas pela forte indústria extractiva de metais, a rede de investigadores da READE pertencentes a diversas áreas da ciência, propõem-se realizar variados estudos multidisciplinares nas áreas mais problemáticas das duas Bacias.

Os trabalhos a desenvolver pretendem, com base em estudos anteriores, alguns dos quais realizados por membros de algumas das instituições brasileiras da READE (nomeadamente UFOP e CETEC), caracterizar e avaliar o estado actual da região, de forma a fornecer ferramentas com vista à sua reabilitação e remediação, como directriz de assegurar o desenvolvimento sustentável das actividades mineiras.

O programa de qualificação e recuperação ambiental das Bacias do Rio Paraopeba e Rio das Velhas, visa de entre outros:

1- A caracterização das bacias sob o ponto de vista:

- i) Geomorfológico, com o objectivo de reconhecer as principais formas de relevo e caracterizar um modelo de erosão do solo e deposição de sedimentos nas bacias hidrográficas;
- ii) Caracterização actual e evolução nos últimos 50-70 anos, com base em dados climáticos, morfológicos, hidrológicos, usos do solo e pressões antrópicas.

2- Elaboração de um modelo espacial de erosão, baseado em tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica, cujas métricas permitirão quantificar a erosão na bacia e a identificação das zonas mais vulneráveis aos processos erosivos e que corresponderão à maior fonte de entrada de metais pesados nos sistemas hídricos. Estas áreas servirão de base a estudos mineralógicos, geoquímicos, físicos, químicos e biológicos detalhados, e corresponderão às áreas de intervenção prioritária para recuperação e reabilitação;

3- Estudo geoquímico das componentes geológicas do sistema nas zonas identificadas como as de maior susceptibilidade à erosão através da elaboração do modelo espacial obtido através da análise de SIG. Essas componentes incluirão: (1) solos representativos de todas as classes presentes, (2) sedimentos das linhas de água e sistemas lacustres (no caso das sua ocorrência nas sub-bacias seleccionadas) e (3) coluna de água. Os processos biogeoquímicos e os fluxos de elementos metálicos na interface sedimento-água serão determinados através de análise de água intersticial. A variação do conteúdo de espécies metálicas na interface sedimento/água pode ser caracterizada em função do controle dos seguintes factores: geologia da região, concentração dos elementos metálicos, características hidrológicas, tipo de vegetação, mineralização e outros. Para além disso, também o conhecimento da forma físico-química do metal, em ambientes aquáticos, é importante para caracterizar a sua mobilidade, biodisponibilidade e interacção com a biota.

Nas componentes sólidas do sistema (solos, sedimentos) analisar-se-ão diversos elementos metálicos (Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Pb, Cr, Cd, As e Hg) na sua fracção total e nas diferentes formas químicas em que ocorrem, através de métodos de extracção sequencial. Estes dados, em associação aos seus teores na água e água intersticial, permitirão avaliar o comportamento geoquímico destes elementos no que diz respeito à sua solubilidade, mobilidade e biodisponibilidade, de forma a estimar os potenciais riscos decorrentes da sua presença nos solos e, consequentemente, nos ambientes aquáticos e a definir quais as tecnologias mais adequadas para intervenção com vista à reabilitação da bacia.

4- Qualidade ecológica nas linhas de água e reservatórios segundo a perspectiva da Directiva Quadro Europeia: (1) definição de uma rede de monitorização, (2) avaliação físico-química da água e (3) avaliação de elementos biológicos.

Definição de métricas de avaliação para estabelecimento de um sistema de classificação em classes de qualidade.

5- Estudos de Fitorremediação: de acordo com a natureza, teor e forma química dos elementos metálicos, identificação e utilização de plantas específicas para extracção de elementos contaminantes.

6- Elaboração de um Modelo para definição de diferentes cenários de avaliação ambiental:

Qualidade da água (rios e reservatórios)

Erosão versus sedimentação

7- Considerando o excessivo assoreamento do Rio das Velhas, a má qualidade da água e a meta proposta pelo Governo do Estado de Minas Gerais na obtenção de condições de navegação e balneabilidade em certos trechos deste curso de água, e com base na caracterização física, química e mineralógica das amostras de sedimento de fundo, pretende-se apresentar propostas para a remoção e aproveitamento dos materiais removidos. Este tipo de abordagem envolverá várias etapas, designadamente:

i) Estudo físico, químico e mineralógico de sedimentos de fundo em vários trechos do rio;

ii) Dado que uma parte dos nutrientes dos solos são preferencialmente erodidos e transportados para as linhas de água sob a forma solúvel ou adsorvidos, fixados e/ou precipitados em partículas minerais e/ou orgânicas de dimensão coloidal, estudar-se-á a sua viabilidade de utilização como aditivo agrícola nos solos das zonas identificadas como mais degradadas, de forma a contribuir para a recuperação da vegetação e floresta primitivas;

iii) Selecção do trecho a ser dragado com base nos estudos anteriores;

iv) Determinação da volumetria do material acumulado;

v) Desenvolvimento de um sistema de dragagem móvel adequado a cursos de água e sistemas lacustres;

8- Com base na caracterização detalhada da qualidade dos solos e da coluna de água e materiais acumulados nos sistemas hídricos, apresentar-se-ão propostas de remediação e reabilitação das áreas identificadas como mais degradadas:

Em áreas pontuais à proposta de medidas para diminuição de riscos futuros

Cenários de evolução para diminuição de riscos futuros

9- Na fase final, dado o envolvimento na READE de Centros de Ciência Viva de Portugal e do Geoparque do Quadrilátero Ferrífero, pretende-se delinear a estrutura e planeamento para a criação de um centro de interpretação, acessível a toda a população em que sejam apresentados 3 módulos:

Passado → Evolução

Presente → Caracterização

Futuro → com base em modelação de cenários

4. Considerações Finais

Como tentativa de iniciar um processo de recuperação e reabilitação de áreas contaminadas pela forte indústria extractiva de metais, várias instituições de Minas Gerais, com fortes ligações

à área ambiental, criaram com a Universidade de Évora e a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, em Dezembro de 2009, uma rede de investigadores pertencentes a diversas áreas da ciência (READE), com o objectivo de realizar variados estudos multidisciplinares nas áreas mais problemáticas do Quadrilátero Ferrífero, conjugando o saber dos dois países. Outro dos objectivos da criação da READE é a formação avançada de estudantes de ambos os países como estratégia de fortalecimento do seu potencial científico humano. Com os estudos propostos em duas das bacias mais problemáticas, a realizar em estreita colaboração entre as entidades participantes, pretende-se conciliar e aproveitar a produção de recursos minerais numa perspectiva mais integrada dos recursos naturais, sem prejuízo da economia e de forma a minimizar a degradação ambiental, com consequente melhoria da qualidade de vida das populações locais, fauna e flora.

Bibliografia

Alkmim, F. F.; Marshak, S., 1998. The Transamazonian orogeny in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil: paleoproterozoic collision and collapse in the Southern São Francisco Craton region. *Precambrian Research*, Amsterdam, v. 90, p. 29-58.

Nalini Jr, H.A. 2009 – Estudos Geoambientais no Quadrilátero Ferrífero: Mineração e Sustentabilidade. Projecto apresentado pela UFOP, CETEC e FEAM, 46 p.

Ruchkys, U. 2009. Geoparques e a musealização do território: um estudo sobre o Quadrilátero Ferrífero. *Geol. USP, Publ. espec.*, São Paulo, v. 5, p. 35-46.



Seminário de cooperação Minas Gerais-Portugal: Desenvolvimento Mineral, Sustentabilidade e Geologia, 24 e 25 de Junho de 2010.

Programa do evento e apresentações dos oradores, disponíveis em <http://www.cge.uevora.pt/reade/>

Direcção e Coordenação Editorial

Alexandre Araújo

Correio electrónico: gboletim@uevora.pt

Depósito legal: 238091/06 ISSN: 1646-3676, Setembro, 2010

Painel Editorial

Alexandre Araújo, Ana Maria Silva, Maria Rosa Duque, Joaquim Luís Lopes, Mourad Bezzeghoud e Rui Namorado Rosa

Apoio: **FCT** Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

