



Proceedings

14 and 15 November 2002

Programme and Abstracts

Universidade de Évora

DAMS: Impacts and Hazards

Organization

Centro de Geofísica de Évora

Universidade de Évora

Sponsors



FCT

In the first year of operation of the biggest artificial lake of Europe, Alqueva, which is still in a refilling period, this meeting aims to evaluate the negative and positive impacts of this kind of impoundment. Invited scientists and experts, who belong to a wide variety of scientific areas, with a broad range of viewpoints about this subject, will give an embraced overview about impacts and hazards of dams and its reservoirs.

Dams: Impacts and hazards

November 14th and 15th 2002

University of Évora

Organization

Centro de Geofísica de Évora
Universidade de Évora

Scientific Organizing Committee

Ana Maria Almeida e Silva

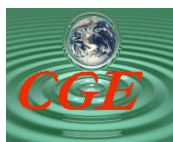
António Alexandre Araújo

Mourad Bezzeghoud

Rui Namorado Rosa

Rui Salgado

Sponsors



FCT

INDEX

PROGRAMME	9
<i>TRULY SUSTAINABLE DEVELOPMENT FOR A POSITIVE FUTURE: THE ROLE OF THE EARTH SCIENCES</i>	15
<i>HÁ ENERGIAS BENIGNAS?</i>	16
<i>IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A BARRAGENS E A ALBUFEIRAS. ESTRATÉGIA DE RE-APROVEITAMENTO DOS SEDIMENTOS DEPOSITADOS</i>	17
<i>AGRICULTURE AND DAMS IN THE RIO CORRENTE: MAN INDUCING DESERT AND THE IRREVERSIBLE DESTRUCTION OF THE LIFE'S WEB</i>	25
<i>THE ECOLOGICAL IMPORTANCE OF NITROGEN AND PHOSPHORUS CYCLES IN AQUATIC SYSTEMS</i>	29
<i>CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DO IMPACTE AGROMETEOROLÓGICO DO EMPREENDIMENTO DE ALQUEVA</i>	35
<i>CARACTERIZAÇÃO DA SISMICIDADE NO SUL DE PORTUGAL E REGIÕES ADJACENTES</i>	42
<i>GEOLOGIA DA REGIÃO DE ALQUEVA: ESTRUTURAS ASSOCIADAS À OROGENIA VARISCA E A SUA REACTIVAÇÃO POSTERIOR, EM REGIME FRÁGIL.</i>	48
<i>CARACTERIZAÇÃO SISMOTECTÓNICA DA ZONA DE FALHA DE ALQUEVA</i>	56
<i>RESERVOIR-TRIGGERED SEISMICITY AND SEISMOTECTONICS</i>	63
<i>O ASSOREAMENTO DE ALQUEVA E AS SUAS CONSEQUÊNCIAS</i>	64
<i>IMPACTO ATMOSFÉRICO DA ALTERAÇÃO DO USO DO SOLOS NO ALENTEJO</i>	72
<i>O CONTRIBUTO POTENCIAL DA ÁGUA COMO FACTOR DE PRODUÇÃO NO RENDIMENTO DAS EMPRESAS AGRÍCOLAS DA INFRA-ESTRUTURA 12 DO PERÍMETRO DE REGA DE ALQUEVA</i>	80
<i>O PROJECTO "LAND SAF" COMO POTENCIAL FONTE DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA. APLICAÇÕES NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DE ALQUEVA</i>	87
<i>DAMS AND ROCK ART IN PORTUGAL: A MATCH MADE IN HELL</i>	89
<i>THE IMPACT OF THE ALQUEVA DAM ON THREATENED CARNIVORES</i>	92
<i>TRANSLAÇÃO DE <i>Narcissus cavanillesi</i> A. BARRA & G. LÓPEZ COMO MEDIDA DE MINIMIZAÇÃO DO IMPACTO DA BARRAGEM DO ALQUEVA (PORTUGAL)</i>	93

PROGRAMME

Universidade de Évora

November 14th

9:00 a.m. Registration

9:30 a.m. *Opening Session: Welcome Ceremony*

- Rector of the *University of Évora* - Prof. Doutor Manuel Ferreira Patrício
- *Direcção Regional do Ambiente* - Eng. José Manuel Pinto Leite – representing the *Ministério das Cidades, do Ordenamento do Território e do Ambiente*
- *Ministério da Ciência e do Ensino Superior* (to be confirmed)
- Head of the *Centro de Geofísica de Évora* and on behalf of the Organizing Committee - Prof. Doutor Rui Namorado Rosa

Working Sessions

10:00 a.m. *Truly sustainable development for a positive future: the role of the earth sciences*
William S. Fyfe (University of Western Ontario, Canada)

10:45 a.m. Coffee Break

11:00 a.m. *Há energias benignas?*
Lemos de Sousa (Faculdade de Ciências da Universidade do Porto)

11:45 a.m. *Impactos ambientais associados a barragens e a albufeiras. Estratégia de re-aproveitamento dos sedimentos depositados.*
Rita Fonseca (Universidade de Évora, CREMINER)

12:30 a.m. Lunch Break

2:30 p.m. *Agriculture and dam's impacts on the Rio Corrente: economics driving man induced desertification and the irreversible destruction of life's web*
Othon Henry Leonardos, Binônimo da Costa Lima (Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília)

3:15 p.m. *The ecological importance of nitrogen and phosphor cycles in aquatic systems*

Ana Isabel Lillebø (IMAR - Institute of Marine Research, Department of Zoology, University of Coimbra)

- 4:00 p.m.** Coffee break
- 4:15 p.m.** *Contribuição para o estudo do impacte agrometeorológico do empreendimento de Alqueva*
José Alexandre Varanda Andrade (Universidade de Évora)
- 5:00 p.m.** *Poster Session*
- 6:00 p.m.** Closing session of the first day works

November 15th

Working Sessions

- 9:00 a.m.** *Caracterização da sismicidade no Sul de Portugal e regiões adjacentes*
Mourad Bezzeghoud, José F. Borges e Augusto Fitas (Universidade de Évora, Centro de Geofísica de Évora)
- 9:45 a.m.** *Geologia da Região de Alqueva: Estruturas associadas à orogenia varisca e a sua reactivação posterior, em regime frágil*
António Alexandre Araújo (Universidade de Évora, Centro de Geofísica de Évora)
- 10:30 a.m.** Coffee Break
- 10:40 a.m.** *Caracterização sismotectónica da zona de falha de Alqueva*
António Brum da Silveira, João Cabral, António Ribeiro (Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, LATTEX)
- 11.25 a.m.** *Reservoir-triggered seismicity and Seismotectonics*
António Ribeiro (Faculdade de Ciências da Universidade da Universidade de Lisboa, LATTEX)
- 11:45 a.m.** *O assoreamento de Alqueva e as suas consequências*
João Soromenho Rocha (Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC)
- 12:30 a.m.** Lunch Break

- 2:00 p.m.** *Impacte atmosférico da alteração do uso dos solos no Alentejo*
Rui Salgado (Universidade de Évora, Centro de Geofísica de Évora)
- 2:45 p.m.** *Monitorização da evolução do clima na Região Alentejo utilizando a rede de estações meteorológicas*
Victor Prior (Instituto de Meteorologia)
- 3:30 p.m.** *O projecto "LandSAF" como potencial fonte de informação geográfica. Aplicações na área de influência de Alqueva.*
Luís Pessanha (Instituto de Meteorologia, Lisboa)
- 4:15 p.m.** Coffee Break
- 4:30 p.m.** *O contributo potencial da água como factor de produção e rendimento das empresas agrícolas da infra-estrutura 12 do perímetro de rega de Alqueva*
Rui Fragoso (Departamento de Gestão de Empresas Universidade de Évora)
- 5:15 p.m.** *Discussion Panel composed by invited experts from:*
- Serviço Nacional da Protecção Civil (SNPC) – Dr. Manuel Cabeça
 - Instituto Nacional da Água (INAG)
 - Direcção Regional do Ambiente (DRA) – Eng. José Manuel Pinto Leite
 - Liga para a Protecção da Natureza (portuguese NGO) – Prof. Diogo Figueiredo
 - Empresa do desenvolvimento do Empreendimento do Alqueva (EDIA)
 - Associação de Municípios do Distrito de Beja (AMDB)
- 6:30 p.m.** *Closing Session*

ABSTRACTS

**TRULY SUSTAINABLE DEVELOPMENT FOR A POSITIVE FUTURE: THE ROLE OF
THE EARTH SCIENCES**

W.S. FYFE

Department of Earth Sciences, University of Western Ontario, London, Ontario, Canada N6A 5B7

ABSTRACT

Our life support systems are deteriorating, locally, globally. We have changed the atmosphere of our planet. In many regions soil erosion, soil quality, is catastrophic and with this, food security. Water quantity, quality, is a major problem in almost half the nations. Our energy systems dominated by use of oil, gas, coal are not sustainable and in many regions, the management of toxic wastes is disastrous. Our basic resources are derived from the Sun, the atmosphere, biosphere, hydrosphere and the outer 5-km of the solid Earth. We require a new effort to integrate knowledge to develop the needed technologies for the future 10 billion humans who will live with our planet. Earth sciences, Earth history, are at the foundation of such efforts. And please, like New Zealand, no more dams. We must flush the continents. Dams can produce the green house gas methane. And too much irrigation leads to salt.

HÁ ENERGIAS BENIGNAS?

M. J. LEMOS DE SOUSA

Centro de Geologia de Universidade do Porto

Faculdade de Ciências, Praça de Gomes Teixeira, 4099-002 Porto

RESUMO

Após um balanço dos recursos existentes (oferta) e necessidades energéticas (procura) mundiais e nacionais, incluindo considerações sobre as energias ditas não-renováveis e renováveis, o autor trata do tema da incidência ambiental comparada relativamente à utilização das diferentes opções energéticas possíveis num contexto de desenvolvimento sustentável.

A conclusão é que dentre as opções energéticas actualmente possíveis nenhuma se pode considerar realmente benigna em termos ambientais.

IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A BARRAGENS E A ALBUFEIRAS. ESTRATÉGIA DE RE-APROVEITAMENTO DOS SEDIMENTOS DEPOSITADOS

RITA MARIA FERREIRA DA FONSECA

Departamento de Geociências, Universidade de Évora, Apartado 94, 7001 Évora Codex
Creminer, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Edifício C2, Piso 5, Campo Grande,
1749-016 Lisboa

INTRODUÇÃO

Na maior parte do Globo, particularmente nas regiões áridas e sub-áridas onde os recursos hídricos naturais são escassos, uma grande parte da água utilizada para uso doméstico, na agricultura, indústria, pesca e fins recreativos provém de lagos artificiais. A par da grande dependência relativamente ao armazenamento de água nas albufeiras, cerca de 20% dos usos das barragens correspondem à produção eléctrica, considerada como uma fonte de energia renovável, tecnicamente avançada e económica. Embora exista uma grande controvérsia relativamente à sua importância, tem-se assistido a um crescimento exponencial destes empreendimentos nos últimos anos. Os recursos hídricos são, contudo, cada vez mais limitados e heterogeneamente distribuídos, estando calculado que mais de 1500 milhões de pessoas não têm acesso a fontes adequadas de água potável. Considerando o aumento da procura de água, estimado em cerca de 2-3% nas próximas décadas, embora com maior controlo sobre os impactos ambientais, o número de barragens continuará certamente a aumentar.

IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A BARRAGENS E A ALBUFEIRAS

1 – Libertação de dióxido de carbono e metano para a atmosfera

Apesar de até recentemente a hidroelectricidade ter sido considerada como um dos processos energéticos menos poluentes, actualmente conhece-se o impacto que as albufeiras têm na libertação natural de dióxido de carbono e metano para a atmosfera, os quais contribuem para um aquecimento global devido aos efeitos de estufa criados. A produção destes gases resulta fundamentalmente de mecanismos de decomposição bacteriológica da matéria orgânica, produto com valores muito elevados nos sedimentos acumulados nestes sistemas, onde existem condições fortemente redutoras. Esta emissão gasosa, que apresenta grandes variações entre os diferentes tipos de albufeiras (dependendo principalmente da natureza dos compostos orgânicos decompostos), pode atingir a magnitude das emissões de gases provocados pela combustão de substâncias fósseis, embora neste último caso apenas

seja produzido CO₂. É, contudo, difícil estabelecer uma relação entre o impacto ambiental causado pelos gases libertados por ambos os processos porque os padrões de emissões gasosas são distintos: na combustão fóssil as emissões são uniformes, enquanto que nas albufeiras as libertações são concentradas no tempo, com valores muito elevados no início do enchimento, diminuindo progressivamente com o período de vida útil do empreendimento.

2 – As barragens como barreiras físicas no transporte sedimentar

Embora não seja de minimizar a importância que as barragens assumem pelos múltiplos usos a que são destinadas, para além das emissões gasosas para a atmosfera, elas representam hoje em dia uma séria ameaça ambiental devido aos múltiplos impactos negativos que têm nas respectivas bacias de drenagem e ao facto de funcionarem como barreiras ao transporte de materiais até às zonas costeiras. A magnitude destes impactos depende da dimensão da área abrangida sendo, portanto, significativamente superior nos lagos artificiais de grande dimensão.

Constituindo as barragens, barreiras físicas no curso natural dos rios, elas são consideradas por diversos autores como os mais destrutivos empreendimentos humanos, dados os impactos negativos e irreversíveis sobre os ecossistemas aquáticos e recursos hidrológicos. Com efeito, grande parte dos materiais de origem continental que deveriam prosseguir naturalmente o curso dos rios até ao mar, fica retido nas albufeiras, sendo este considerado um grave problema ambiental, na medida em que conduz a uma modificação da estrutura das praias e das linhas de costa. A par desta progressiva degradação, são afectados muitos processos e componentes de origem hidrológica, geológica e ecológica, nomeadamente: (1) modificação da temperatura e salinidade da água, distribuição e disponibilidade dos nutrientes ao biota, com consequente afectação da qualidade das águas estuarinas e costeiras e respectiva produção biológica, (2) declínio dos peixes anádromos com repercussões negativas nas cadeias alimentares estuarinas e costeiras, (3) incremento da erosão a jusante da barragem e (4) modificações no nível hidrostático das toalhas freáticas a montante e a jusante.

Verifica-se actualmente uma diferença acentuada entre o aumento da taxa de erosão devido a processos naturais e antrópicos, e a quantidade de material transportado em suspensão nos cursos de água até ao mar. A construção de barragens é apontada como a principal causa para a redução desse transporte sedimentar, sendo estimado que essa redução em Portugal ascende a cerca de 80%. Com efeito, percentagem variável dos sedimentos entrados numa albufeira é retida nesta, dependendo esta quantidade da sua dimensão, forma e volume do leito e da natureza da litologia enquadrante. Os grandes lagos artificiais retêm quase 100% do material entrado, ao passo que os mais pequenos funcionam como barreiras a percentagens muito menores. Em qualquer dos casos, a acumulação de materiais no fundo vai contribuir para o progressivo assoreamento destes sistemas. O excesso de sedimentos depositados tem vários efeitos negativos que se repercutem na barragem e respectiva albufeira: (1) diminuição do período de vida útil do empreendimento devido à diminuição do volume de armazenamento de água, com consequente diminuição do potencial de geração de electricidade e de abastecimento de água potável, (2) danos causados na estrutura ou órgãos da barragem e (3) deterioração da qualidade da água devido à acumulação de nutrientes e metais pesados nos sedimentos.

3 – Deterioração da qualidade de água nas albufeiras

As albufeiras constituem receptáculo das águas de escorrência provenientes de actividades agrícolas, industriais e de efluentes. Os usos do solo nas áreas de drenagem influenciam em muito a qualidade da água porque, dadas as reduzidas dimensões destes sistemas dentro do ciclo hidrológico, as suas propriedades são severamente alteradas pelas actividades antrópicas. Os sedimentos de fundo são reconhecidos como locais preferenciais de deposição de materiais orgânicos e minerais, em particular, nutrientes, metais pesados e bactérias, considerados no seu conjunto como fontes poluentes. Devido à circulação contínua de elementos químicos através da interface sedimento-água, estes materiais são libertados para a coluna de água, sendo esta a principal razão para a degradação da sua qualidade. Hoje em dia é globalmente aceite que a eutrofização dos sistemas resulta de uma elevada produtividade biológica, consequência das descargas de azoto e fósforo nas regiões a montante (devidas principalmente a práticas agrícolas intensivas) e respectiva entrada nas albufeiras, existindo uma relação entre o seu teor e o estado trófico das massas de água. Esta relação é particularmente evidente para o fósforo, considerado como elemento-chave com papel mais limitante na eutrofização.

4 – Eutrofização marinha relacionada com os impactos ambientais das albufeiras

Estas condições de eutrofização, que atingem frequentemente condições de anóxia, para além de interditar as albufeiras para os usos a que foram destinadas, contribuem, em muitas zonas do Globo, para graves problemas de eutrofização estuarina e marinha. As águas descarregadas a jusante das barragens têm concentrados elevados teores de azoto e fósforo e uma temperatura muito superior à que teriam sob condições naturais. As entradas destas águas fluviais no mar, com composição química e condições térmicas muito alteradas, podem contribuir para modificações nas propriedades e funcionamento dos ecossistemas estuarinos e marinhos, levando a um profundo desequilíbrio do ciclo natural de acumulação e decomposição da matéria orgânica.

5 – Desertificação das regiões a montante

As albufeiras estão em estreita ligação com um problema actual gravíssimo - a progressiva desertificação das regiões a montante. Embora estes sistemas não sejam a causa deste problema, a quantidade e natureza dos sedimentos que se acumulam no seu fundo são consequência de intensos processos erosivos e de perda de solo que se verificam cada vez mais, na bacia de drenagem a montante. Estes fenómenos são resultado, não só de processos naturais mas, também, de um incremento da acção antrópica de que se salienta a agricultura intensiva, a exploração de determinadas culturas conducentes à exaustão do solo e a desflorestação. A erosão acelerada induzida pelas actividades humanas, ao provocar mudanças no coberto vegetal e nas condições do solo, conduz a graves reduções na estabilidade das regiões, sendo a maior responsável pela exportação de nutrientes dos sistemas terrestres para os sistemas aquáticos. À medida que vai sendo erodido, o solo vai perdendo gradualmente os materiais de textura mais fina associados a matéria orgânica e a elementos nutritivos, os quais seriam essenciais para o desenvolvimento da vegetação e que são, deste modo, depositados e regenerados nos sedimentos do fundo das albufeiras. O solo vai-se tornando cada vez menos fértil, a textura mais grosseira, a coesão e a coerência entre as partículas diminuem, passando assim a ser mais vulnerável à actuação dos agentes erosivos. Em resultado, a espessura diminui e o solo vai evoluindo mais ou menos lentamente no sentido de um solo esquelético. Este fenómeno constitui um problema que se agravou em muitos países em vias de desenvolvimento e com um

aumento rápido da população e da ocupação do solo.

POTENCIALIDADES DOS SEDIMENTOS DEPOSITADOS NAS ALBUFEIRAS

Considerando que:

1. Existe uma multiplicidade de impactos ambientais associados à produção de energia hidroeléctrica;
2. O excesso de determinados nutrientes depositados nos sedimentos das albufeiras pode provocar a degradação da qualidade das águas;
3. Um dos melhores métodos para recuperação de sistemas em acelerada fase de eutrofização consiste na remoção dos sedimentos superficiais onde se acumulam preferencialmente os nutrientes limitantes ao crescimento;
4. Em países onde as barragens atingiram o período de vida útil, por forma a tentarem recuperar os ecossistemas fluviais iniciais, o desmantelamento destes empreendimentos é uma situação cada vez mais comum, sobrepondo-se à tentativa de uma reparação;
5. Para melhorar as propriedades químicas e físicas dos solos sujeitos a processos erosivos intensos é necessário fornecer-lhes aditivos que contenham quantidades apropriadas de nutrientes e que o tipo de aditivos fornecidos deverá estar intimamente relacionado com o tipo de solo e com o clima, por forma a evitar problemas de poluição.

Então, uma vez removidos, estes materiais poderão constituir um importante recurso para uso agrícola, no caso de não terem concentrações significativas de elementos tóxicos. Dado que têm concentrados os elementos nutritivos que são necessários para o desenvolvimento vegetal, será eventualmente possível que eles sejam utilizados como solos ou como aditivos em regiões onde a erosão é muito acelerada e os solos por vezes esqueléticos. Resumindo, será repô-los no local de onde eles vieram! O efeito negativo do excessivo assoreamento das albufeiras poderá assim ser revertido, ao se resolverem dois dos principais problemas a ele associados, a deterioração da qualidade das águas e a desertificação progressiva das regiões a montante.

Estudos realizados em albufeiras portuguesas e brasileiras

De modo a testar esta estratégia de re-aproveitamento dos sedimentos acumulados nas albufeiras, foi realizado um estudo vasto e abrangente que pretendeu verificar a disponibilidade de utilização destes materiais como recurso agrícola, a partir da análise de dois conjuntos de sistemas com características distintas (sistemas portugueses situados na região do Alto Alentejo e sistemas brasileiros situados no Estado do Rio Grande do Sul). Este objectivo baseou-se no facto de estes materiais terem concentrados os elementos nutritivos necessários ao desenvolvimento vegetal provenientes, fundamentalmente, da erosão acelerada dos solos das respectivas bacias de drenagem.

A metodologia utilizada neste estudo consistiu na avaliação da fertilidade dos sedimentos através de: (1) análises químicas, físicas e mineralógicas e comparação dos valores obtidos com *i*) valores médios estabelecidos para a generalidade dos solos minerais e *ii*) valores dos solos ou produtos de meteorização das rochas das respectivas bacias de drenagem e (2) ensaios de fertilidade mediante um estudo comparativo de crescimento de uma planta hortícola (pimenteiro) em misturas variadas de um sedimento médio de uma das albufeiras portuguesas com um inerte e com um solo comum na região

Alentejo.

Atendendo (1) à diversidade de factores que condicionam a sedimentação nas albufeiras estudadas (condições climáticas, aspectos geomorfológicos, litologia enquadrante), (2) aos mecanismos de transformação passíveis de ocorrer durante a erosão e transporte das partículas desde os mantos de alteração das rochas/solos até à sua deposição nestes meios e (3) ao facto de as partículas dos solos onde se concentram preferencialmente os elementos nutritivos, pela sua baixa densidade e/ou reduzida dimensão serem as mais facilmente lixiviadas, facilmente se compreende a existência de acentuadas diferenças mineralógicas e geoquímicas entre os sedimentos depositados no fundo destes sistemas hídricos e os materiais das bacias de drenagem com maior influência na sua alimentação. Independentemente do sistema considerado, verificou-se nos sedimentos um aumento das formas totais (que servem de reserva e que poderão eventualmente ser absorvidas após alteração das fases minerais), de troca (formas adsorvidas e facilmente disponíveis para a nutrição) e solúveis (formas assimiláveis directamente disponíveis para a vegetação) da generalidade dos elementos considerados como essenciais na avaliação da fertilidade. Isto significa que os materiais depositados em qualquer das albufeiras, embora com características distintas entre si, apresentam melhores qualidades agrícolas do que os materiais que lhes estão na origem.

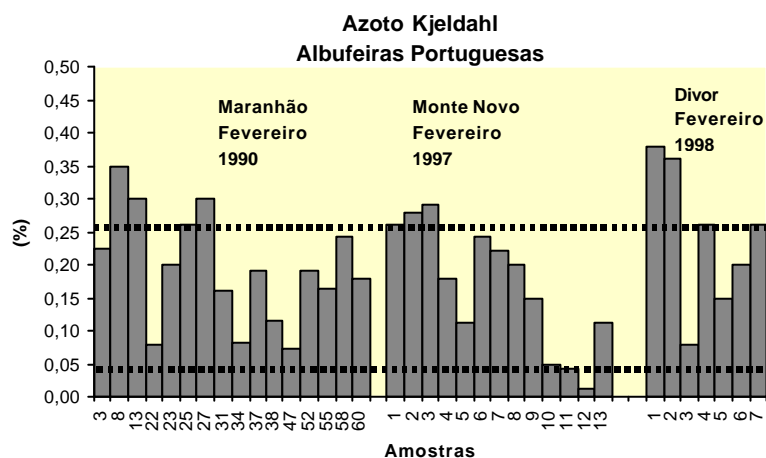


Fig. 1. Teores de azoto de Kjeldahl nos sedimentos das albufeiras portuguesas incluídas neste estudo. Comparação com os valores médios de solos considerados como padrão (linhas a tracejado).

O aumento das várias fracções dos elementos nutritivos nos sedimentos é favorecido pelas suas características texturais e mineralógicas muito particulares:

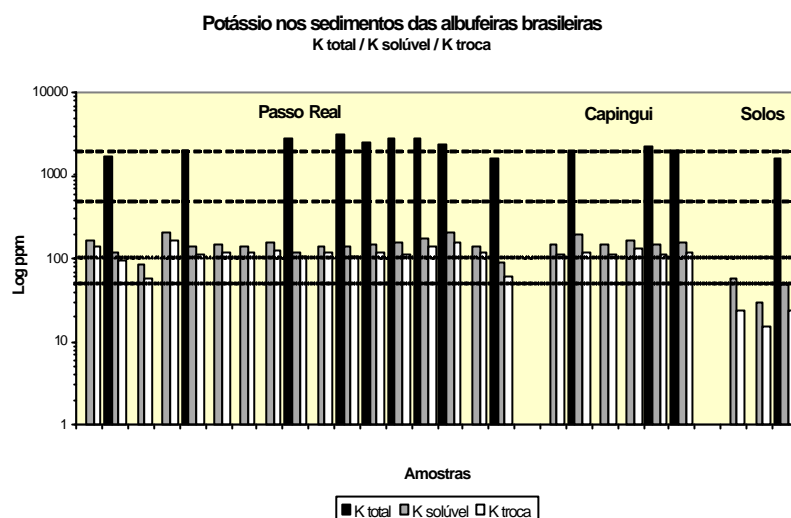


Fig. 2. Relação dos teores das formas de potássio total, disponível e de troca nos sedimentos do conjunto de albufeiras brasileiras estudadas e comparação com solos das respectivas bacias de drenagem. As linhas a tracejado e a pontilhado delimitam o intervalo de valores considerados médios em solos padrão, respectivamente para o potássio total e potássio solúvel.

- i) A textura essencialmente silto-argilosa dos sedimentos é extremamente importante sob o ponto de vista de fertilidade, uma vez que os materiais de fina granulometria constituem a parte quimicamente mais reactiva dos sistemas hídricos, ao favorecerem a acumulação de matéria orgânica e ao apresentarem maior potencial na interacção com a coluna de água (o que conduz a uma maior retenção de elementos nutritivos);
- ii) Relativamente à natureza dos minerais argilosos, os dois grupos em que se dividem as albufeiras têm características muito distintas, sendo essa variação consequência da acentuada diferença na geologia das bacias de drenagem e nas condições climáticas. Considerando a hipótese de aproveitamento dos sedimentos para uso agrícola, de entre os sistemas estudados, as albufeiras portuguesas mostram-se mais favoráveis sob o ponto de vista de fertilidade, devido à presença de significativos teores de minerais com elevada carga de camada ou permanente, o que confere à fracção argilosa dos sedimentos elevada capacidade de adsorção e troca de catiões.

Atendendo aos teores de matéria orgânica, os sedimentos das albufeiras parecem ser igualmente favoráveis, embora raramente ultrapassem os teores considerados médios em solos minerais. Contudo, estes valores são mais elevados dos que os dos solos das respectivas bacias de drenagem.

De entre os elementos nutritivos que mostram claramente a boa qualidade da generalidade dos sedimentos para uso agrícola são de destacar os macronutrientes (azoto, fósforo e potássio), não só porque reúnem os elementos químicos essenciais ao crescimento e produção vegetal e que são absorvidos em maior quantidade pelas plantas mas, também, porque nos sedimentos são os que têm

valores mais elevados relativamente aos valores médios da generalidade dos solos e dos materiais das bacias de drenagem que mais fortemente influenciam a sua composição. De entre as formas que constituem índice da disponibilidade imediata para a nutrição das plantas, de salientar os elevados teores de (1) azoto de Kjeldahl e potássio adsorvido e solúvel, na generalidade dos sistemas (Figs. 1 e 2) e (2) fósforo solúvel nas albufeiras portuguesas.

Os elementos micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo e B) que acima de determinados limites são considerados prejudiciais, raramente ultrapassam esses limites e os elementos designados no seu conjunto por elementos tóxicos (e que compreendem elementos fitotóxicos e poluentes), têm teores situados bastante abaixo dos limites superiores dos intervalos considerados comuns em solos minerais. Tendo em conta (1) a importância dos mecanismos de adsorção e troca catiónica na retenção de iões nutritivos, (2) os médios a elevados valores desta propriedade na generalidade dos sedimentos estudados, em oposição aos baixos valores nos solos das bacias de drenagem, (3) os altos a muito altos teores de magnésio adsorvido na maioria dos materiais depositados e (4) o amplo domínio do cálcio como base de troca nos sistemas portugueses, será lícito concluir que, de uma forma geral, os sedimentos dos dois conjuntos de albufeiras, principalmente os das albufeiras portuguesas, relativamente à capacidade de troca catiónica, apresentam boas condições de fertilidade.

CONCLUSÕES

A caracterização química, física e mineralógica dos sedimentos de dois distintos grupos de albufeiras (portuguesas e brasileiras) realizada num estudo anterior, mostrou claramente a boa qualidade dos sedimentos para uso agrícola. Com efeito, para a maior parte das variáveis, os sedimentos ultrapassaram os valores médios estabelecidos para solos considerados por diversos autores como solos padrão. Embora os sedimentos portugueses apresentassem, de uma forma geral, maiores teores de elementos nutritivos sob formas directamente assimiláveis pelas plantas, consequência de uma composição mineralógica mais favorável à retenção e solubilização destes elementos, ambos os conjuntos de sistemas mostraram claramente melhores qualidades agrícolas do que os solos das respectivas bacias de drenagem.

Por outro lado, experiências agrícolas desenvolvidas paralelamente, vieram confirmar os resultados obtidos pelos ensaios laboratoriais uma vez que, no que diz respeito ao desenvolvimento e produtividade de uma espécie vegetal exigente sob o ponto de vista nutritivo, os sedimentos excederam os resultados obtidos por um solo comum.

Os resultados obtidos por este estudo evidenciaram que os sedimentos arenosos poderão eventualmente apresentar melhores resultados devido à maior disponibilidade de nutrientes, por poderem ser utilizados sem qualquer outro componente adicional (uma vez que asseguram um arejamento e uma drenagem adequados) funcionando, portanto, como bons solos agrícolas. Contudo, é também possível afirmar que os sedimentos finos, face aos elevados teores de nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas e à elevada capacidade de água disponível, possam ser utilizados, mesmo em pequenas concentrações, como fertilizantes em solos grosseiros e de baixa qualidade.

Tendo sido estes resultados tão positivos, torna-se actualmente prioritário a avaliação da viabilidade

económica da remoção de sedimentos de albufeiras em fase de progressivo assoreamento e da sua utilização como solos agrícolas ou como fertilizantes. Poder-se-à, eventualmente, avaliar a possibilidade de remoção e separação das fracções mais grosseiras dos sedimentos e lançamento destas a jusante das barragens, de forma a poderem prosseguir o seu trajecto até ao litoral. Pensa-se que desta forma se resolveria, em parte, os problemas da retenção de materiais que deveriam seguir o seu ciclo natural até às zonas costeiras e que muito têm contribuído para a degradação das linhas de costa.

Se esta avaliação económica for positiva, esta ideia poderia ser aplicada em grande escala a regiões com graves problemas de desertificação e onde a escassez de solos atinge níveis assustadores. Fazendo o re-aproveitamento agrícola dos sedimentos acumulados no fundo de albufeiras, estratégia que representa uma maneira correcta sob o ponto de vista ambiental de recuperar e fertilizar áreas degradadas, pensa-se que é ainda possível reverter o impacto negativo do excessivo assoreamento e eutrofização destes sistemas convertendo-se, deste modo, a causa de um problema mundial num recurso natural de uso sustentável.

AGRICULTURE AND DAMS IN THE RIO CORRENTE: MAN INDUCING DESERT AND THE IRREVERSIBLE DESTRUCTION OF THE LIFE'S WEB

OTHON HENRY LEONARDOS AND BINÔNIMO DA COSTA LIMA

Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília

othon@cds.unb.br e meco@jatainet.com.br

INTRODUCTION

The life of the Rio Corrente is being threatened by the announced construction of many dams for generating hydroelectric power and by modern agriculture practices. The Rio Corrente (river that flows) is an actual river in the southern state of Goiás, Brasil. It runs through the sacred archeological sites of Serranópolis, where the *Homo cerratensis* had recorded his art. These sites are the oldest records of man in South America with C₁₄ dating around 11,000 years old. The second author (BCL) who discovered the sites invited OHL to move in that area to keep the sites protected. For the authors, it became a sacred homesite, like the river that bathes it. But the Rio Corrente may also be an archetype river, a river that may live anywhere in Portugal, elsewhere, or somewhere among the reader' deeper images. An imaginary river that may also flow as a metaphor within and from our innermost perception on how we relate to Nature. What are our environmental and overall responsibilities as scientist towards an endangered river we love? How can agriculture scientists, engineers and geologists resist the commands of the *establishment* to turn the native landscape into large-scale agriculture fields building as many dams as possible? As the economic process that is threatening the Rio Corrente region is the same complex process that is destroying the web of life we live in and belong, we better be aware of the current broader context.

As a response to the environment and social hazards that made us aware in the last forty years of a global civilization crisis, an Agenda for the 21st Century had a consensual approval. The approval was at the United Nations' ECO 92 in Rio de Janeiro by a record of 180 nations. There, the signatory countries agreed about ways to avoid environment degradation, to reduce the gap between poor and rich nations and to promote *sustainable development* – a development concerned with the next generations that would keep alive the web of life and curb social injustice. In most countries, including Brazil, the Agenda 21 was ratified by their respective senate and it looked like that mankind was recovering its capacity to foresee and act beforehand to prevent social and environmental disasters.

Local and regional agendas were then constructed detailing down such actions, but the sustainable development was only discursive and hardly put into practice.

In Brazil, public policy promoted with international help agricultural projects for the Cerrado, like the Prodecer; and the Cerrado has practically disappeared. The implemented Agrarian Reform triggered widespread deforestation and the *Avança Brasil*, the overall development program for the country is promoting unprecedented environmental damages and loss of the local cultural identity.

In the international scenario, the industrialized countries that had agreed in RIO 92 to increase their help to the poor nations from 0.36 % to 0.70 % of their GNP, by the time of the UN Conference of Johannesburg in October 2002, reduced their help to only 0.22 of their GNP. Compensation of social debts has been greatly reduced and environmental damages inflicted on us all is on the rise. An example is the gas emissions that were to be reduced with the Kyoto's protocol. The USA could not ratify it because reducing the emissions would stall the American economy and threaten the model that is being globally established. Large-scale precision agriculture and damming is part of the overall process. The power structure expressed in the market is buffering any substantial change that has been proposed in the way the *oikos* should be reorganized and administered. The discourse of sustainable development is being appropriated to legitimize the same economic system that has sustained the richer nations and the richest in the poor nations. At the root of modern economy (from the Greek *oikos* = house + *nomos* = organization) is Adam Smith's archetype creation: *the economic rational man* that seeks more and more riches for himself. As our ecological survival instincts are beginning to reject this consumerist god, the present social and environmental crisis (our outer *oikos*) is reflecting an identity crisis in our internal *home* (the inner *oikos*), both at the conscious level of the *ethos* and the unconscious level of the *mythos*. Our ecological conscience is at war with the reigning economic myth that was imprinted into modern society. In this paper we are showing images in the hope that a mythical internal dialogue between the economic rational man and the ecological sensible man takes place within you. Does it make sense to sustain the life of the Rio Corrente of southern Goiás and of the current rivers of the World?

METHODOLOGY

As we are personally related and have concrete feelings and responsibilities towards the topic of our study, we cannot pretend to ignore them in our science while keeping them to our private life. There is no neutrality in science and reason must dialogue with senses. Therefore, we departed from cold Cartesian approaches. Rather, we took our evaluation with a great deal of subjectivity and care for the object of this study. Contextual knowledge was acquired by inter- and trans-disciplinary methodology that helped us decide when complementary specific information and knowledge was required. Fragmented botanical, zoological, ecological and particularly geological observations were, on the other hand, critical to document the most vital aspects that threatened the sustainability of the overall land-water-life system. Due to the space shortage in the present abstract we had no room to include the dramatic helicopter-made images of the desert that is being formed in the region and of the astonishing natural beauty that may live no more. These pictures are to be shown at the Evora presentation and may be requested by e-mail as well as the references that for the same reasons were left out. The images are the most important products of the used method, as they speak straight to the deeper realms of one's conscience.

THE OVERALL LOCAL SCENARIO

The Corrente river flows into the Paranaíba river that forms the Paraná river basin that flows into the Atlantic Ocean at Buenos Ayres. It belongs to the same river system of the left margin of the Paranaíba river formed by the rivers Claro, Verde, Corrente and Prata/Aporé of the Goiás Southwest, all running southeast parallel to each one following the regional fracturing perpendicularly to the Paranaíba river NE-SW structure. The plateau drained in the eastern flank by these rivers extends from Goiás across the states of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul where. It is drained eastwards into the Pantanal Matogrossense by the rivers Correntes, Taquari and Jauru, northwards, by the Araguaia river into the Amazon Basin and southwards by the Sucuri river that flows into the dammed Paraná. This plateau became the site of planned highly productive large-scale, chemical intensive agriculture that is responsible for the bulk of Brazilian grain exports (mainly soybean but also maize, millet, sunflower and cotton) and a lot of environment concern. Record yields were staged in the last fifteen years and accompanied by massive rural exodus as the countryside was opened and freed of its natural vegetation and people. Deforestation and acquisition of modern machinery produced by international enterprises, massive chemical fertilizers, herbicides, insecticides, and the lot that forms the imported agriculture packages were financed either by Banco do Brasil, regional banks and the importing/exporting companies themselves. The Ferronorte railway was built to transport the grain production to the port of Santos. At its terminal in the Alto Taquari, a big outdoor announces the Ferronorte project was done respecting the environment following IBAMA's (the National Environmental Agency) recommendations and with a major concern in the preservation and recuperation of Nature. Close by, at the headwaters of the Araguaia river, are man-induced badlands with widespread landslides. At the plateau not a single tree can be seen for tens and hundreds kilometers, all the natural Cerrado vegetation had been irreversibly removed by the modern agriculture practices.

Barren red soil, white sand pastures or green deserts of soybean succeeds one another. Gauchos and paranaenses immigrants developed new towns like Chapadão do Céu, Chapadão do Sul, Alto Taquari, Costa Rica etc. Tradition farmers sold or leased their land and moved to the large cities. Few remained attached to the land, some produce milk that is sold to very low prices to Nestlé or equivalent multinational, others stayed in the traditional business of beef cattle. Drug and processed food consumption soared along with garbage production. Traditional family sustainable agriculture and local food markets disappeared. The fauna that was not killed, vanished. Survival members moved on to the river gallery forests (permanent protection areas), to the fewer and smaller isolated legal reserves (they are less than the 20% obliged by law), to the very few private conservation areas or to the Parque Nacional das Emas. This was a park planned much larger than it is now. It was supposed to keep an ecological corridor between the Pantanal lowlands, the Araguaia basin and the Goiás highlands, linking the natural forest galleries of the Taquari and Araguaia to that of the rio Corrente.

Economic agrobusiness pressures prevented in the past the links to the Taquari and the Araguaia and the park area was reduced. It is now isolated save in its connection to the corridor of the rio Corrente. At present the Mato Grosso do Sul state wants to turn the Taquari valley into a major conservation unit and with some efforts the link between the Taquari and Corrente may be yet possible. The ecological

corridor of the rio Corrente has been threatened by the Itumirim hydroelectric powerplant (UHT Itumirim). Action of the Ministerio Público stopped temporarily building the dam for it would substantially flood the ecological corridor. But due to the blackout of last year, renewed economic pressure to build the powerplant is in course.

THE HAZARD

The Corrente river is formed by the transparent blue waters of the Formoso (Beautiful) and Jacuba rivers whose sources are the priceless crystalline springs of the Parque Nacional das Emas. The reason the rio Corrente is so crystalline and pure is because all along its upper course its waters are fed by the Guarani aquifer – an immense natural filter formed by identical quartz-sand grains of the aeolian Botucatu formation. Black sills and lava flows of basalt interbedded, or covering the Botucatu formation, form the regional river bedrock, which the rio Corrente flows. Its gallery forests are habitat and hiding places for tapir, capybara, otter, deer, felines, anteaters, monkeys etc, being constantly overflowed by bands of canindé and red macaws, toucans, parrots, egrets and other birds. The gallery forest of the rio Corrente forms the most important ecological corridor in Central Brazil, linking the Pantanal to Goiás. It has been vital to the jaguar survival as the pregnant females leave the Pantanal to give birth in the rocky hills of Goiás. The fast waters of the rio Corrente have been used for rafting and canoeing. Its astonishing beauty is only comparable to the Bonito river, the most attractive recent eco-turistic resort in Brazil where traditional farmers have turned into river guardians. But such priceless beauty and the sustainability of the wildlife remnants are at stake, threatened by the projected Itumirim dam. Erosion induced by deforestation is fast approaching the Rio Verde left margin tributaries to a few hundred meters of the Rio Corrente (maximum altitude 680m; minimum altitude 672m) whose basaltic bedrock lies more than 100 meters over the Rio Verde bedrock (altitude at the GO-184 bridge: 552m). As upward of the proposed damsite lies a narrow area formed by the Botucatu sandstone aquifer separating their valleys, the flooding of the Rio Corrente is likely to trigger its underground capture by the Rio Verde. The process is indeed irreversible. Indeed, we resist. The Rio Corrente in our conscience will be alive and not dragged by the economic elite. Our imaginary will always keep the river that makes life possible.

THE ECOLOGICAL IMPORTANCE OF NITROGEN AND PHOSPHORUS CYCLES IN AQUATIC SYSTEMS

A. I. LILLEBØ

IMAR - Institute of Marine Research, Department of Zoology, University of Coimbra, 3004-517
Coimbra, Portugal

INTRODUCTION

As in most estuarine systems all over the world, eutrophication has largely increased in the Mondego estuary (western coast of Portugal), probably as a result of excessive nutrient release into coastal waters (e.g. Marques et al., 1997, Pardal et al., 2000, Martins et al., 2001, Cardoso et al 2002). Like in freshwater systems, these processes are most related to the increase availability of growth limiting nutrients, namely nitrogen and phosphorus. In general, two main sources contribute significantly, to the nutrient status and nutrient budgets of these water-bodies: a) the external diffuse and point sources; and b) the internal inputs originating from the sediments (e.g. Valiela, and Teal, 1979, Schindler, 1981, Cabeçadas, 1988, Berner and Berner, 1996, Falcão and Vale, 1998). In which the nutrients are internally recycled within the system throughout biogeochemical processes, namely by mediating micro-organisms (e.g. nitrifying and denitrifying bacteria, P-mediated bacteria), uptake by primary producers, bioturbation and detritus feeders (e.g., Day Jr et al., 1989, Kristensen, 1993, Staver et al., 1996, Gilbert et al., 1998; Mitchell and Baldwin 1998, Flindt et al., 1999, Lillebø 2000).

It is known that conservation or modification of aquatic systems requires detailed information of the system as a whole, and on the processes that affect the functioning and development of these ecosystems. So, the key to eutrophication control concerns the nutrient inputs and the study of biogeochemical process involved in the nutrients mineralization, in the nutrients uptake by primary producers, the effects of grazing or the regeneration of nutrients from sediments by organisms.

I - The importance of plant coverage (*Spartina maritima*) to some of the biogeochemical processes: a field study in the Mondego estuary (Lillebø et al, 2002).

In aquatic systems, vegetation may act as sediment traps playing an important role in the settling of suspended matter, and it has been reported that submersed rooted macrophytes link the nutrients in sediments with the overlying water, which may have important implications for nutrient cycling (e.g.

Kamp-Nilsen & Flindt 1993, Valiela, 1995, Flindt et al., 1999, 2002). Moreover, plant roots have an exceedingly complex interaction with the surrounding sediment, covering a wide range of biogeochemical process. Namely changes in the rhizosphere chemistry, including the redox potential (Eh), organic matter, metal availability and also the nutrient profiles (e.g. Caçador et al., 1996, 2000, Andersen & Ring, 1999, Cartaxana & Lloyd, 1999, Flindt et al., 1999).

The aim of this study was to compare the importance of plant coverage (*Spartina maritima*) to some of the biogeochemical process that may condition the sediment adsorption/desorption capacity, in a daily and seasonal scale. Differences between day and night situations may result from plant activity (photosynthesis/respiration and only respiration), while seasonal effects reflect the plant annual dynamics.

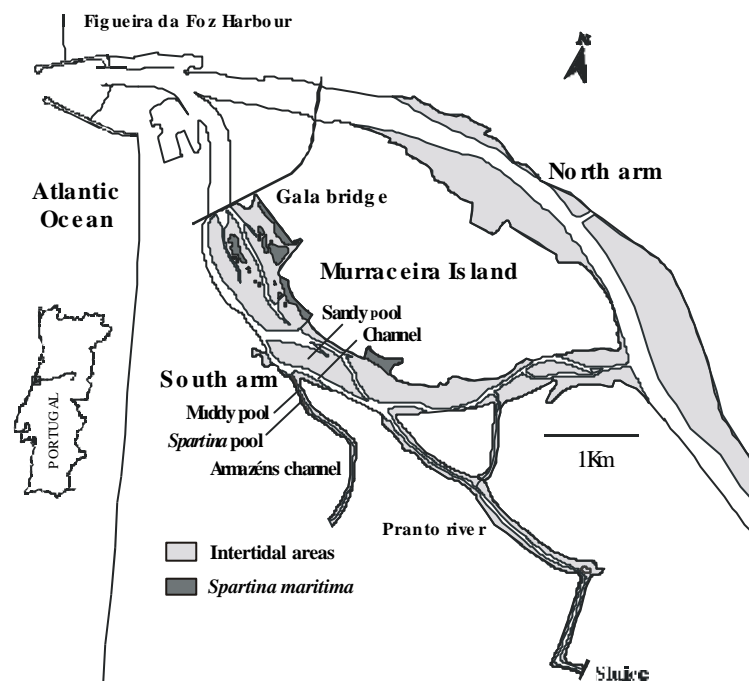


Fig 1 - The location of the Mondego estuary

METHODS

The Mondego estuary (Fig. 1) is a warm-temperate coastal system with large areas of intertidal flats. Furthermore, in intertidal estuaries, low tide intertidal pools may cover a considerable percentage of the total estuarine area. It is known that the importance of benthic mineralization to the trophic chain increase as the water column gets shallower (e.g. Nixon & Pilson, 1983). The *Spartina maritima* salt marsh area was chosen for being the most representative, regarding vegetated tidal pools in the south arm of the Mondego estuary (Lillebø et al., 1999, Flindt et al., 2002). Therefore, we performed a comparative study of the daily and seasonal nutrient efflux in intertidal bare bottom (sandy and muddy) and macrophyte (*Spartina maritima*) covered pools, during 24-hours tidal cycles (Fig. 1).

RESULTS AND DISCUSSION

Ammonia and phosphate fluxes were higher in bare bottom muddy pools, followed by *Spartina maritima* covered pool and sandy bare bottom pools. It was also possible to observe the importance of plant dynamics. Ammonia efflux rates were higher during fall, due to *Spartina* less productive season, while the *Spartina* kept the efflux low during summer (flowering season). Most probably, differences in ammonia flux between the muddy bare bottom pool and the *Spartina* pool are due to plant associated process. Based on this difference, we were able to calculate the plant production in nitrogen units. Taking into account, field data from Lillebø (2000) of aboveground mean C/N-ratio (35.5) for the *Spartina maritima*, we calculated the local plant production to a mean yearly net primary production of $503 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$, which corresponds to a mean aboveground biomass of 1200 g m^{-2} . This result is in agreement with literature values for *Spartina maritima* production: $670 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ for 200-2500 g m^{-2} aboveground biomass, in the Tagus estuary (Catarino, 1981), and $296 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ for a mean aboveground biomass of 628 g m^{-2} , in Bay of Biscay (Benito & Onaindia 1991).

This study also shows that in July, high temperatures and anoxic conditions, especially during the night, promoted the phosphate efflux to the overlaying water column. Moreover, *S. maritima* also controlled phosphate efflux from the sediment. Considering the fact that sediments constitute a major source of phosphorous supply for submersed macrophytes, during the day there might be a certain competition between two processes: *Spartina maritima* facilitated adsorption capacity and the efflux from the sediment, expressing the efficiency of the plants in oxidizing reduced compounds of the sediment (Caçador & Vale, 2000). During the night, in absence of enough light for primary production to take place, phosphate efflux increased, especially in July. On a seasonal scale, results suggest that phosphate efflux is temperature dependent and that in *Spartina maritima* covered pools it is also dependent on plant dynamics. Moreover, the highest mean phosphate effluxes occurred in summer with a clear contribution of the bare bottom muddy areas, which may be explained by the organic matter content, and the P-sorption capacity of the plants (Flindt et al. 2001).

Although, the availability of nutrients is reflected by the organic content in sediments, *S. maritima* dynamics clearly influence ammonia and phosphate efflux rates, especially in summer and during the day.

II - Influence of bioturbation by *Nereis diversicolor* on sediment nutrient fluxes: A mass balance laboratory study.

(Results obtained by I. Gouveia and S. Gonçalves during the advanced course: Feedback mechanisms between autotrophic/heterotrophic process and nutrient dynamics. the use of mass balances in aquatic systems management (University of Coimbra, July 2000, lectures by M. A. Pardal, R. Flindt, A. I. Lillebø and I. Martins).

Bioturbation was defined by Richter (1952 in François et al., 2002) as: all manner of displacements within unconsolidate sediments and soils that are produced by the activity of organisms, and is recognized as one of the major processes that affect aquatic ecosystems functions (François et al., 2002). The infaunal macro-organisms are known to play a crucial role in microbial activities and exchanges at the sediment-water interface due to their activities in the sediment (Gilbert et al., 1998).

These infaunal species may construct tubes or burrows for protection against desiccation or predators, for bioirrigation to facilitate feeding and oxygenation of their microenvironment, or they may simply move through the sediment (Gilbert et al., 1998, Duchêne and Rosenberg, 2001). Bioturbation causes the redistribution of particles and interstitial water in sediments, and increases the surface/area available for sediment-water interface exchange, modifying the adsorption-desorption characteristics of the sediment and altering the redox potential (Mortimer et al., 1999, François et al., 2002). Therefore, affects the physical, chemical and biological properties of the substratum. The depth of bioturbation in the sediment varies regarding species composition and habitats, and may change the spatial distribution of biogeochemical zones to 20 cm of depth (Dauwe et al., 1998 in Duchêne and Rosenberg, 2001).

Nereis diversicolor is one of the most widely distributed marine polychaete being known as an important bioturbator of shallow coastal sediments.

The objective of this exercise was to directly measure the bioturbation and bioirrigation effects of one of the most representative species in the Mondego estuary, using a laboratory mesocosms.

METHODS

Experiments were conducted in the laboratory with the polychaete *Nereis diversicolor*. The experimental set-up included three sub-experiments, with three replicates each: I- control (with no fauna); II – with *N. diversicolor* representing the mean density in field, and III – with *N. diversicolor* representing the maximum density in field. Each individual to be used in the experiment was measure to establish the relation between *N. diversicolor* first setiger with and the burrow wall surface area, according to Davey (1994 in Mortimer et al., 1999). The ratio of these estimate areas to the initial surface area provided a dimensionless number representative of the increase surface area attributed to *Nereis* burrows, (percentage of increased sediment-water interface surface area). The calculation of nutrients fluxes, from the sediment to the water column were, performed for phosphate, ammonia, nitrate, and nitrite.

CONCLUSIONS

This experiment showed that the presence of *Nereis diversicolor* altered the sediment-water exchange of nutrients. The results of this experiment were very much in agreement with results obtained by Mortimer et al. (1999). The increased *Nereis* density decreased phosphate efflux and enhanced nitrate and nitrite uptake, as well as ammonia release from the sediment. Phosphate fluxes are largely controlled by adsorption-desorption reactions, and the effect of *Nereis* bioturbation, by modifying the adsorption-desorption characteristics of the sediment and altering the redox potential, will cause an increase phosphate sorbed onto iron oxyhydroxides and decrease the efflux to the water column. The increase of ammonia efflux is probably a result from increased denitrification and increase of ammonia transport due to *Nereis* excretion and to irrigation of borrows.

REFERENCES

Andersen, F. Ø. & P. Ring 1999 Comparison of phosphorus release from littoral and profundal sediments in a

- shallow eutrophic lake. *Hydrobiologia* 408/409: 175-183.
- Benito, I. & M. Onaindia 1991 Biomass and aboveground production of four angiosperms in Cantabrian (N. Spain) salt marshes. *Vegetario* 96: 165-175.
- Berner, E. K. & R. Berner 1996 Margin marine environments, estuaries. In: Global Environment, water, air and geochemical cycles. pp 284-311.
- Cabeçadas, M. G. R. 1988 Phosphorus and nitrogen dynamics in the eutrophication process of Montargil reservoir. Dissertação apresentada para as provas de acesso à categoria de Investigadora auxiliar. Instituto Nacional de Investigação e Pescas. 167 pp.
- Caçador, I., C. Vale & F. Catarino 1996 Accumulation of Zn, Pb, Cr and Ni in sediments between roots of the Tagus estuary salt marshes, Portugal. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 42: 393-403.
- Caçador, I., C. Vale & F. Catarino 2000 Seasonal variation of Zn, Pb, Cu and Cd concentrations in the root-sediment system of *Spartina maritima* and *Halimione portugaloides* from Tagus estuary salt marshes. *Marine Environmental Research* 49: 279-290.
- Cardoso, P. M. A. Pardal, A. I. Lillebø S. M. Ferreira & J. C. Marques 2002. Impact of eutrophication on *Hydrobia ulvae* (Pennant) population in the Mondego estuary. *Experimental marine Biology and Ecology* 277(2):173-195.
- Cartaxana, P. & D. Lloyd 1999 N₂, N₂O and O₂ profiles in a Tagus estuary salt marsh. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 48: 751-756.
- Catarino, F. M. 1981 Papel das zonas húmidas do tipo sapal na descontaminação das águas. *Ciência IV série* (1) 2: 9-16.
- Day Jr, J. W., C. A. S. Hall, W. M. Kemp & A. Yáñez-Arancibia 1989 Estuarine chemistry In: Estuarine Ecology. John Wiley & Sons. Inc. p 81-89.
- Duchêne, J-C & R. Rosenberg, 2001 Marine benthic faunal activity patterns on a sediment surface assessed by video numerical tracking *Marine Ecology Progress Series* 223:113-119.
- Falcão, M., C. Vale 1998 Sediment-water exchanges of ammonium and phosphate in intertidal and sutidal areas of a mesotidal coastal lagoon (Ria Formosa). *Hydrobiologia*. 373/374: 193: 201.
- Flindt, M. R., M. A. Pardal, A. I. Lillebø I. Martins & J. C. Marques 1999 Nutrient cycling and plant dynamic in estuaries: a brief review. *Acta Oecologica*. 20 (4) 237-248
- Flindt, M.R., M. A. Pardal, A. I. Lillebø I. Martins & J. M. Oliveira 2002 Nutrient dynamics in the intertidal pools of the Mondego estuary. I - Nutrients sources, sediment profiles, mineralisation and adsorption dynamics. In: Aquatic Ecology of the Mondego River Basin. Global Importance of Local Experience, Scientific Editors M. A. Pardal, J. C. Marques and M. A. Graça, Coimbra, Imprensa da Universidade de Coimbra.
- François, F., M. Gerino, G. Stora, J-P. Durbec & J-C. Poggiale 2002 Functional approach to sediment reworking by gallery-forming macrobenthic organisms: modeling and application with the polychaete *Nereis diversicolor*. *Marine Ecology Progress Séries* 229:127-136.
- Gilbert F., G. Stora & P. Bonin 1998 Influence of bioturbation on denitrification activity in Mediterranean coastal sediments: an in situ experimental approach *Marine Ecology Progress Series*. 163:99-107.
- Kamp-Nielsen, L. & M. R. Flindt 1993 On-line recording of porewater profiles from in situ dialysis. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 151-156.
- Kristensen, E. 1993 Seasonal variation in benthic community metabolism and nitrogen dynamics in a shallow, organic-poor Danish lagoon. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 36: 565-586.
- Lillebø A. I. 2000 The effect of salt marshes plants on the nutrient dynamics in the Mondego estuary (Portugal). PhD Thesis, FCT-University of Coimbra, 159p.
- Lillebø A. I., M. R. Flindt, M. A. Pardal & J. C. Marques. 1999 The effect of macrofauna, meiofauna and

- microfauna on the degradation of *Spartina maritima* detritus from a salt marsh area. *Acta Oecologica* 20 (4) 249-258
- Lillebø A. I., M. R. Flindt, M. A. Pardal, I. Martins, J. M. Neto, & J. C. Marques 2002 Nutrient dynamics in the intertidal pools of the Mondego estuary. II – Seasonal efflux of PO₄-P and NH₄-N in bare bottom and vegetated pools In: Aquatic Ecology of the Mondego River Basin. Global Importance of Local Experience, Scientific Editors M. A. Pardal, J. C. Marques and M. A. Graça, Coimbra, Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Martins, I., M. A. Pardal, A. I. Lillebø, M. R. Flindt & J. C. Marques 2001. Hydrodynamics as a major factor controlling the occurrence of green macroalgae blooms in an eutrophic estuary: a case study. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 52: 165-177.
- Marques, J. C., M. A. Pardal, S. N. Nilsen & S. E. Jørgensen 1997 Analysis of the properties of exergy and biodiversity along an estuarine gradient of eutrophication. *Ecological Modelling* 62:155-167.
- Mitchell, A. & D. S. Baldwin 1998 Effects of Desiccation/oxidation on the potential for bacterial mediated P release from sediments. *Limnology and Oceanography*, 43 (3): 481-487.
- Mortimer, R. J. G., J. T. Davey, M. D. Krom, P. G. Watson, P. E. Frickers & R. J. Clifton 1999 The effect of macrofauna on porewater profiles and nutrient fluxes in the intertidal zone of the Humber estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 48: 683-699.
- Nixon, S. W. & M. E. Q. Pilson 1983 Nitrogen in estuarine and coastal marine ecosystems. In: Nitrogen in the marine environment. Academic. Press, Inc. P. 565-648.
- Pardal, M. A., J. C. Marques, I. Metelo, A. I. Lillebø & M. R. Flindt 2000. Impact of eutrophication on the life cycle, population dynamics and production of *Ampithoe valida* (Amphipoda) along an estuarine spatial gradient (Mondego estuary, Portugal). *Marine Ecology Progress Series* 196: 207-219.
- Schindler, D. W. 1981 Studies of eutrophication in lakes and their relevance to the estuarine environment. In: Estuaries and Nutrients. Edit by B. J. Neilson and L.E. Cronin. Humana Press, Clifton, New Jersey. P.71-82.
- Staver, L. W., K. W. Staver, & J. C. Stevenson 1996 Nutrients Inputs to the Choptank River estuary: Implications for Watershed management. *Estuaries*, 19 (2B): 342-358.
- Valiela, I & J.M. Teal, 1979. The nitrogen budget of a salt marsh ecosystem. *Nature*. 280: 652-656.
- Valiela, I. 1995 Marine Ecological Processes. 2nd ed. Springer-Verlag New York, Inc.: 425-433.

CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DO IMPACTE AGROMETEOROLÓGICO DO EMPREENHIMENTO DE ALQUEVA

JOSÉ ALEXANDRE VARANDA ANDRADE

Departamento de Geociências, Universidade de Évora

Colégio Luís António Verney, Universidade de Évora, Apartado 94, 7002-554 Évora

(zalex@uevora.pt)

IMPACTE CLIMÁTICO DO EMPREENHIMENTO DE ALQUEVA

a) **impacte ambiental associado à construção de barragens**

Alterações ambientais diversas estão normalmente associadas à construção e à exploração de grandes barragens. São exemplos destas alterações a erosão e o assoreamento do leito dos rios, o assoreamento de albufeiras, a perda de locais com interesse geológico, histórico e paisagista, a alteração da distribuição de pressões na crosta terrestre, a alteração de níveis freáticos e do regime das águas subterrâneas, a modificação das condições ecológicas da fauna e da flora terrestres nas regiões situadas na vizinhança dos rios assim como das espécies aquáticas, alterações climáticas e também alterações na vida das populações que vivem na região onde se forma albufeira. (Cunha *et al.*, 1980)

Da construção de uma barragem e do aproveitamento para rega da água retida resultam alterações climáticas na área alagada (albufeira) e nas áreas irrigadas. As circulações atmosféricas resultantes de gradientes horizontais de conteúdo de água no solo estendem a área de impacte às respectivas zonas envolventes da albufeira e do perímetro de rega. A magnitude do impacte depende sobretudo da extensão da superfície alagada, da distância à albufeira e ao perímetro de rega e da circulação sinóptica.

As alterações climáticas resultam da modificação da partição dos fluxos energéticos à superfície em zonas alagadas e em zonas irrigadas (alteração de balanços energéticos locais), da variação da capacidade térmica da superfície - especialmente nas zonas alagadas, e do seu albedo, de modificações da ocupação do solo e da orografia associada ao enchimento das zonas alagadas (Miranda *et al.*, 1994; Salgado, 1996). De uma forma geral, há aumento da humidade específica do ar e redução da temperatura do ar nas áreas alagadas e irrigadas assim como nas respectivas áreas envolventes; nas

primeiras ocorre ainda um aumento da evapotranspiração.

b) o empreendimento de Alqueva

O empreendimento de Alqueva desenvolve-se a partir da barragem construída no rio Guadiana, imediatamente a jusante da confluência do rio Degebe e a montante da confluência do rio Ardila. A albufeira ocupa, à cota de 152 m, uma área de aproximadamente 250 Km² (dos quais 215 Km² em território português). A capacidade máxima da albufeira é de aproximadamente 4,15 x 10⁹ m³, a que corresponde uma profundidade média de 16,5 m. A área total irrigada é de aproximadamente 1100 Km², e abrange total ou parcialmente 15 concelhos alentejanos. Devido à significativa extensão horizontal que afecta, induz alterações na estrutura da camada limite atmosférica e na circulação de mesosescala da região envolvente, produzindo por isso impactes climáticos à escala regional.

Da alteração do balanço energético à superfície (aumento do fluxo de calor latente e a consequente diminuição do fluxo de entalpia) resultam três efeitos importantes que caracterizam o impacte climático decorrente do Empreendimento de Alqueva (Miranda *et al.*, 1994):

a) aumento substancial da Evapotranspiração Real na zona alagada e na zona irrigada (cerca de 9 mm/dia na zona alagada e 6 a 8 mm/dia, com máximos superiores a 14 mm/dia no período de Verão) com resultante humedificação da camada-limite;

b) redução da temperatura à superfície do solo no Verão (Máxima, Média e Mínima) afectando a zona a irrigar. A redução pode atingir cerca de 3°C no caso da temperatura mínima e de cerca de 5°C no caso da temperatura máxima

c) impacte de sinal contrário em regiões a jusante da área de evaporação devido a alterações do perfil térmico da camada limite decorrente do processo evaporativo.

TEMPERATURA, HUMIDADE E DESENVOLVIMENTO VEGETAL

A produção de uma cultura depende da produtividade por planta e do número de plantas simultaneamente produtivas. O número de plantas produtivas depende da densidade de sementeira e de um adequado estabelecimento das culturas. O desenvolvimento vegetal das culturas é fortemente influenciado pela temperatura e pela humidade do solo.

a) Tempo térmico

A temperatura, a água e a luz influenciam directamente o desenvolvimento e a produção vegetais. Para uma fase específica do desenvolvimento i , representada por um número (1,...,n) se for um processo de diferenciação, Monteith (1977) demonstrou que a taxa de desenvolvimento (R_i , em d⁻¹) é função linear da temperatura (T , °C) acima de uma temperatura-base (T_{base} ou T_b):

$$R_i = 1/\tau_i = (1/\theta_i) (T - T_{base}) \quad (1)$$

onde τ_i é o tempo cronológico de duração da fase i , e θ_i é o tempo térmico ou duração térmica da mesma fase e exprime-se em graus-dia (°Cd). θ_i é a temperatura que é necessário acumular ao longo do tempo cronológico para que se verifique, ou se conclua, o processo ou a fase de desenvolvimento considerados, e T_{base} é a temperatura abaixo da qual o desenvolvimento é nulo ($R_i = 0$), isto é, a

duração cronológica τ_i é infinita. O produto do tempo cronológico por $(T-T_{base})$ é a temperatura acumulada, em °Cd, durante esse tempo.

Garcia-Huidobro *et al.*, (1982a) e Mohamed *et al.*, (1988a,b) descreveram a germinação (G), a emergência (E) e a produção de folhas (F) de diferentes culturas ao longo de uma gama extensa de temperaturas e definiram dois intervalos de temperatura complementares (Fig. 1): um intervalo sub-ótimo ($T_{base} < T < T_{opt}$) ao longo do qual as respectivas taxas (R_i , onde $i = G, E$ ou F) crescem linearmente com a temperatura segundo a eq. (1), e um intervalo supra-ótimo ($T_{opt} < T < T_{máx}$) ao longo do qual as taxas decrescem com o aumento da temperatura de acordo com:

$$R_i = 1/\tau_i = (1/\theta_2) (T_{máx} - T) \quad (2)$$

onde θ_2 é o tempo térmico ou duração térmica para o intervalo supra-ótimo e $T_{máx}$ é a temperatura acima da qual o desenvolvimento é nulo ($R_i=0$). A temperatura que corresponde à taxa máxima de desenvolvimento é a temperatura ótima (T_{opt}). T_{base} , T_{opt} e $T_{máx}$ são as temperaturas cardinais e são características de cada cultura (Garcia-Huidobro *et al.*, 1982a).

Entre as respectivas temperatura base e a temperatura máxima, as culturas desenvolvem-se ao longo do tempo cronológico a uma taxa que é modificada pela temperatura (equações 1 e 2). A aplicação do conceito de tempo térmico para cada fase de desenvolvimento de uma determinada cultura permite definir os respectivos limites térmicos de tolerância (T_{base} e $T_{máx}$), a temperatura a que correspondem as durações cronológicas mínimas (T_{opt}) e avaliar os efeitos da temperatura separadamente dos de outros factores, nomeadamente do teor de água do solo (Abreu & Clark, 1993). A aplicação das equações (1) e (2) pode ser limitada pela ocorrência de valores instantâneos da temperatura que ultrapassem os limites dos intervalos térmicos para os quais as equações são definidas (Leong & Ong, 1983).

b) estabelecimento das culturas

O estabelecimento de uma cultura compreende as fases de germinação das sementes, de emergência das plântulas à superfície do solo e da produção de um número inicial de folhas suficiente para tornar a plântula independente das reservas limitadas contidas na semente.

As condições térmicas e hídricas do solo (e térmicas do ar, no caso da produção de folhas de dicotiledóneas) favoráveis ao estabelecimento adequado de uma cultura ocorrem:

- numa gama de temperaturas, ao longo da qual a germinação e a emergência são máximas (isto é, com uma dimensão final percentualmente elevada), rápidas (isto é, de curta duração) e uniformes (pequena dispersão no tempo ao longo da população de sementes ou plântulas) e a produção e a expansão foliares são rápidas;

- numa gama de humidades, ao longo da qual o tempo térmico de cada fase do estabelecimento é mínimo.

O insucesso do estabelecimento aumenta consideravelmente o número de sementes a utilizar por planta produtiva e conduz a desequilíbrios irrecuperáveis nos estádios de desenvolvimento subsequentes.

Considerando T_{base} , a temperatura mínima acima da qual as percentagens de germinação ou de emergência são superiores aos *mínimos agronomicamente aceitáveis* (Miguel, 1983), T_{base} , a temperatura mínima acima da qual a dispersão da germinação ou da emergência é mínima e T_{base} , T_{opt} e $T_{máx}$ com o significado habitual, é possível qualificar a germinação (G) e a emergência (E) de uma cultura ao longo dos respectivos intervalos térmicos de tolerância como se segue (Andrade, 2001):

1º Sub-intervalo ($T_{base} < T < T_{base}$) - as taxas de germinação e de emergência são pequenas, a germinação e a emergência finais são médias ou elevadas (superiores aos mínimos agronomicamente aceitáveis), a dispersão dos tempos térmicos (ou das durações cronológicas) ao longo da amostra é ainda considerável;

2º Sub-intervalo ($T_{base} < T < T_{opt}$) - as taxas aumentam com a temperatura até ao valor máximo respectivo (T_{opt}), as percentagens finais da germinação e da emergência são elevadas e a dispersão dos tempos térmicos (ou das durações cronológicas) ao longo da amostra é mínima e mais ou menos constante;

3º Sub-intervalo ($T_{opt} < T < T_{máx}$) - as taxas são elevadas mas decrescem com o aumento da temperatura, a germinação e a emergência finais são elevadas enquanto que a dispersão das durações cronológicas se mantêm a um nível baixo e aproximadamente constante;

4º Sub-intervalo ($T_{máx} < T < T_{máx}$) - as taxas são baixas (e decrescem com a temperatura), a germinação e a emergência finais são inferiores aos *m.a.a.*, enquanto que a dispersão das durações cronológicas é mínima ou tende a aumentar ligeiramente.

Entre T_{base} e $T_{máx}$ (2º e 3º sub-intervalos reunidos) as germinações e as emergências são elevadas e pouco dispersas e a respectivas taxas variam linearmente com a temperatura. Entre $T(E)_{base}$ e $T(E)_{máx}$ o estabelecimento é adequado se não ocorrerem temperaturas instantâneas inferiores a $T(G)_{base}$ nem superiores a $T(G)_{máx}$.

Se T_{base} for superior a T_{base} , o **1º sub-intervalo** varia entre T_{base} e T_{base} e o **2º sub-intervalo** entre T_{base} e T_{opt} . Neste caso, o intervalo térmico que garante um estabelecimento adequado é o que se estende entre a T_{base} e a $T_{máx}$. Se $T_{máx}$ for inferior a T_{opt} , o 2º Sub-intervalo varia entre T_{base} e $T_{máx}$ e o 3º entre $T_{máx}$ e T_{opt} . Neste caso, o intervalo térmico que garante um estabelecimento adequado estende-se entre a T_{base} e a $T_{máx}$, mas não garante taxas máximas nem de germinação, nem de emergência.

Resultados obtidos por Andrade (2001) indicam que o tempo térmico de emergência de sete culturas representativas das condições agrometeorológicas mediterrâneas (ervilha, tremocilha, grão, fava, girassol, milho e sorgo) aumentou para valores extremos de humidade do solo, sobretudo em situações de défice hídrico do solo. A gama de humidades, ao longo da qual o tempo térmico de cada fase do estabelecimento é mínimo depende do tipo de solo e difere entre culturas.

Em síntese, o estabelecimento adequado de uma cultura requer temperaturas médias do solo (ou do ar, no caso do aparecimento de folhas nas dicotiledóneas) próximas das T_{opt} de emergência ou de produção de folhas, temperaturas instantâneas superiores a $T(G)_{base}$ e inferiores a $T(G)_{máx}$ e teores de água do solo à sementeira próximos da Capacidade de Campo. Além disso, o período de tempo em que as sementes e as plântulas pré-emergentes se expõem a temperaturas superiores à $T(G)_{opt}$ não deve implicar redução da taxa de emergência relativamente à taxa estimada a partir do valor de θ_1 .

c) produtividade e desenvolvimento inicial das culturas em zonas mediterrâneas

Nas condições agrometeorológicas mediterrâneas o desenvolvimento inicial de uma cultura determina em larga escala a sua produtividade. Os factores que mais limitam a produtividade das culturas nas regiões mediterrâneas semi-áridas (das quais a região a afectar pelo Empreendimento de Alqueva é um exemplo) são a irregularidade da precipitação, a que se associam défices hídricos no solo relativamente prolongados (Ong, 1984), e as temperaturas extremas, que são frequentemente impeditivas do desenvolvimento das plantas (Lal, 1974; Wilson *et al.*, 1982). Durante a época de sementeira das culturas primaveris, o comportamento térmico e hídrico da camada superficial do solo é frequentemente afectado pela elevada radiação solar e pelos valores elevados da evapotranspiração potencial e do défice de saturação da atmosfera durante o dia - a variação do teor de água no solo é por vezes considerável, as temperaturas máximas diárias à superfície do solo são muitas vezes superiores a 30°C; no Outono e no Inverno as precipitações são irregulares e frequentemente de elevada intensidade e o solo encontra-se com frequência à capacidade de campo ou a níveis aproximados desta. As baixas temperaturas mínimas diárias, associadas eventualmente à ocorrência de geadas, podem limitar o estabelecimento das culturas outono-invernais, mas sobretudo o das primaveris.

ALGUMAS CONSEQUÊNCIAS AGRONÓMICAS DECORRENTES DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS ASSOCIADAS AO EMPREENDIMENTO DE ALQUEVA

As implicações no desenvolvimento inicial das culturas decorrentes das alterações climáticas associadas ao Empreendimento de Alqueva são diversas e podem assumir sentidos opostos consoante sejam avaliadas em áreas irrigadas ou a irrigar ou em áreas contíguas a estas ou à própria albufeira.

a) áreas irrigadas

O controle do teor de água no solo decorrente do empreendimento permite resolver os constrangimentos resultantes da irregularidade da precipitação e dos défices hídricos no solo prolongados (sobretudo na Primavera); por exemplo, torna possível a introdução e/ou a expansão de culturas mais sensíveis à falta de água no solo como as hortícolas, fruteiras e outras, assim como o aumento da produção de forragem. Além disso, a irrigação permite minimizar o tempo térmico das diferentes fases do estabelecimento de cada cultura, sendo este efeito mais evidente na germinação e na emergência que na produção e expansão foliares, onde a influência da água se sente sobretudo em situações de défice. Prevê-se ainda que seja alargada a gama de temperaturas (médias) em que a percentagem de emergência é elevada (superior aos mínimos agronomicamente aceitáveis).

A irrigação aumenta a capacidade calorífica volumétrica do solo, diminuindo por consequência as amplitudes térmicas diárias no solo. Deste modo são diminuídos os problemas criados pela ocorrência de temperaturas extremas, permitindo nomeadamente (a) evitar os efeitos negativos associados à ocorrência de geadas assim como (b) aumentar a temperatura (média) correspondente à taxa máxima de emergência (T_{opt}), alargando em consequência, o 2º sub-intervalo térmico atrás considerado ($T_{base} < T < T_{opt}$).

O decréscimo da temperatura média permitirá prolongar a época de sementeira das culturas primaveris e antecipar as sementeiras de outono-inverno; além disso, possibilitará a introdução de novas espécies agrícolas menos sensíveis ao frio.

b) nas áreas envolventes às zonas alagadas e irrigadas

O sentido do impacte agrometeorológico em áreas contíguas à albufeira e à zona irrigada é diverso, consoante sejam áreas a montante ou a jusante da zona de evaporação. A humidificação do ar a jusante da zona de evaporação tende a reprimir a evaporação pelo que é de prever um aumento da temperatura à superfície do solo. Embora a magnitude deste efeito seja proporcionalmente menor que a do efeito provocado pelo aumento da evaporação (Miranda *et al*, 1994), devido a modificações no balanço radiativo à superfície terrestre, são de prever implicações negativas no desenvolvimento inicial das culturas, nomeadamente devido ao aumento da probabilidade de ocorrência de temperaturas extremas à superfície do solo (nomeadamente temperaturas elevadas durante as sementeiras de primavera) a que se associa à normal irregularidade da variação do teor de água no solo nas épocas normais de sementeira.

REFERÊNCIAS

- Abreu, F.G. & Clark, J.A. 1993. Groundnut seedling emergence in relation to thermal-time and soil water. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*. **43**: 219-232.
- Andrade, J. 2001. Temperatura do solo (e análise de Fourier), humidade do solo e desenvolvimento inicial de várias culturas em solos Pmg e Cb. *Dissertação para provas de doutoramento*. U.E. Évora
- Cunha, L.V, Gonçalves, A.S., Figueiredo, V.A. & Lino, M. 1980. A Gestão da Água. Princípios fundamentais e sua aplicação em Portugal. FCG. Lisboa
- Garcia-Huidobro, J., Monteith, J.L. & Squire, G.R. 1982. Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H). I. Constant Temperature. *Journal of Experimental Botany*, **33**: 288-296.
- Lal, R., 1974. Soil Temperature relations in Tropical Africa and their effects on crop yield. *FAO/UNDP International Expert Consultations on the use of Improved Technology for Food Production in Rainfed Areas of Tropical Asia*. Hyderalsad, 24-28 Novemer, 1974, India
- Leong, S.K. & Ong, C.K. 1983. The influence of temperature and soil Water Deficit on the development and morphology of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Experimental Botany*, **34**: 1551-1561
- Miguel, M. 1983. *Métodos de germinação de sementes das espécies mais utilizadas pela agricultura portuguesa*. Ministério da Agricultura, Divisão de Controlo de Germinação, Oeiras
- Miranda, P, Abreu, F.G. & Salgado, R. 1994. Estudo de Impacte do Alqueva (Clima- Relatório Final). ICAT – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa
- Mohamed, H.A., Clark, J.L. and ONG, C.K.. 1988. Genotypic Differences in the temperature responses of Tropical Crops. I. Germination characteristics of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) and pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H). *Journal of Experimental Botany*, **39**, 1121-1128.
- Mohamed, H., Clark, J. & Ong, C. 1988. Genotypic Differences in the temperature responses of Tropical Crops. II. Seedling emergence and leaf growth of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) and pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H). *Journal of Experimental Botany*, **39**: 1129-1135.
- Monteith, J.L. 1977. Climate. In *Alvim, P.T. & Kozlowsky, T.T. (eds) Ecophysiology of tropical crops*, pp. 1-25. Academic Press, New York, USA
- Ong, C.K.. 1984. The influence of temperature and water deficits on the partitioning of dry matter in groundnut

(*Arachis hypogaea* L.) *Journal of Experimental Botany*. 35, 746-755

Salgado, R. 1996. Modelação de circulações atmosféricas induzidas por heterogeneidades na superfície. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa

Wilson, G.L., Raju, P.S., e Peacock, J.M. 1982. Effect of soil temperature on sorghum emergence. *Indian Journal of Agricultural Science*, 52, 648-851

CARACTERIZAÇÃO DA SISMICIDADE NO SUL DE PORTUGAL E REGIÕES ADJACENTES

MOURAD BEZZEGHOUD, JOSÉ F. BORGES E AUGUSTO FITAS
Centro de Geofísica de Évora e Departamento de Física da Universidade de Évora,
R. Romão Ramalho, 59, 7000 Évora, mourad@uevora.pt

Keywords: Sismicidade, mecanismo focal, deformação sísmica, Portugal.

INTRODUÇÃO

Portugal Continental apresenta uma actividade sísmica que resulta da sua proximidade geográfica da fronteira entre as placas tectónicas Euro-asiática e Africana. Esta fractura comumente designada por *Fractura Açores-Gibraltar* estende-se desde Gibraltar até ao arquipélago dos Açores.

O limite Europa-Africa é uma região complexa: a parte ocidental desta fronteira de placas, entre os Açores e o banco do Gorringe, corresponde a uma transição de placa oceânica, – enquanto a zona que se prolonga do o Gorringe até ao oeste de Argélia é uma transição continental. Se a fronteira entre as placas Euro-Asiática e Africana encontra-se claramente bem delimitado na parte oceânica, até ao banco de Gorringe, já, depois deste, na sua zona continental. (Ibéria-África) ela apresenta-se difusa. Esta diferença de comportamento é evidenciado pela distribuição dos epicentros, pela batimetria e topografia. A zona em estudo, a de transição continental, devido ao seu potencial sísmico, testemunhado pelos eventos sísmicos recentes e pelos grandes terremotos historicamente documentados, justifica uma intensificação no estudo da sismicidade, da ruptura sísmica, da sismotectónica e da geodinâmica. Por outro lado a avaliação do seu risco sísmico, implica um conhecimento de todos os fenómenos relacionados com a ocorrência de sismos como é o caso do mecanismo de fonte, da estrutura crustal, da atenuação, etc.

SISMICIDADE HISTÓRICA E INSTRUMENTAL

O estudo da sismicidade de Portugal continental baseia-se em dados instrumentais recolhidos por redes locais, regionais e globais. A localização dos eventos sísmicos e o cálculo da sua magnitude fornece-nos uma imagem, ainda que incompleta, da actividade associada aos principais acidentes tectónicos activos: as fronteiras de placas e as zonas de fractura. Numa primeira análise do mapa de epicentros da área sob estudo (Fig.1) verifica-se que os epicentros apresentam-se dispersos ao longo duma faixa de intensa

sismicidade cuja origem deverá associar-se à interacção própria da fronteira entre placas. Esta sismicidade dispersa, onde há que ter em conta as dificuldades de localização de sismos de $M < 5$ devido a deficiências

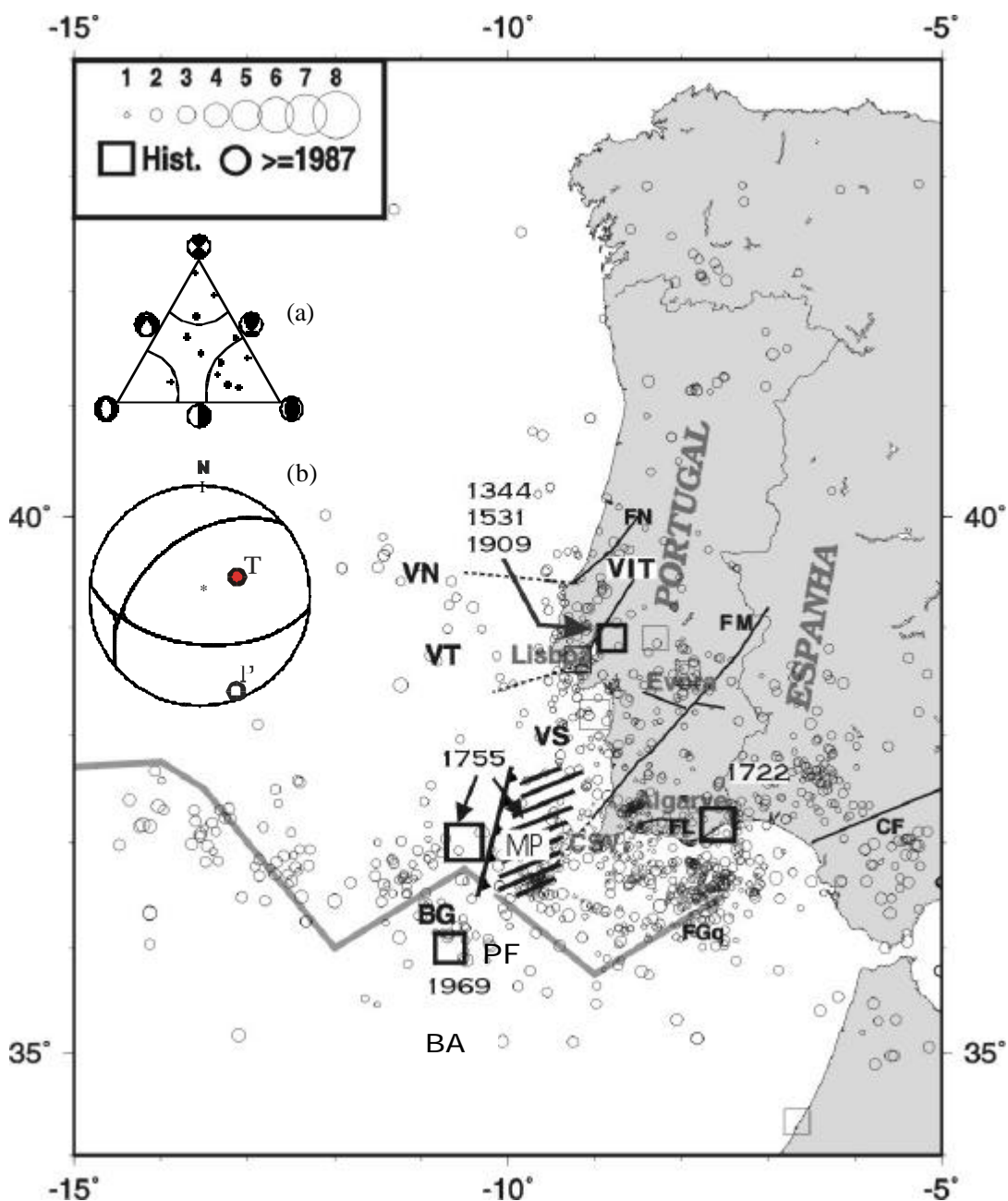


Figura 1. Sismicidade Histórica entre 1344 e 1997 (rectângulos) e instrumental (círculos) para o período entre 1988 e 1997). A dimensão dos Símbolos é proporcional à magnitude dos eventos. O sismo de 1755 apresenta duas localizações: a representada quadrado, que corresponde à localização anteriormente aceite e a localização associada à zona do cavalgamento Marquês de Pombal (MP). FN=Falha da Nazaré, VIT=Região do Vale inferior do Tejo, FM= Falha da Messejana, FL= Falha de Loulé, PT= Planície do Tejo, PF= Planície da Ferradura BA=Banco de Ampère, BG=Banco de Gorringe. (a) Diagrama de Frohlich que representa os mecanismos de sismos de $M > 5.5$ para a região sul de Portugal e a sua margem atlântica. (b) Tensor momento sísmico calculado a partir destes mecanismos.

da rede sísmica, é justificada pelas suas características tectónicas peculiares. Em primeiro lugar, uma

batimetria complexa: há grandes montanhas submarinas alinhadas nas direcções EW a ENE-WSW, o Banco de Gorringe (*BG*) e o Banco Ampere (*BA*), circundadas por planícies abissais muito profundas onde se destacam a Planície do Tejo (*PT*) e a Planície da Ferradura (*PF*). Em segundo lugar, há, entre o *BG* e a costa oeste Portuguesa, uma estrutura de grandes dimensões em forma de cavalgamento, designada por *Cavalgamento Marquês de Pomba (MP)*, descoberta recentemente e cujos limites geográficos não são bem conhecidos (*Zitellini et al., 2001*). Em terceiro lugar, a existência de alinhamentos que podem ser considerados prováveis prolongamentos submarinos das fracturas terrestres activas (falhas da Nazaré (*FN*), do vale inferior do Tejo (*VIT*), da Messejana (*FM*) de Guadalquivir (*FGq*) e de Cádiz-Alicante (*CF*).

A distribuição da sismicidade em Portugal continental é muito heterogénea e encontra-se essencialmente concentrada no sul do país e na margem oceânica adjacente (Fig. 1). Esta região apresenta uma actividade sísmica caracterizada por eventos de magnitude moderada ($M < 5$) e, ocasionalmente, eventos com magnitude superior ($5 \leq M \leq 7.8$). Na Figura 1 são apresentados os epicentros para o período 1988-1997, obtidos a partir de catálogos e boletins sísmicos (Senos et al., 1995). A informação de sismicidade histórica foi coligida a partir do catálogo nacional (Sousa et al. 1992). Pela sua localização constata-se que os epicentros se encontram dispersos por todo o território nacional, embora se verifique uma maior concentração em determinadas regiões: Vale do Tejo, zona de Évora, margem Sul Algarvia a sudoeste do Cabo de São Vicente numa faixa que vai desde a Planície da Ferradura (*PF*) até ao Banco de Gorringe (*BG*). Foi nesta última região que se localizaram os sismos de maior magnitude: 1 de Novembro de 1755 ($I_0 = X-XI$) e 28 de Fevereiro de 1969 ($M = 8.0$) (Fig. 1). Foi na região do Vale do Tejo, junto a Lisboa, que se localizou o epicentro de um dos abalos que maior impacto teve no território continental português: o sismo de Benavente em 23 de Abril de 1909.

O sismo de 1 de Novembro de 1755, às 9h 30min, denominado *sismo de Lisboa*, foi um dos mais destrutivos de que há memória, sentido-se em toda a Europa e Norte de África. O terramoto foi acompanhado por um gigantesco incêndio e, posteriormente, por uma onda gigante que invadiu Lisboa e toda a costa de Portugal, em especial no Algarve, fazendo-se sentir também no Golfo de Cádiz, no Norte de Marrocos, nos Açores e Madeira (no sudoeste algarvio e em Lisboa atingiu a amplitude máxima, respectivamente, de 10 a 15 m e 6 m). O efeito combinado do sismo, do incêndio e do maremoto provocou uma imensa devastação na cidade de Lisboa e um número incalculável de mortos. A localização do seu epicentro continua ainda incerto: inicialmente apontava-se, embora com algumas reservas, para uma zona junto ao Banco de

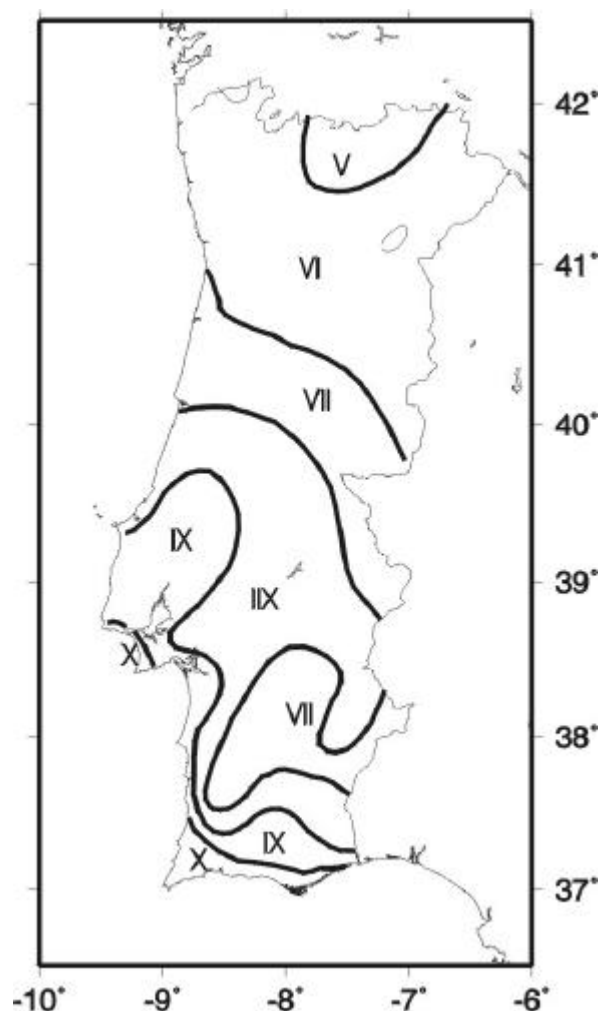


Figura 2. Carta de Intensidades máximas registadas no território de Portugal Continental (informação do Instituto de Meteorologia www.meteo.pt).

Gorringe; actualmente, as características especiais do *Cavalgamento Marquês de Pombal (MP)* (Zitellini, 2001), em particular no que se refere à orientação do plano de falha e às suas dimensões, tornam-na uma potencial candidata a zona sismogénica deste sismo. Esta última localização é reforçada pelos resultados obtidos através da modelação do maremoto associado ao sismo (Baptista, 1998).

O sismo de 28 de Fevereiro de 1969 ocorreu às 02 h 42 min e foi sentido em toda a Península Ibérica, Ilhas Canárias e em Marrocos. O seu epicentro localiza-se a Sudoeste do Banco de Gorringe na planície da Ferradura (*PF*) e a sua magnitude é de 8,0 (Fig. 1). Este sismo foi acompanhado de um maremoto registado nas estações maregráficas de Portugal continental, dos Açores, de Espanha e Marrocos. Em virtude do grande afastamento em relação à zona epicentral e apesar da elevada magnitude, o sismo de 1969 não afectou de forma sensível o território Nacional.

Um dos sismos instrumentais com maior impacto no território continental português foi o sismo de 23 de Abril de 1909 cuja magnitude foi calculada em 6.0 (Teves-Costa, et al., 1999) e o seu epicentro localizado no sector sul da falha do Vale inferior do Tejo (*VIT*), em plena bacia sedimentar. As zonas mais afectadas foram a localidade de Samora Correia e, em particular, Benavente, onde morreram 46 pessoas e várias dezenas ficara gravemente feridas. Esta mesma zona foi sujeita no passado a sismos de elevada intensidade, destacam-se os sismos de 1344 e de 1531 (Sousa et al., 1992), cuja intensidade máxima em Lisboa foi de IX a X na escala de Mercalli Modificada.

MECANISMOS FOCAIS E DEFORMAÇÃO SÍSMICA

Em Portugal continental e margem atlântica adjacente a distribuição de mecanismos focais é bastante heterogénea, embora se possam identificar alguns padrões (Borges et al., 2001):

1. a margem Oeste Ibérica apresenta mecanismos strike-slip onde alguns dos eventos poderão estar ligados ao prolongamento de alguns acidentes como a falha da Nazaré e a do Vale Inferior do Tejo;
2. na região de Évora localizam-se alguns sismos com movimentação do tipo strike-slip cujos planos estão orientados nas direcções N-S e E-O;
3. no litoral, a norte e a sul de Lisboa, são dominantes os mecanismos com forte componente vertical.
4. a faixa algarvia e a sua margem costeira é dominada por mecanismos do tipo strike-slip com planos orientados na direcção N-S e E-W; esta tendência é consolidada pelos mecanismos calculados a partir de dados com origem na rede TRANSFRONTIER (Bezzeghoud et al., 1998) e confirma o modelo tectónico proposto para a Bacia Algarvia (Terrinha, 1997) composto por quatro falhas transformantes com orientação entre N-S a NNW-SSE (neste modelo incluir-se-ia a hipotética falha do Guadiana); assim podemos considerar que os mecanismos da faixa algarvia e respectiva margem são consequência do deslizamento horizontal no sentido esquerdo, em falhas orientadas na direcção N-S;
5. mais a Sul, já próximo da fronteira de placas, existe um conjunto de sismos que apresentam uma notável homogeneidade ao nível dos mecanismos focais, mecanismos oblíquos com uma importante componente inversa; estes eventos estão relacionados com a colisão entre as placas Euro-asiática e Africana e poderão estar associados a um conjunto de falhas conhecidas com orientação média E-W.

Apesar da heterogeneidade do tipo de mecanismo na região sul de Portugal, os seus eixos de compressão apresentam uma orientação homogénea na direcção NW-SE, compatível com a direcção de compressão máxima regional resultante da colisão das placas Euro-asiática e Africana (Fig. 1).

A partir dos momentos sísmicos e dos parâmetros dos mecanismos focais dominantes, foi calculado, para a zona que vai do banco de Goringe até o golfo de Cádiz., o tensor do momento sísmico total (TMS, Fig. 1). De acordo com os resultados obtidos pode concluir-se que, junto da margem continental, o TMS total obtido corresponde a um movimento inverso (Fig. 1) com uma taxa de deformação de 5.5 mm/ano para a zona referida. Na zona do mar de Alborão o regime de tensões é muito mas complexo e revela uma taxa de deformação muito mas baixa (0.6 mm/ano). Este zona, bastante larga, apresenta um movimento de tipo deslizamento com uma componente inversa nas Béticas e um movimento de tipo deslizamento, com uma pequena componente normal, no mar de Alborão e no Riff (Buform et al., 2003).

CONCLUSÕES

Em Portugal continental as intensidades máximas decrescem à medida que se caminha do sul para norte e do litoral para o interior (Fig. 2) e a sua sismicidade é caracterizada por sísmos de magnitude reduzida ($M < 5.0$) e, ocasionalmente, de magnitude moderada a elevada ($5.0 \leq M \leq 8.0$). Alguns destes eventos causaram danos humanos e materiais significativos ($I_0 > VIII$), particularmente nas zona do Vale do Tejo e na orla costeira do sul do Portugal (Figuras. 1 e 2). De acordo com o recente trabalho de Montilla e Casado (2002) esta zona é aquela que apresenta o maior risco sísmico de toda a Península Ibérica. Em Portugal continental, são estas duas regiões que deverão merecer uma maior atenção nos estudos do risco sísmico. Do exposto resulta a necessidade de se tomarem medidas adequadas no sentido de evitar, ou minimizar, os impactos sísmicos quer na segurança física dos cidadãos, quer, em geral, nos prejuízos materiais associados.

REFERÊNCIAS

- Bezzeghoud M., J.F. Borges, F. Carilho, A.J.S. Fitas e L. Senos, 1998. Mecanismos focais e fontes sísmicas no Algarve. *1º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG*, Lagos, Portugal – 23 a 25 de Novembro de 1998.
- Baptista, M. A., 1998. Génese e propagação de Tsunamis na costa Portuguesa. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para a obtenção de grau de Doutor, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.
- Buform E., M. Bezzeghoud, A. Udias and C. Pro, 2003 Seismic source in the Iberian-African plate boundary. *Pure appl. Geophys*, no prelo
- Borges, J. F., Augusto J. S. Fitas, M. Bezzeghoud, P. Teves-Costa, 2001, Seismotectonics of Portugal and its adjacent Atlantic area, *Tectonophysics*, 337, 373-387.
- Montilla, J.A.P. and C.L.Casado, 2002. Seismic Hazard Estimate at the Iberian Peninsula. *Pure appl. Geophys*. 159, 2600-2713
- Senos, M. Luísa, J. F. Cruz e F. Carrilho, 1995. Resumo da sismicidade de Portugal Continental 1988-1993, Instituto de Meteorologia, Lisboa, 27.
- Sousa, M. L., A. Martins and C. S. Oliveira, 1992. Compilação de catálogos sísmicos da região Ibérica. Relatório 36/92, NDA, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Terrinha, P.A.G., 1997. Structural geology and tectonic evolution of the Algarve Basin, South Portugal. PhD

Thesis, Dep. Of Geology, Royal School of Mines, Imperial College, London, 423 pp.

Teves-Costa, P., J. F. Borges, I. Rio, R. Ribeiro and C. Marreiros, 1999. Source Parameters of Old Earthquakes: Semi-Automatic Digitalization of Analog Records and seismic moment Assessment. *Natural Hazards*, 19, 205-220, 1999

Zitellini, N. e outros 30 autores, 2001. Source of 1755 Lisbon Earthquake and Tsunami Investigated. *EOS*, vol. 82, Nº26.

GEOLOGIA DA REGIÃO DE ALQUEVA: ESTRUTURAS ASSOCIADAS À OROGENIA VARISCA E A SUA REACTIVAÇÃO POSTERIOR, EM REGIME FRÁGIL.

ANTÓNIO ALEXANDRE V. ARAÚJO ⁽¹⁾

JORGE ESPINHA MARQUES ⁽²⁾

⁽¹⁾ Dep. Geociências, Universidade de Évora e Centro de Geofísica de Évora Apartado 94, 7001 Évora;

⁽²⁾ Dep. Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Pr. Gomes Teixeira, 4050 Porto

INTRODUÇÃO

A região de Alqueva situa-se na Zona de Ossa-Morena, uma das zonas paleogeográficas e tectónicas em que se encontra dividido o Maciço Ibérico. Maioritariamente formada por sequências metamórficas de idade paleozóica, a Zona de Ossa-Morena representa uma das zonas internas do orógeno varisco na Península Ibérica. A antiga cadeia de montanhas está hoje totalmente arrasada e os níveis que afloram à superfície representam as raízes dessa cadeia, erguida no Paleozóico Superior. As estruturas tectónicas presentes nesta região são na sua grande maioria típicas de níveis estruturais profundos e a principal fase de deformação está associada a um pico metamórfico na fácies dos xistos verdes, existindo também alguns indícios de que este episódio metamórfico se sobrepõe a um anterior, de mais alta pressão (fácies dos xistos azuis, Araújo, 1995).

Apesar da deformação apresentada pelas rochas ser fundamentalmente dúctil, o Maciço Ibérico encontra-se intensamente recortado por falhas e a região de Alqueva não foge a esta regra. Na sua grande maioria são falhas geradas nas fases finais da Orogenia Varisca. Estes acidentes apresentam frequentemente indícios de reactivações posteriores e, nestes casos, é particularmente importante identificar quais os que apresentam evidências de reactivação na dependência do regime tectónico actual. As falhas nestas condições são consideradas activas (Slemmons e McKinney, 1977) e a sua identificação tem importância óbvia em qualquer estudo relacionado com a previsão ou prevenção de catástrofes naturais, neste caso os sismos.

Após a Orogenia Varisca, a evolução do Maciço Ibérico durante o Ciclo Alpino caracterizou-se por uma relativa estabilidade. Deu-se fundamentalmente erosão dos relevos herdados do Paleozóico e no Cenozóico acumularam-se alguns produtos resultantes dessa erosão em bacias continentais. A estabilidade tectónica foi ao longo de todo este intervalo de tempo pontualmente interrompida,

merecendo destaque a chamada Fase Bética no Miocénico Superior, associada à qual há numerosas evidências de reactivações ao longo das principais falhas, herdadas do período Varisco. Uma das consequências directas desta actividade foi o rejuvenescimento do relevo, resultante de desnivelamentos da superfície topográfica ao longo das falhas que sofreram reactivação.

No Maciço Ibérico o campo de tensões actual é condicionado pela aproximação das Placas Europeia e Africana, apresentando uma direcção para a tensão máxima variável entre NNW-SSE e NW-SE, mantendo-se com uma orientação próxima da direcção de compressão bética.

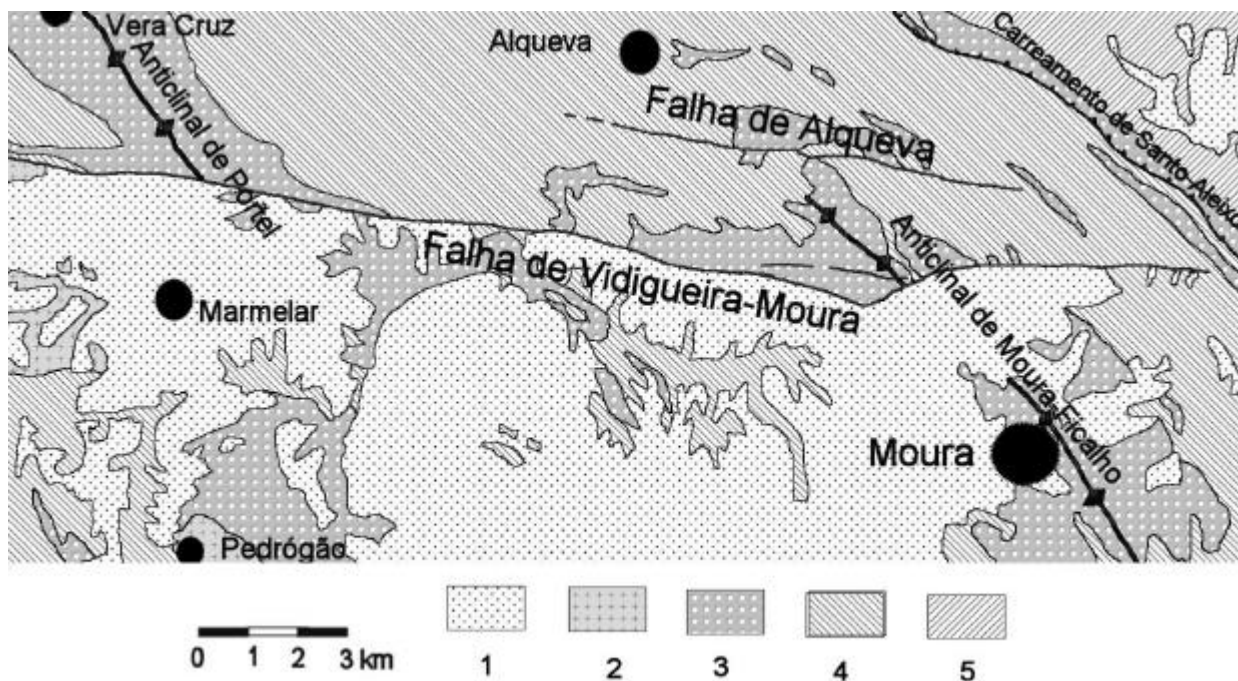


Fig. 1 Mapa geológico da região de Alqueva (adaptado da Carta Geológica de Portugal à escala 1/200.000, folha 8). 1 – Depósitos de cobertura terciários e quaternários; 2 – Maciços ígneos intrusivos; 3 – Metavulcanitos ácidos e básicos, calcários e calcoxistos; 4 – Xistos sericito-cloríticos (Formação dos Xistos de Moura); 5 – Xistos e psamitos (Formação de Ossa).

Torna-se muitas vezes difícil separar os acidentes reactivados pela tectónica actual dos antigos, relacionados a eventos tectónicos passados, contudo este tipo de estudo é fundamental para a definição do local de implantação de qualquer obra que, pela sua natureza, possa ser particularmente perigosa em caso de actividade sísmica. A Falha de Vidigueira-Moura (figura 1) nas proximidades de Alqueva, é um bom exemplo de uma falha que apresenta evidências de múltiplas reactivações durante o Cenozóico e é considerada activa (Brum da Silveira, 1990).

Em qualquer circunstância a avaliação dos riscos geológicos de uma região inicia-se por trabalhos de cartografia de detalhe. Nas páginas seguintes apresentam-se os resultados obtidos a partir da cartografia geológica detalhada das estruturas frágeis da região de Alqueva. Os dados apresentados e analisados neste trabalho resultam parcialmente de um estudo encomendado pela Empresa de Desenvolvimento Integrado de Alqueva (EDIA), com vista à caracterização sísmo-tectónica da região em que foi construída a Barragem, onde o principal objecto de estudo foi a estrutura designada em trabalhos anteriores por falha de Alqueva (Silveira e Araújo, 1989; Silveira, 1990).

TECTÓNICA VARISCA

Primeira fase de deformação:

Esta fase tem pouca expressão na região de Alqueva e, neste sector não é responsável pela geração de estruturas importantes. Localmente está apenas representada por lineações e por uma clivagem existente, conservada em "microlithons", quase totalmente transposta por uma xistosidade posterior (de segunda fase), não se justificando a sua análise geométrica. O metamorfismo de alta pressão, na fácies dos xistos azuis referido anteriormente, está associado a este evento (Araújo 1995).

Segunda fase de deformação:

Este é o evento tectónico responsável pela estrutura geral na região. O Antiforma de Moura-Ficalho (fig. 1) é uma dobra macroscópica de segunda fase e a maioria dos limites entre as unidades presentes na região são zonas de cisalhamento atribuídas a este impulso. A xistosidade principal é gerada durante a segunda fase de deformação e apresenta-se de plano axial de dobras apertadas, com eixos NNW-SSE, sub-horizontais ou ligeiramente inclinados para o quadrante Norte. As dobras são regra geral muito assimétricas, com flancos curtos frequentemente invertidos, apresentando uma marcada vergência para Oeste (Araújo, 1995). Nesta região a xistosidade de segunda fase apresenta a máxima concentração em torno de um plano de atitude N55W, 45NE. A deformação de segunda fase gera-se em regime dúctil e é sensivelmente contemporânea de uma recristalização metamórfica na fácies dos xistos verdes.

Terceira fase de deformação:

A terceira fase de deformação é igualmente um importante evento tectónico varisco na Zona de Ossa-Morena. Na região de Alqueva, ao sobrepor-se a rochas previamente deformadas e metamorizadas, não tem a expressão de outros sectores e gera estruturas claramente pós-metamórficas, em condições mais frágeis que a fase anterior. Esta fase é responsável pelo desenvolvimento de uma clivagem de crenulação com um máximo em torno da atitude N53W,75N. Os dobramentos são frequentemente pouco pronunciados, com eixo sub-horizantal, provocando ondulações suaves na xistosidade anterior. Com planos axiais próximos da vertical, as dobras de terceira fase apresentam, contudo, uma vergência clara para SW, ao longo do sector estudado. Dado o carácter mais frágil deste impulso tectónico, é bastante frequente o aparecimento de falhas com geometria e cinemática compatível com o campo de tensões de terceira fase. Foram identificadas três direcções principais para os acidentes de terceira fase: um sistema de direcção sensivelmente E-W, fortemente inclinado para Norte, correspondente a desligamentos esquerdos; um sistema próximo de N-S, subvertical, correspondente a desligamentos direitos; um sistema correspondente a cavalgamentos, de direcção NW-SE, inclinado 60 a 70 graus para NE. As atitudes medidas no terreno apontam para concentrações máximas respectivamente em torno dos valores N85W,85N, N5W,88E e N42W,65E, respectivamente. Observa-se ainda a presença, neste sector, de fendas de tracção contemporâneas da terceira fase, com preenchimentos de quartzo clorite e veios hidrotermais. A máxima concentração destas fendas corresponde à atitude N47E,88NW, a qual é reaproveitada, no período tardi e/ou pós-varisco, por falhas com características bastante frágeis.

Deformação Tardi-Varisca:

Nesta região merece apenas referência uma fracturação de direcção NE-SW, subvertical, que

frequentemente se assemelha a uma clivagem de fractura e que, tal como as fendas de tracção de terceira fase com atitude semelhante, parece ser aproveitada posteriormente por falhas frágeis, com geração de brechas e "fault gouge".

No sector cartografado os dados recolhidos para esta fracturação indicam a máxima concentração em torno do plano de atitude N45E;89NW.

TECTÓNICA ALPINA

Devido à falta de referências estratigráficas, numa região como a de Alqueva é extremamente difícil de estabelecer a cronologia dos eventos tectónicos alpinos. Para muitos acidentes reactivados no ciclo alpino, só é possível estabelecer uma cronologia relativa, apenas quando se observam relações de corte e interferências entre diferentes famílias de estruturas.

A caracterização dos sucessivos campos de tensões que afectaram a região durante o Alpino é também difícil de estabelecer com rigor, uma vez que a actividade tectónica mais recente é fortemente controlada pela orientação das fracturas preexistentes, de idade varisca. Estando a geometria da fracturação previamente imposta, a actividade tectónica alpina normalmente não apresenta uma relação simples com os padrões fracturação teóricos, esperados para as situações de ruptura em regime frágil.

No que se refere às reactivações mais recentes, eventualmente relacionadas com o actual estado de tensão da Crusta, existem algumas referências que permitem um estudo mais rigoroso mas mesmo assim, dada escassez de referências estratigráficas recentes (depósitos de cobertura, terraços fluviais), raramente se observam relações de corte que permitam a datação do último movimento nas falhas. Por outro lado, o clima temperado com tendência húmida leva a que os fenómenos erosivos tendam a destruir eventuais acidentes topográficos, rupturas superficiais relacionadas com sismos ocorridos num passado recente, como é o caso das escarpas de falha.

Uma dificuldade acrescida resulta ainda do facto da orientação do campo de tensões actual ser muito semelhante à dos principais eventos tectónicos passados (fase bética, fase tardi-varisca), tornando impossível distinguir as reactivações recentes das anteriores, apenas com base em critérios cinemáticos observados em falhas. Apesar destas dificuldades, a identificação de actividade tectónica em falhas, durante o Quaternário pode ser deduzida, nas situações em que as falhas são responsáveis por desnivelamentos da chamada superfície de aplanção da Meseta Ibérica. Esta referência geomorfológica está associada ao último longo período de estabilidade do nível do mar e tem uma idade aproximadamente coincidente com o limite Plio-Quaternário ($2 \pm 0,5$ milhões de anos). Nas situações em que se observam degraus nesta superfície coincidentes com falhas e, se estes não forem explicáveis por erosão diferencial, estamos perante uma situação em os últimos movimentos na falha foram posteriores à referida aplanção. A superfície da Meseta é uma importante referência para identificar movimentos verticais em falhas, durante o Quaternário, contudo não permite identificar movimentos do tipo desligamento.

Nos levantamentos de campo realizados na região de Alqueva, a metodologia seguida para a identificação das reactivações alpinas apoiou-se nas seguintes observações:

- a) Identificação de reactivações tardias que deformam as estruturas variscas;
- b) Observação de evidências de rupturas em regime frágil, brechificação na caixa de falha, com

- maior ou menor espessura de "fault gouge";
- c) Relação directa entre alguns acidentes e o relevo, existência de escarpas de falha, mais ou menos conservadas.

Nos trabalhos de campo foi dada particular atenção à estrutura conhecida por falha de Alqueva, que cruza o Rio Guadiana exactamente no local da barragem de mesmo nome. Esta falha, sub-paralela à de Vidigueira-Moura e inclinada igualmente para Norte, apresenta evidências de movimentação do tipo normal, tem expressão geomorfológica e é considerada um acidente secundário associado ao bloco levantado da falha de Moura (Silveira & Araújo, 1989; Silveira, 1990). Assim, os estudos de cartografia geológica detalhada, realizados à escala 1/5.000, centraram-se numa faixa de orientação grosseiramente E-W, com 15 a 16 km² (aproximadamente um rectângulo de 8 x 2 km) (fig. 2).

Na região estudada foram cartografadas numerosas falhas, com características frágeis e com orientações muito variadas, coincidentes com as atitudes dos vários acidentes de terceira fase e com a fracturação tardi-varisca, descritas anteriormente. Observa-se um predomínio das falhas com direcção E-W, inclinadas para Norte, correspondentes à reactivação do sistema de desligamentos esquerdos de terceira fase varisca. Além desta direcção, correspondente à máxima concentração de falhas, identificou-se uma outra família importante, coincidente com a atitude dos cavalgamentos de terceira fase (NW-SE, inclinados para NE). Uma terceira família, menos frequente, subvertical, N-S a NNW-SSE, resulta da reactivação dos desligamentos direitos de terceira fase.

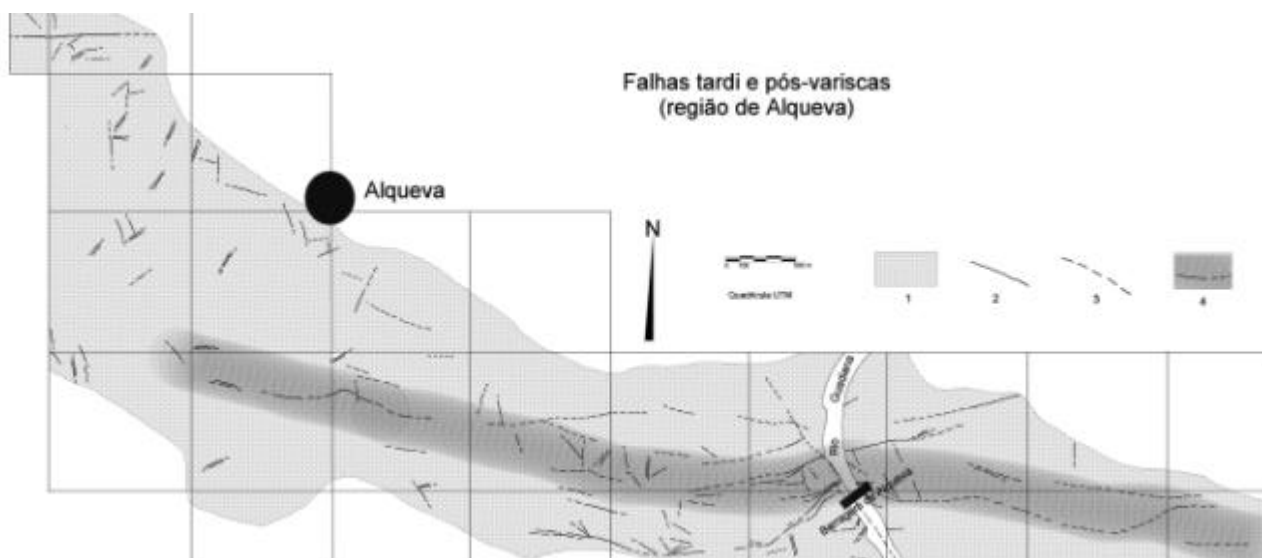


Fig. 2 – Esboço baseado na cartografia geológica detalhada realizada na região de Alqueva (adaptado de Araújo e Marques, 1997). 1 – Área cartografada; 2 – Falha; 3 – Falha interpretada, oculta; 4 – Zona onde predomina o sistema de falhas abrangido pela designação genérica de Falha de Alqueva.

Analisando em primeiro lugar os acidentes de direcção E-W, inclinados para Norte, atitude da Falha de Alqueva, verifica-se que uma particularidade digna de referência nestas falhas, é o facto de a maioria apresentar uma geometria irregular, com variações da direcção e da inclinação, apresentando igualmente frequentes ramificações. Um reflexo directo desta geometria é o facto de ao longo de um mesmo acidente se poder observar marcadas variações na espessura da sua caixa de falha e, conseqüentemente, na espessura do "fault gouge". As mudanças de atitude e o padrão irregular, às

escalas meso e macroscópica, das falhas, resultam, na nossa interpretação, de uma adaptação de novos campos de tensões às fracturas herdadas do Ciclo Varisco. Este padrão irregular e ramificado traduz igualmente, em nosso entender, uma cinemática do tipo falha normal, contrária à geometria mais regular das falhas inversas e/ou desligamentos. Apesar de em afloramento se observarem com frequência indicadores cinemáticos de movimentação inversa e de desligamento, herdados da sua actividade no passado, as zonas correspondentes às últimas reactivações apresentam pontualmente evidências de movimentação normal, compatível com o desnível topográfico associado a esta falha.

Podemos afirmar que há claramente um sistema principal de falhas, de direcção E-W a WNW-ESE, inclinadas para Norte, ao longo das quais se deram reactivações durante o período pós-varisco. Considerando a espessura das caixas de falha, a espessura do "fault gouge" associado, o facto da zona de maior fracturação coincidir com a base do relevo situado a Sul, a orientação deste acidente



Fig. 3 – Perfil topográfico de traçado ondulado, ao longo dos interflúvios, de direcção N-S (retirado de Silveira et al, 1997).

geomorfológico coincidir com a orientação dos planos de falha observados em afloramento e, o facto dos indicadores cinemáticos observados nas zonas em que se deram os últimos movimentos coincidirem com o movimento deduzido da análise do relevo (abatimento do bloco a norte da falha, figura 3), em nosso entender estão reunidas evidências suficientes para se afirmar que esta falha sofreu reactivação no Quaternário.

Fazendo uma breve referência aos outros acidentes presentes no sector, com atitudes claramente distintas dos descritos até ao momento, a grande maioria apresenta uma fraca expressão mesoscópica. Com efeito, a maior parte destes acidentes tem caixas de falha estreitas, com preenchimentos centimétricos de "fault gouge". Estes acidentes apresentam geralmente planos mais regulares, mantendo uma atitude constante, contrariamente ao sistema da Falha de Alqueva. Poderão ter alguma importância os acidentes de direcção NNW-SSE a NW-SE, quando são aproveitados como rampas laterais do sistema de Alqueva. Este mecanismo parece restringir-se apenas à zona da Barragem.

No extremo Oeste da região cartografada, parece passar a predominar uma fracturação de direcção N-S, marcada por algumas falhas com maior expressão mesoscópica. Neste sector observa-se também uma reactivação, em regime frágil de alguns acidentes com direcção NE-SW. Neste último sistema ocorrem estruturas indicadoras de uma cinemática do tipo normal mas não foi possível estabelecer com clareza a sua relação com a Falha de Alqueva. Apenas se constata pela cartografia, que o seu aparecimento ocorre na região onde a Falha de Alqueva deixa de ter expressão, tanto à escala

mesoscópica, como do ponto de vista geomorfológico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do presente estudo salientam-se os seguintes pontos:

- 1- As falhas cartografadas, correspondem a acidentes frágeis reactivados durante o Ciclo Alpino, herdados do Período Varisco;
- 2 - A anisotropia prévia, varisca, é responsável pelo facto de algumas rupturas alpinas se propagarem ao longo de mais de uma família de planos, com a geração de rampas e patamares, observados em corte e com variações das direcções, à escala macroscópica, em mapa;
- 3 - As falhas, que à escala mesoscópica apresentam maior evidência de reactivações pós-variscas, são sem dúvida as que se incluem no sistema de direcção aproximada E-W, inclinado para Norte, designado por sistema da Falha de Alqueva;
- 4 - O sistema de falhas de Alqueva, perde-se para Este numa região aplanada, sem afloramentos e sem contrastes litológicos que o permitam seguir e a Oeste, numa região com poucos afloramentos, onde parece passarem a predominar acidentes de direcção N-S e/ou NE-SW.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, A. (1989) - Estrutura de uma Geotransversal no Rio Guadiana entre Moura e Mourão. Tema de dissertação apresentado no âmbito das Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica do E.C.D.U. (art. 53/60), Departamento de Geologia, F.C.U.L., 92 pp.
- ARAÚJO, A. (1992) - Tectónica da Zona de Ossa-Morena. Carta Geológica de Portugal à escala 1/200000, notícia explicativa da folha 8. Coord. de J. T. Oliveira. Serv. Geol. Portugal, pp. 44-46.
- ARAÚJO, A. (1995) - Estrutura de uma Geotransversal entre Brinches e Mourão (Zona de Ossa Morena): Implicações na Evolução Geodinâmica da Margem Sudoeste do Terreno Autóctone Ibérico. Departamento de Geociências da Universidade de Évora. Dissertação apresentada à Universidade de Évora para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, na especialidade de Geologia Estrutural. 200 pp.
- ARAÚJO, A. & MARQUES, J. E. (1997) – Cartografia Geológica detalhada das estruturas frágeis da região de Alqueva. Relatório interno, ICAT, 42 pp.
- ARAÚJO, A.; MARQUES, J. E.; SILVEIRA, A. B.; CABRAL, J. & RIBEIRO, A. (1998) – Cartografia geológica de pormenor das estruturas frágeis da região de Alqueva. 4^a Conferência Anual do GGET'98, Geólogos n° 2, pp. 141- 145.
- ARAÚJO, A. & SILVEIRA, A. B. (1986) - Cartografia Estrutural e Neotectónica de um sector do Guadiana a Norte de Moura. Segundo Seminário da Associação Portuguesa de Fotogrametria e Detecção Remota.
- CABRAL, J. (1993) - Neotectónica de Portugal Continental. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, na especialidade de Geodinâmica Interna. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa - Departamento de Geologia.
- CARVALHO, A. M. G. & CARVALHOSA, A. B. (1970) - Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000. Notícia explicativa da folha 43-B Moura. Serv. Geol. Portugal.
- CARVALHOSA, A. B. (1967) - Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000. Notícia explicativa da folha 40-D Portel. Serv. Geol. Portugal.
- OLIVEIRA, J. T., coord. (1988) – Carta Geológica de Portugal à escala 1/200.000 (folha 8). Serviços Geológicos

- de Portugal.
- OLIVEIRA, J. T.; OLIVEIRA, V. & PIÇARRA, J. M. (1991) - Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa Morena, em Portugal. Cuadernos Lab. Xeoloxico de Laxe, Vol. 16, pp. 221-250.
- OLIVEIRA, J. T.; PEREIRA, E.; PIÇARRA, J. M.; YOUNG, T. & ROMANO, M. (1992) - O Paleozoico Inferior de Portugal: Síntese da estratigrafia e da evolução paleogeográfica. In J. C. Gutierrez-Marco, J. Saavedra & I. Rábano (eds.). Paleozoico Inferior de Ibero-América. Coord. M. J. Liso Rubio, universidad de Extremadura, pp. 359-375.
- RIBEIRO, A.; ANTUNES, M.T.; FERREIRA, M.P.; ROCHA, R.B.; SOARES, A.F.; ZBYSZEWSKI, G.; MOITINHO DE ALMEIDA, F.; CARVALHO, D. & MONTEIRO, J.H. (1979) - Introduction à la Geologie Générale du Portugal. Serv. Geol. Portugal, 114 pp.
- SILVEIRA, A. B. (1990) - Neotectónica e Sismotectónica da Região Vidigueira-Moura. Tema de dissertação apresentado no âmbito das Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica de E.C.D.U. (art. 53/60), Departamento de Geologia, F.C.U.L., 314 pp.
- SILVEIRA, A. B.; CABRAL, J.; ARAÚJO, A. & MARQUES, J. E. (1997) – Estudo Neotectónico e Sismotectónico da Falha de Alqueva. Relatório interno, EDIA, 119 pp.
- SILVEIRA, A. B. & ARAÚJO, A. (1989) - Tectónica recente a Norte de Moura - A Falha de Alqueva. Reunião do Grupo do Quaternário Iberico, Madrid, Set. 1989.
- SLEMMONS, D.B & MCKINNEY, R. (1977) – Definition of “Active Fault”. Miscellaneous Paper, S-77-8. U.S. Army Enginner Waterways Experiments Station, Vicksburg, Mississipi, 22 pp.
- TEIXEIRA, C. & GONÇALVES, F. (1980) - Introdução a Geologia de Portugal. Instituto Nacional de Investigação Científica, 475 pp.

CARACTERIZAÇÃO SISMOTECTÓNICA DA ZONA DE FALHA DE ALQUEVA

ANTÓNIO BRUM DA SILVEIRA*, JOÃO CABRAL*, ANTÓNIO RIBEIRO*

*Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa, Universidade de Lisboa,
Edifício C2, Campo Grande, Lisboa, Portugal.

INTRODUÇÃO

A zona de falha de Alqueva localiza-se no Alentejo, cerca de 5 km a norte de Moura. Com direcção geral WNW-ESE, afecta essencialmente rochas paleozóicas (xistos e metavulcanitos ácidos e básicos) de idade ordovícica a silúrica (Brum da Silveira e Araújo, 1989; Brum da Silveira, 1990; Brum da Silveira *et al.*, 1997, 1998). Corresponde a uma estrutura provavelmente gerada na terceira fase de deformação varisca, retomada nas fases tardi-variscas como cavalgamento esquerdo (Araújo, 1995). Foi reactivada, posteriormente, no Cenozóico.

Trata-se de uma zona de falha de traçado ramificado ou anastomosado, descontínuo, distribuindo-se por uma faixa de deformação que atinge cerca de 300 de largura e se estende por um comprimento de 7,5 km (Brum da Silveira *et al.*, 1997, 1998).

Na escala mesoscópica a zona de falha mostra inclinação geral para N, embora as descontinuidades que a constituem se apresentem sinuosas, em direcção e em inclinação, com caixas de largura muito variável, atingindo cerca de 2 m, frequentemente com *fault gouge* e onde se identificaram superfícies estriadas que permitiram caracterizar cinematicamente o acidente tectónico. Para além da movimentação tardi-varisca inversa esquerda, reconheceram-se duas cinemáticas pós-variscas também oblíquas, nomeadamente uma movimentação inversa direita e outra normal esquerda (Brum da Silveira e Araújo, 1989; Brum da Silveira, 1990; Brum da Silveira *et al.*, 1997, 1998).

EVIDÊNCIAS DE ACTIVIDADE NEOTECTÓNICA NA ZONA DE ZONA DE FALHA DE ALQUEVA

A zona de falha de Alqueva está marcada na topografia por um degrau morfológico voltado a norte, de

traçado rectilíneo, com um comando máximo de cerca de 110 m, que acompanha o traço cartográfico do acidente tectónico ao longo de cerca de 6,75 km. Este degrau morfológico não pode ser explicado por erosão diferencial, uma vez que é oblíquo à estrutura geológica regional, sendo interpretado como uma escarpa de falha directa, com escasso recuo erosivo, que separa verticalmente, num valor máximo de cerca de 50 m, uma superfície de erosão poligénica regional que sofreu importante retoque erosivo no final do Pliocénico-início do Plistocénico, designada por Superfície Fundamental fini-neogénica (Brum da Silveira e Araújo, 1989; Brum da Silveira, 1990; Brum da Silveira *et al.* 1997). A cinemática normal esquerda identificada nos *slickensides* estriados é correlativa da génese da escarpa.

A actividade neotectónica nesta falha (i.e. movimentação no intervalo de tempo correspondente ao final do Pliocénico e ao período Quaternário) é evidenciada apenas pela presença da escarpa de falha directa que lhe está associada, e que o rio Guadiana intercepta, possivelmente, por um processo de antecedência durante o Quaternário, uma vez que não se encontraram critérios estratigráficos de actividade nesta estrutura, ou seja, não se observaram evidências de formações geológicas plio-quaternárias directamente afectadas por movimentos no acidente tectónico.

MODELO GEODINÂMICO PROPOSTO - RELAÇÃO COM A FALHA ACTIVA DE VIDIGUEIRA-MOURA

A zona de falha de Alqueva localiza-se 2,5 km a norte de um importante acidente neotectónico regional, a zona de falha de Vidigueira-Moura. Esta estrutura, de orientação E-W, inclinada para N e com cerca de 65 km de extensão, corresponde a um cavalgamento esquerdo varisco reactivado no Cenozóico superior com movimentação inversa direita. Neste período destaca-se a fase de reactivação iniciada no Pliocénico superior e que se prolongou até à actualidade, na qual a superfície de erosão regional fini-neogénica foi deslocada 140 a 190 m, com levantamento do bloco N, condicionando a evolução geodinâmica da Bacia de Moura-Marmelar (Brum da Silveira, 1990; Brum da Silveira *et al.*, 1997).

O enquadramento da zona de falha de Alqueva relativamente à zona de falha de Vidigueira-Moura sugere uma relação estrutural entre os dois acidentes tectónicos — a componente de deslocamento normal na zona de falha de Alqueva resulta de deformação extensional imposta pela movimentação inversa no acidente tectónico principal de Vidigueira-Moura. A extensão é induzida por deformação tangencial longitudinal na crosta situada a tecto de uma rampa convexa na estrutura cavalgante (Brum da Silveira *et al.*, 1997, 1998).

O confinamento do levantamento neotectónico ao bloco limitado pelo acidente de Vidigueira-Moura e pela zona de falha de Alqueva, sugere que esta falha se enraíza naquela junto da base da rampa, na zona de transição para um horizonte de descolamento crustal que funciona como *flat* para a falha de Vidigueira-Moura. Esse enraizamento ocorre, assim, possivelmente numa das descontinuidades identificadas em dois perfis sísmicos efectuados na região estudada (Baptista e Contreiras, 1984; Matias, 1996), a cerca de 7 km e 10-10,5 km de profundidade.

ESTIMATIVA DA VELOCIDADE MÉDIA DE DESLIZAMENTO

A ausência de marcadores geológicos quaternários deslocados pela zona de falha de Alqueva permite

utilizar apenas a superfície de erosão regional finineogénica, cujo último retoque erosivo ocorreu, provavelmente, há cerca de 2,5 a 2 milhões de anos (Ma), como referência para caracterizar os últimos deslocamentos neste acidente tectónico.

Considerando-se uma separação vertical (sv) de 50 m (270 m – 220 m) produzida pela estrutura activa naquele marcador geomorfológico, calcula-se uma velocidade média de deslocamento na falha compreendida entre 0,020 mm/ano e 0,025 mm/ano, consoante se admita uma idade de 2,5 Ma ou 2 Ma para essa referência.

Contudo, introduzindo os dados mesoscópicos geométricos e cinemáticos no cálculo da velocidade de deslocamento na falha, obtêm-se valores mais correctos e conservativos. Considerando uma inclinação média do acidente tectónico de 50° e um vector de movimentação normal esquerda com um *pitch* de 45° W, é possível estimar um valor de deslocamento real (dr) na falha de aproximadamente 90 m. Tomando-se este valor, obtêm-se uma taxa média de deslizamento compreendida entre 0,036 mm/ano e 0,045 mm/ano, respectivamente, nos últimos 2,5 ou 2 Ma.

Note-se que estas velocidades de deslocamento consistem em valores médios referentes a um período de tempo longo, determinado pela idade de um marcador geológico regional (a Superfície Fundamental) que acumula a totalidade dos deslocamentos ocorridos neste intervalo. Não atendem, portanto, à provável heterogeneidade na distribuição dos deslocamentos ao longo do tempo (*clustering*), típica de ambientes tectónicos intraplaca, como o da região estudada.

ESTIMATIVA DO SISMO MÁXIMO NA ZONA DE FALHA DE ALQUEVA

A estimativa do sismo de magnitude máxima expectável que a zona de falha activa de Alqueva tem a capacidade de gerar foi efectuada com base em modelos empíricos de regressão log-linear entre magnitude de momento sísmico e parâmetros associados à ruptura na falha sismogénica, desenvolvidos por Wells e Coppersmith (1994).

Devido à ausência de sismicidade instrumental e ao desconhecimento da espessura da crosta sismogénica, só foi possível usar o comprimento de ruptura superficial (Crs) para fazer essa estimativa (Brum da Silveira *et al.*, 1997).

Assim, a magnitude do sismo máximo foi estimada com base em modelos de regressão $M \log Crs$ desenvolvidos por Wells e Coppersmith (1994). Para tal, considerou-se que a zona de falha de Alqueva, ao gerar o sismo máximo, sofre ruptura superficial em todo o seu comprimento identificado à superfície topográfica, pois não se reconheceram evidências de segmentação significativa do acidente. Tomaram-se, assim, dois comprimentos de ruptura superficial (Crs) máximos possíveis na zona de falha de Alqueva, nomeadamente, um comprimento de 7,50 km, fundamentado na cartografia geológica realizada, e um comprimento de 6,75 km, fundamentado na extensão da escarpa de falha.

Obteve-se uma magnitude de momento sísmico (M) máxima expectável, para uma probabilidade de excedência de 50%, compreendida entre 5,95 e 6,09, consoante o valor de Crs e o modelo de regressão utilizados. Atendendo ao intervalo de confiança de 95%, o valor máximo eleva-se para 6,19, para uma

probabilidade de excedência de apenas 2,5%. Note-se, no entanto, que, para valores de Crs próximos de 7,5 km, os dados analisados por Wells e Coppersmith (1994) referem-se principalmente a falhas inversas e de desligamento. A dispersão dos valores em torno da recta de regressão utilizada para determinar aquele valor máximo é fraca, embora se registre um sismo de magnitude 6,35 para uma ruptura superficial de apenas 6,25 km numa falha inversa (Wells e Coppersmith, 1994, Figura 9(a), p. 992).

ESTIMATIVA DO DESLOCAMENTO SUPERFICIAL CO-SÍSMICO NA ZONA DE FALHA DE ALQUEVA

Determinaram-se os deslocamentos superficiais co-sísmicos médio ($Dsme$) e máximo ($Dsma$) expectáveis na zona de falha de Alqueva, ao ocorrer ruptura superficial durante o sismo máximo gerado por esta estrutura, considerando-se os valores de magnitude obtidos acima e utilizando-se regressões inversas entre deslocamento de ruptura superficial médio ($Dsme$) ou máximo ($Dsma$) e magnitude de momento sísmico (M) desenvolvidas por Wells e Coppersmith (1994).

Obteve-se um $Dsme$ expectável em ruptura superficial na zona de falha de Alqueva compreendido entre 20 cm e 25 cm, para uma probabilidade de excedência de 50%. Salienta-se, contudo, a grande dispersão dos valores de $Dsme$ relativamente aos de M , particularmente na base de dados "todas as falhas" de Wells e Coppersmith (*op. cit.*), onde, para magnitudes próximas de 6, se assinalam valores de $Dsme$ compreendidos entre 10 cm e 80 cm, sendo, no entanto, a maioria dos deslocamentos mais elevados correspondentes a rupturas superficiais geradas em falhas inversas.

Os cálculos efectuados indicam um $Dsma$ co-sísmico na zona de falha de Alqueva compreendido entre 25 cm e 34 cm, para uma probabilidade de excedência de 50%. Também neste caso é grande a dispersão entre os valores de M e de $Dsma$, particularmente na base de dados "todas as falhas", onde, para magnitudes próximas de 6, se assinalam valores de $Dsma$ compreendidos entre 2 cm (falha de desligamento) e 2 m (falha inversa).

ESTIMATIVA DO INTERVALO DE RECORRÊNCIA DO SISMO DE MAGNITUDE MÁXIMA

A partir das estimativas do deslocamento total acumulado pela zona de falha de Alqueva nos diferentes períodos considerados é possível estimar o intervalo de recorrência do sismo máximo que este acidente tectónico é capaz de gerar, admitindo-se alguns pressupostos, nomeadamente, que a actividade sismogenética nesta falha segue um modelo de recorrência caracterizado pela repetição de um sismo característico correspondente ao sismo máximo expectável nesta estrutura (Schwartz & Coppersmith, 1984), de modo que o deslocamento acumulado à superfície topográfica resulta do somatório dos deslocamentos incrementais associados à ruptura superficial que ocorre em cada um destes sismos, e que o intervalo de recorrência é aproximadamente constante (modelo de recorrência perfeitamente periódico) e, portanto, a taxa de actividade da falha permanece constante no período de tempo envolvido em cada estimativa.

Assume-se, pois, que não há deformação superficial pela ocorrência de sismos mais pequenos, por deslizamento pós-sísmico ou por *creep*, de modo que as estimativas obtidas correspondem a valores

mínimos expectáveis. Assim, utilizando as estimativas do deslocamento total acumulado num período de 2 milhões de anos, e as estimativas do deslocamento superficial em cada evento sísmico máximo, estimou-se o intervalo de recorrência (I_r) do sismo máximo expectável nesta falha, pela fórmula: $I_r = \Delta t / n^\circ \text{ de eventos} = \Delta t / [(sv \text{ ou } dr) / (Dsme \text{ ou } Dsma)]$. Para um sismo máximo de $M=5,95$ o intervalo de recorrência está compreendido entre $4,4 \times 10^3$ e 10^4 anos, enquanto para um sismo máximo de $M=6,09$ o intervalo de recorrência se situa entre $5,3 \times 10^3$ e $13,2 \times 10^3$ anos (para $\Delta t=2 \text{ Ma}$).

IMPLICAÇÕES DO MODELO PROPOSTO NO COMPORTAMENTO SISMOGENÉTICO

A interpretação do movimento normal na zona de falha de Alqueva em relação com subida numa rampa convexa na zona de falha de Vidigueira-Moura implica o seu enraizamento a uma profundidade considerável (7 a 10 km?), conferindo-lhe características reológicas e dinâmicas capazes de gerarem sismicidade significativa.

Outra implicação deste modelo é que o deslocamento na zona de falha de Alqueva tende a ser máximo junto da superfície topográfica reduzindo-se progressivamente para a profundidade, anulando-se na rampa onde o acidente se enraíza, prevendo-se, pois, uma tendência para ocorrerem deslocamentos superficiais co-sísmicos particularmente elevados.

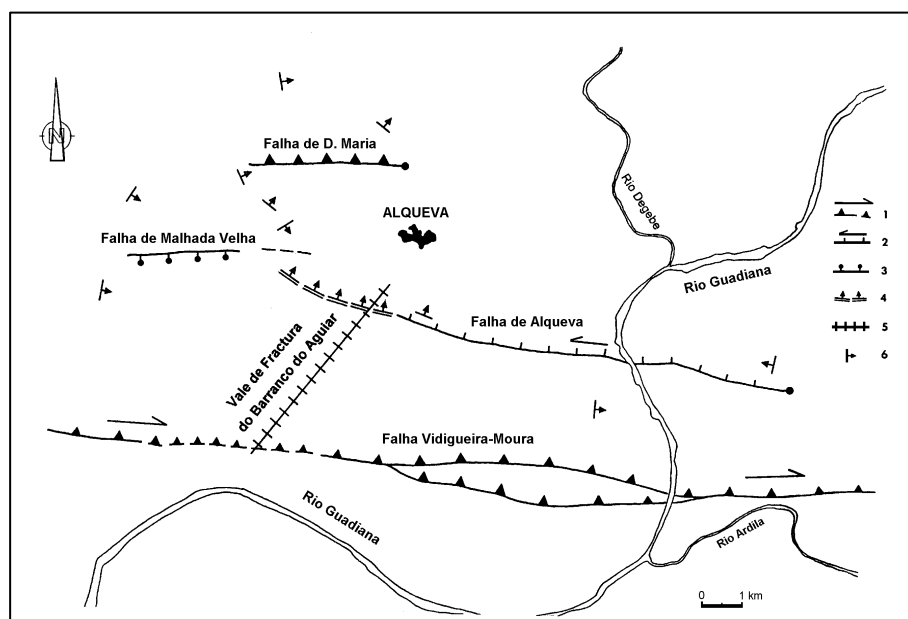


Fig. 1. Esboço das deformações neotectónicas na área de Alqueva. 1- falha inversa (denteado no bloco cavalgante), com componente de desligamento assinalada pela seta; 2- falha normal (denteado no bloco abatido), com componente de desligamento assinalada pela seta; 3- falha com componente de deslocamento vertical mas de geometria e cinemática desconhecidas (denteado no bloco deprimido); 4- flexura; 5- zona de fractura; 6- sentido de basculamento (Brum da Silveira *et al.*, 1997).

Vimos que o modelo adoptado explica a ocorrência de deslizamento normal na falha activa de Alqueva por efeito de deslizamento inverso na falha activa de Vidigueira-Moura. Mas esta dependência pode exprimir-se de dois modos:

- a) a zona de falha de Alqueva joga de modo assíncrono com a falha de Vidigueira-Moura; a queda de tensão durante um evento sísmico na falha principal altera o campo de tensões na escala quilométrica e pode favorecer ruptura na falha secundária num intervalo de tempo indeterminado; os ciclos sísmicos nas duas falhas estão desfasados;
- b) a zona de falha de Alqueva joga quase em simultâneo com a falha de Vidigueira-Moura, num sismo compósito em que os eventos individuais na sequência têm mecanismos diferentes. Para prever qual das hipóteses é a mais adequada será necessário estudar a microssismicidade e estimar a tensão *in situ*.

A zona de falha de Alqueva intercepta o vale do rio Guadiana no local escolhido para a implantação da barragem de Alqueva, levantando-se a possibilidade de ocorrência de sismicidade desencadeada (*triggered*); o carácter distensivo deste acidente facilitará a percolação de água em profundidade, até à sua zona de enraizamento na base da rampa na falha de Vidigueira-Moura, lubrificando esta estrutura activa numa zona de geometria irregular (com concentração de tensão) e a uma profundidade eventualmente favoráveis à nucleação de ruptura sísmica no acidente principal.

AGRADECIMENTOS

Estudo financiado pela Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva - EDIA, S. A. (protocolo com o Instituto de Ciência Aplicada e Tecnologia – ICAT) apoiado pelo Lab. de Tectonofísica e Tectónica Experimental – LATTEX. Ao Dr. Luís Matias agradece-se o apoio crítico prestado na estimativa dos parâmetros sismotectónicos; aos Drs. Alexandre Araújo e J. Espinha Marques agradecem-se o apoio nos trabalhos de campo e discussão dos resultados.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. (1995) — Estrutura de uma Geotransversal entre Brinches e Mourão (Zona de Ossa Morena): Implicações na Evolução Geodinâmica da Margem Sudoeste do Terreno Autóctone Ibérico. Dissertação de Doutoramento, Dep. de Geociências da Universidade de Évora. 200 pp.
- BAPTISTA, M. V. & CONTREIRAS, M. M. (1986) — Novos métodos de processamento de sinais sísmicos - aplicação à campanha do Alqueva. (Inédito), Relatório de estágio científico. Dep. Fís. Fac. Ciênc. Univ. de Lisboa. 93 p.
- BRUM DA SILVEIRA, A. & ARAÚJO, A. (1989) — A Falha do Alqueva: evidências de actividade neotectónica. Encontro sobre Sismologia e Engenharia Sísmica. *Com.Soc.Port.EngenhariaSísmica*, L.N.E.C. Lisboa, pp. 431-440.
- BRUM DA SILVEIRA, A. (1990) — Neotectónica e Sismotectónica da Região de Vidigueira-Moura, Dissertação apresentada em provas de aptidão pedagógica e capacidade científica, Dep. Geologia, Fac. Ciênc. de Lisboa, 204 p.
- BRUM DA SILVEIRA A., CABRAL, J., ARAÚJO A. & ESPINHA MARQUES J. (1997) — Estudo Neotectónico e Sismotectónico da Zona de falha de Alqueva. ICAT, FCUL, Relatório elaborado para a Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva - EDIA, S. A., 119 pp., 4 Anexos.
- BRUM DA SILVEIRA A., CABRAL, J., ARAÚJO A. & ESPINHA MARQUES J. (1998) — A zona de falha de Alqueva (Alentejo): um exemplo de falha activa normal em regime tectónico compressivo. *In*: H. I. Chaminé, A. Guerner Dias, M. A. Ribeiro e F. Sodrê Borges, Coords, 4^a Conferência Annual GGET'98, Porto, 1998, *Geologos*, Porto, 2, pp. 137-140

- MATIAS, L. (1996) — A Sismologia Experimental na Modelação da Estrutura da Crusta em Portugal Continental. Dissertação de doutoramento, Universidade de Lisboa.
- SCHWARTZ, D. P. & COPPERSMITH, J. K. (1984) — Fault behaviour and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and the San Andreas faults. *Jour. Geophys. Res.*, 89, pp. 5681-5698.
- WELLS, D. L. & COPPERSMITH, K. J. (1994) — New empirical relationships among magnitude, rupture area, and surface displacement. *Seism. Soc. Am. Bull.* 84, pp. 974-1002.

RESERVOIR-TRIGGERED SEISMICITY AND SEISMOTECTONICS

A. RIBEIRO

GEOFCUL and LATEX - FCUL

Man-made earthquakes (Simpson, 1986) are triggered or induced by irreversible changes in the stress state. The most important examples are triggering by reservoir impoundment. The temporal classification includes immediate, delayed and protracted seismicity (Talwani, 1997).

Immediate seismicity is due to elastic response to loading. Delayed seismicity is attributed to an increase in pore pressure due to the diffusion to hypocentral depths. Protracted seismicity is due to quasi-cyclic fluctuations of the water level, several years or decades after the impoundment.

All cases of reservoir triggered seismicity (Yeats et. al., 1997) indicate that the schizosphere is frequently in a state of self-organized criticality (Scholz, 1990; Grasso, 1993) within one Mega-Pascal of rupture. Immediate seismicity is independent of the stress environment, but delayed and protracted seismicity are favoured in normal fault and strike slip stress environments. Reservoir triggered seismicity is then a clear indicator of seismotectonic regime in the schizosphere.

O ASSOREAMENTO DE ALQUEVA E AS SUAS CONSEQUÊNCIAS

JOÃO SOROMENHO ROCHA

Laboratório Nacional de Engenharia Civil,
Av. Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal.

INTRODUÇÃO

Em Portugal, desde longa data, foi sentida a necessidade de construir barragens para a formação de albufeiras. Estas permitem reservar a água precipitada na estação húmida, que em Portugal pode concentrar cerca de $\frac{3}{4}$ do total anual, para a utilização na estação seca. O aumento da capacidade técnica permitiu a construção de cada vez maiores barragens, permitindo o aumento da capacidade de armazenamento. Deste modo, a possibilidade de reserva foi crescendo garantindo não só a reserva da estação húmida para a estação seca, mas também dos anos húmidos para os anos secos. Existem actualmente albufeiras com grande índice de regularização (capacidade da albufeira/afluência anual),, como é o caso das albufeiras do Alto Rabagão e do Alvito, em Portugal, e da Serena, em Espanha, com índices de regularização superiores a 3. O aproveitamento de Alqueva apresenta um índice de regularização de apenas 1,19 ($4150 \text{ hm}^3/3500 \text{ hm}^3$).

A construção das barragens tem um forte impacto no transporte de sedimentos nos rios, provocando quase sempre assoreamento da respectiva albufeira. Com a excepção do caso das barragens móveis, em aproveitamentos a fio de água, o armazenamento da água implica a retenção dos sedimentos no fundo da albufeira, numa percentagem elevada, mesmo nos armazenamentos com índices de regularização inferiores à unidade. Para maiores índices de erosão pode considerar-se que todos os sedimentos afluentes à albufeira ficam retidos. Em termos práticos, pode considerar-se que para índices de regularização superiores a 0,6 a retenção é total, BRUNE (1953).

Em Portugal, tem havido o reconhecimento da importância da avaliação do assoreamento das albufeiras, e das suas consequências. Desde de 1920 foi construída em Portugal cerca de uma centena de grandes barragens, cujas albufeiras têm capacidades entre 1 e 1000 hm^3 . Na década dos anos cinquenta, a Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos teve a preocupação de investigar sistematicamente o assoreamento das albufeiras, bem como a erosão a jusante das descargas das barragens. Incluída nesta investigação estava a observação dos mesmos assoreamentos, tendo sido efectuados alguns levantamentos desde 1958 a 1974. Em ROCHA (1976) reconhecia-se que as

observações eram insuficientes para formular conclusões seguras, mas pareciam evidenciar que os assoreamentos ocorridos tinham a importância suficiente para a manutenção da observação dos assoreamentos. ROCHA (1980) apresenta algumas recomendações sobre a análise do assoreamento de pequenas albufeiras, no projecto e exploração de pequenos aproveitamentos hidroeléctricos. Não se conhece um inventário preciso dos pequenos aproveitamentos mas estima-se em vários milhares o seu número, se não mesmo dezenas de milhares.

Os melhores locais para a implantação de barragens são um recurso natural valioso, e o seu número é limitado. Logo, na escolha de cada nova albufeira deve haver um especial cuidado na optimização do projecto. À medida que os locais forem sendo utilizados, a escolha de novos locais tornar-se-á cada vez mais difícil e, por isso, mais importante. Consequentemente, a perda de capacidade de uma albufeira, restringindo a sua utilização como reserva de água, é uma perda que se pode tornar duplamente irreversível.

Tendo em consideração a importância do assoreamento, em ICOLD (1989) são apresentadas recomendações para o controlo do assoreamento das albufeiras. Estas recomendações, que se destinam aos projectistas e aos operadores de barragens, já contêm, além dos clássicos três temas: 1) produção de sedimentos; 2) deposição dos sedimentos e 3) controlo da deposição; outros temas 4) efeitos secundários, nos quais se incluem as modificações da qualidade da água e os efeitos ecológicos.

PREVISÃO DO ASSOREAMENTO DA ALBUFEIRA DE ALQUEVA

Um dos modelos para estimar a erosão de uma determinada área da bacia hidrográfica é a equação universal de Wischmeier. Esta equação universal foi determinada para pequenos talhões de terreno e pequenas bacias homogéneas e a sua utilização em grandes bacias é muito trabalhosa. Para Portugal esta equação já tem sido utilizada em grandes áreas, nomeadamente em MAIA et al. (1985), em ROCHA (1989) e em SILVA e ROCHA (1989).

Outros tipos de estimativas também têm sido feitas, nomeadamente com as equações de Fournier, tendo sido apresentadas mapas de Portugal com os valores de erosão, como por exemplo, em COUTO e ROCHA (1986), GIORDANO et al. (1991), ROCHA (1993) e MARN (1994).

A previsão do assoreamento, efectuada em ROCHA e FERREIRA (1980), foi baseada nas equações de Fournier, já que a aplicação do outro método não seria praticável na bacia do rio Guadiana. Posteriormente, SEIA (1995), mantendo ainda um carácter expedito, foi feita uma estimativa utilizando dados de observação de assoreamento em três albufeiras espanholas, respectivamente: i) Cíjara no rio Guadiana; ii) Peña del Águila no rio Gévora; e iii) Valungo no rio Ardila.

A primeira das três barragens é a mais importante para o objectivo da determinação dos sedimentos afluentes à albufeira de Alqueva porque controla uma área da bacia com 24 354 km², ou seja, cerca de 44% da bacia afluente a Alqueva. A segunda, também situada a montante de Alqueva, controla apenas uma pequena área de 1 814 km², a que corresponde cerca de 3% da bacia afluente, e não pode, por isso, fornecer dados relevantes para extrapolação. Por último, a terceira controla uma área de 1 560 km², ou

seja, cerca de 32% da bacia do rio Ardila que é o principal afluente a jusante de Alqueva e a montante de Pedrogão. Esta terceira barragem permite uma razoável extrapolação para o cálculo da quantidade de sedimentos afluentes à albufeira do Pedrogão.

Em SEIA (1995) a estimativa da produção de sedimentos afluentes a Alqueva foi feita para um intervalo de valores plausíveis para a produção específica de sedimentos. O limite superior foi calculado com base no valor de assoreamento observado nas albufeiras espanholas. O limite inferior correspondeu a 50% do limite anterior, atendendo a que, para uma bacia maior, os valores dos factores de produção de sedimentos são geralmente inferiores. Essa estimativa conduziu ao intervalo entre um valor mínimo de $1,3 \times 10^6$ ton/ano e máximo de $2,6 \times 10^6$ ton/ano.

Atendendo à constituição geológica da bacia foi considerado que 50% dos sedimentos são areias e os restantes 50% argilas, obtendo-se, para cada uma das duas categorias granulométricas, os valores mínimo e máximo de, respectivamente, $0,65 \times 10^6$ ton/ano e $1,3 \times 10^6$ ton/ano.

Para efeitos práticos, também tem interesse estimar a afluência em material sólido ao braço do rio Degebe onde fica implementada a principal tomada de água do aproveitamento de Alqueva. Considerando que a área da bacia afluente deste braço é cerca de 1500 km^2 , já descontando a área controlada pelos aproveitamentos de Monte Novo e Vigia e considerando uma produção específica de $300 \text{ ton}/(\text{ano} \cdot \text{km}^2)$, prevê-se uma afluência média de $0,45 \times 10^6$ ton/ano. Por uma questão de segurança de cálculo admite-se que, para este afluente, todos os sedimentos são arenosos.

A análise do impacte do assoreamento é geralmente feita para um elevado período de vida útil das albufeiras. No presente caso, considera-se um período de 100 anos e apenas o valor superior da afluência de sedimentos obtido anteriormente. Tal premissa conduz aos seguintes valores de sedimentos retidos ao fim de 100 anos:

Sedimentos arenosos em Alqueva - 130×10^6 ton;

Sedimentos argilosos em Alqueva - 130×10^6 ton;

Sedimentos arenosos no Degebe - 45×10^6 ton.

A previsão da distribuição dos sedimentos depositados nas albufeiras pode ser feita a partir do modelo empírico de BORLAND (1971). Conhecidas a curva de volumes armazenados da albufeira ou, o que é o mesmo, a respectiva curva de capacidade, é possível determinar o tipo geométrico da albufeira, tendo em conta a inclinação da recta que representa essa curva em coordenadas logarítmicas. A partir do conhecimento do tipo de albufeira, designados I a IV, podem utilizar-se outras duas famílias de curvas empíricas que caracterizam a distribuição dos depósitos na albufeira e a cota atingida por estes junto à barragem.

A estimativa da quantidade de material sólido afluente a Alqueva foi efectuada em unidades de peso, enquanto que o assoreamento tem que ser apresentado em unidades de volume. Por isso, é necessário prever o peso específico aparente do material sólido depositado na albufeira, o que pode ser feito pelo método descrito em LANE e KOELZER (1943). O peso específico aparente dos depósitos é heterogéneo e depende principalmente da textura e dimensão das partículas constituintes, do grau de exposição ao ar, do peso da camada sobrejacente e do tempo que decorreu desde a sua deposição. Em primeira aproximação pode no entanto estimar-se o peso específico inicial dos depósitos na albufeira a

partir da percentagem de areia. Para um depósito de areia pode ser estimada em $1,5 \text{ t/m}^3$ o peso específico dos depósitos, com variações de $\pm 10\%$, entre $1,32$ e $1,62 \text{ t/m}^3$. Um depósito sem nenhuma areia pode ter um peso específico aparente entre os valores de $0,75$ e $0,95 \text{ t/m}^3$. De acordo com este método, o peso específico dos depósitos arenosos em Alqueva poderá ser da ordem de $1,5 \text{ ton/m}^3$ e o dos depósitos argilosos de $1,0 \text{ ton/m}^3$.

Obtêm-se assim os seguintes volumes de sedimentos depositados na albufeira de Alqueva no fim do período de 100 anos:

- Sedimentos arenosos na região de montante da albufeira - 87 hm^3 ;
- Sedimentos argilosos na região de jusante da albufeira - 130 hm^3 ;
- Sedimentos arenosos a montante do braço do Degebe - 30 hm^3 .

A soma destes volumes é de 247 hm^3 , valor ligeiramente inferior aos 284 hm^3 apresentados em ROCHA e FERREIRA (1980).

Verifica-se que, em percentagem, o volume de assoreamento ao fim de 100 anos corresponderá a apenas 6% da capacidade total da albufeira de Alqueva que é de $4\,150 \text{ hm}^3$. Desta forma, conclui-se que o assoreamento de Alqueva não levanta problemas importantes.

No que diz respeito aos depósitos de sedimentos argilosos, a consulta da curva de capacidade da albufeira permite concluir que o topo dos depósitos junto à barragem deverá situar-se, ao fim de 100 anos, à cota de 104 m . Como as cotas das soleiras de entrada nos descarregadores de meio fundo e da tomada de água para a central hidroeléctrica se situam, respectivamente, às cotas 92 m e $96,5 \text{ m}$, verifica-se que estes órgãos podem ficar assoreados antes da obra completar os 100 anos de vida útil.

Às cotas das soleiras dos descarregadores de meio fundo e tomada de água correspondem, pela curva de capacidade da albufeira na situação inicial, os volumes de 35 e 60 hm^3 , respectivamente. Considerando uma afluência anual de $1,3 \text{ hm}^3/\text{ano}$, os referidos órgãos começariam a ser afectados ao fim de 27 e de 46 anos, respectivamente.

A QUALIDADE DOS SEDIMENTOS DEPOSITADOS NA ALBUFEIRA DE ALQUEVA

Após a deposição, o comportamento dos depósitos é bastante diferente. Os materiais grosseiros apresentam muito maior estabilidade, com a manutenção das suas características no tempo e com uma difícil movimentação posterior. Pelo contrário, os depósitos de sedimentos finos apresentam uma evolução nas suas propriedades, havendo lugar a uma compactação no tempo, e podem ser muito mais facilmente postos em ressuspensão as camadas superficiais.

A diferença de comportamento das diferentes fracções granulométricas é muito importante no que diz respeito à qualidade da água. Com efeito, a fracção arenosa é inerte no que diz respeito aos fenómenos químico-biológicos e movimenta-se no fundo da albufeira, formando depósito com um avanço em forma de duna ou de delta. Pelo contrário, a fracção fina, especialmente a argilosa, pode apresentar comportamentos químico-biológicos muito distintos, em função da composição mineralógica das partículas e das propriedades da água dos rios afluentes e da albufeira, pode residir em suspensão por prolongados períodos, e deposita-se em extensas camadas horizontais por toda a albufeira. A sua

ressuspensão pode originar a introdução na água da albufeira de matérias químicas nocivas bastante tempo depois da sua entrada na albufeira, em que elas se mantinham confinadas apenas aos materiais sólidos que as veiculavam.

Como o material fino é aquele que pode conter uma elevada carga orgânica, a evolução biológica no seio dos sedimentos dependerá da situação dos depósitos e dos movimentos dos sedimentos, tornando muito difícil a compreensão de toda a cadeia biótica na albufeira.

CONSEQUÊNCIAS A JUSANTE DE ALQUEVA

Sabe-se que no rio Guadiana, a capacidade de transporte do escoamento é tal, que o transporte efectivo é, nas condições naturais e actuais, limitado pela produção de sedimentos, SEIA (1995). Para identificar e caracterizar com rigor os impactes decorrentes da construção de Alqueva, seria necessário conhecer o regime de exploração das barragens. De facto, dada a estreita relação entre caudais líquidos e caudais sólidos e tendo em conta que as cheias são as principais responsáveis pelo transporte de sedimentos, seria importante saber, por exemplo, em que medida é que as pontas de cheia são amortecidas.

No entanto, a influência da barragem de Alqueva, depois das reduções na alimentação em material sólido efectuados no passado, vem limitar de forma decisiva o acesso das areias ao trecho a jusante de Pedrógão. Apenas as areias produzidas na bacia intermédia até à foz continuarão a ser transportadas pelo rio. De qualquer forma, verifica-se que, mesmo assim, o volume de areias que seria possível transportar é da ordem da produção total de sedimentos na bacia em Alqueva.

Face à interrupção da alimentação em sedimentos, seria de esperar que as águas limpas efluentes de Alqueva entalhassem os terrenos a jusante. No entanto, como o leito do rio é constituído até às proximidades de Mértola por formações rochosas moldadas por caudais históricos muito elevados, não são de esperar degradações (erosões do fundo aluvionar) significativas a jusante da barragem de Pedrógão.

A UTILIZAÇÃO DA ALBUFEIRA DE ALQUEVA COMO MONITOR DO AMBIENTE

O objectivo principal da utilização dos depósitos da albufeira para a monitorização do ambiente é o de reconstituir séries de deposição e de variação da qualidade dos sedimentos afluentes, e daí inferir a variação temporal da erosão e das cargas poluentes na bacia hidrográfica. Com efeito, utiliza-se a albufeira como um integrador no tempo destes fenómenos espacialmente e temporalmente muito heterogéneos na bacia hidrográfica, tornando deste modo muito mais barata a sua determinação, do que aquela que se obteria integrando as medições efectuadas ao longo de toda a bacia hidrográfica.

Há duas situações diferentes para a execução de uma campanha de recolha de amostras de depósitos, com vista a efectuar a análise preconizada. Numa das situações, a mais frequente, a recolha é feita com os depósitos submersos. Nesta situação, poderão ser utilizados amostradores que recolhem tarolos suficientemente compridos para representarem o maior número de anos de deposição possível. Estes amostradores enterrar-se-ão facilmente, por gravidade, nos depósitos finos recentes, sendo tanto mais difícil quanto mais antigos forem as camadas subjacentes. As amostras têm geralmente um diâmetro relativamente pequeno, da ordem dos 2 a 5 cm, e comprimentos até 2 m.

A outra situação corresponde ao esvaziamento significativo da albufeira, quer por ocasião de obras na barragem ou nos órgãos de controlo, quer por ocasião de secas intensas. Neste caso poder-se-ão utilizar vários métodos de amostragem, e há mais facilidade em obter amostras maiores, e até por inspeção local, com abertura de poços e trincheiras.

Em ambas as situações, deverá ser desejável obter amostras em vários pontos da albufeira, escolhidos em função da maior probabilidade de se obter uma adequada integração dos parâmetros a observar, e para se averiguar da variabilidade geográfica, como acontece no caso de existirem vários braços na albufeira.

De um modo geral, o assoreamento vai paulatinamente reduzindo a capacidade de armazenamento da água, e conseqüentemente reduzindo o valor do aproveitamento. Pode utilizar-se, por analogia com outros fenómenos, uma definição de semi-vida útil (em anos), o tempo necessário para o volume útil reduzir para metade. Faz-se notar que o tempo necessário para assorear o volume total é inferior ao dobro do tempo da semi-vida útil.

A partir do índice de regularização e da concentração média dos sedimentos no escoamento afluente pode ser feita uma estimativa expedita da semi-vida útil de uma albufeira. No Quadro 1 apresentam-se os valores estimados.

A obtenção destes valores baseia-se na curva de Brune anteriormente referida, que permite estimar a eficiência para reter os sedimentos afluentes à albufeira. A retenção será praticamente de 100% para albufeiras com índice de regularização unitário e de 0% para aproveitamentos a fio-de-água com barragens móveis.

Índice de regularização	Concentração média dos sedimentos (mg/l)			
	250	1000	4000	16000
0,01	90	20	6	1
0,05	180	50	12	3
0,10	350	80	20	6
0,50	>500	350	80	20
1,00	>500	>500	180	40

Quadro 1 - Estimativa da semi-vida útil das albufeiras (anos)

Para Alqueva pode ser prevista uma semi-vida útil superior a 500 anos.

CONCLUSÃO

A importância das albufeiras na gestão dos recursos hídricos superficiais não necessita de demonstração. A presença de albufeiras, ao transformarem os rios em lagos, introduzem significativas mudanças nos escoamentos da água e na geomorfologia dos leitos aluvionares, provocando assoreamentos a montante, e eventuais degradações dos leitos dos rios a jusante.

O assoreamento das grandes albufeiras não é preocupante em Portugal. O assoreamento dos aproveitamentos com menores índices de regularização são os que podem apresentar mais problemas de assoreamento, implicando menores semi-vidas úteis, que nalguns casos poderão pôr em perigo a

rentabilidade económica do aproveitamento.

As albufeiras com maiores índices de regularização são as que poderão ser mais adequadas para uma monitorização ambiental, aproveitando a retenção de todos os sedimentos afluentes. A análise dos depósitos, da sua estratigrafia e da qualidade dos mesmos, poderá permitir uma análise retrospectiva da erosão e das cargas poluentes provenientes da bacia hidrográfica que alimenta a albufeira.

A análise da qualidade dos depósitos, principalmente os mais recentes, poderá ser útil para a análise da qualidade da água da albufeira, e por consequência, da qualidade da água abastecida a vários utilizadores.

O impacto do Empreendimento de Alqueva, na componente relativa à sedimentologia fluvial, envolve três grandes temas:

- i) a erosão e produção de sedimentos na bacia do rio Guadiana;
- ii) o assoreamento das albufeiras do sistema Alqueva;
- iii) o transporte sólido no rio Guadiana.

No que diz respeito à erosão e produção de sedimentos faz-se notar que na área de intervenção dos perímetros de rega, a adaptação das práticas agrícolas para a rega poderá afectar a erosão de sedimentos, se não se garantirem adequados procedimentos culturais. Todavia, o total da área de intervenção afluente à bacia do rio Guadiana, cerca de 678 km², é uma fracção relativamente modesta em relação à área total afluente ao mesmo rio, cerca de 20 800 km², descontando do total da área da bacia aquela que já é controlada por albufeiras. A influência de cerca de 3% da área, em face da gama de valores utilizados na estimativa das produções de sedimentos, com uma gama de 1 para 2, não alterará significativamente o balanço global dos sedimentos. É óbvio que, à escala local, cada área de intervenção poderá afectar negativamente, sempre que não se procure controlar a erosão, pelo eventual aumento de sedimentos a transportar nas linhas de água, e sequente depósitos mais a jusante.

Na albufeira de Alqueva haverá a predominância dos depósitos arenosos na parte superior da albufeira, ao passo que os sedimentos argilosos depositar-se-ão mais para o interior da albufeira não se prevendo que venham a afectar o funcionamento das tomadas de água situadas nas imediações da barragem. No que diz respeito à tomada da água no braço do rio Degebe, atendendo ao facto de os sedimentos arenosos depositarem-se na zona de montante, poderá eventualmente afectá-la.

O assoreamento na albufeira de Alqueva implicará uma diminuição da disponibilidade de sedimentos para jusante, dando origem a uma diminuição dos sedimentos afluentes à foz do rio Guadiana. Esta diminuição não terá qualquer influência na morfologia fluvial, podendo somente introduzir uma ligeira erosão do fundo na parte superior do estuário. Em qualquer situação a capacidade de transporte do trecho fluvial do rio Guadiana é superior à afluência de sedimentos.

REFERENCIAS

- BORLAND, W. - "Reservoir Sedimentation", in *River Mechanics*, Hsieh Wen Shen (Ed.), Fort Collins, Colorado (EUA), 1971, pp. 29-1 a 29-38.
- BRUNE, G. - "Trap Efficiency of Reservoirs". *Transactions American Geophysical Union*, **34**, 3, Junho 1953, pp.

407-418.

- GIORDANO, A., BONFILS, P., BRIGGS, D., SEQUEIRA, E., ROQUERO DE LABURU, C. e YASSOGLU, N. - "The Methodological Approach to Soil Erosion and Important Land Resources Evaluation of the European Community", *Soil Technology, A Cooperating Journal of CATENA*, **4**, 1991, pp. 65-77.
- ICOLD - *Sedimentation Control of Reservoirs. Guidelines*. Paris (França), International Commission of Large Dams, Bulletin 67, 1989.
- INAG - *Recursos Hídricos de Portugal Continental e sua Utilização*. Volume 1, Lisboa, Instituto da Água, Ministério do Ambiente, Dezembro 1995.
- LANE, E.W. e KOELZER, V.A. - *Density of Sediments Deposited in Reservoirs*. Report No. 9, A Study of Methods Used in Measurements and Analysis of Sediment Loads in Streams, Hydraulic Laboratory, University of Iowa City, Iowa (EUA), Novembro 1943.
- MAIA, M., FERREIRA, J.L. e ROCHA, J.S. - *Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (Fórmula de Wischmeier) para o Cálculo da Erosão da Ilha de Porto Santo*. Relatório 213/85-NHHF, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Maio 1985.
- MARN - *Plano Nacional da Política de Ambiente*. Ministério do Ambiente e Recursos Naturais, Lisboa, Novembro 1994.
- ROCHA, J.S. - *Estudo Sistemático dos Assoreamentos das Albufeiras*. Estudo realizado para a Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, 2º Relatório, Lisboa, Junho 1976.
- ROCHA, J.S. - *Assoreamentos de Pequenas Albufeiras Associadas a Centrais Eléctricas de Muito Pequena Potência*. Memória N° 540, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1980.
- ROCHA, J.S. - *Erosão na Serra do Algarve. Relatório Final*. Estudo realizado para a Direcção-Geral dos Recursos Naturais, Relatório 112/89-NHHF, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Setembro 1988.
- ROCHA, J.S. - *Estudo Preparatório para a Definição de Projectos de Ambiente Elegíveis no Contexto do Fundo de Coesão. Volume 7. Indicadores do Estado de Erosão do Solo*. Trabalho realizado para a Comissão das Comunidades Europeias. Relatório 100/93-NHHF, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Maio 1993.
- ROCHA, J.S. e FERREIRA, J.L. - *A Erosão Hídrica na Bacia do Rio Guadiana e o Assoreamento da Albufeira de Alqueva*. Memória N.º 541, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1980.
- SEIA - *Estudo integrado de impacte ambiental do empreendimento de Alqueva*. Volume XA - *Sedimentologia fluvial, Dinâmica Costeira*, Fevereiro, 1995.
- SILVA, A.M. e ROCHA, J.S. - *Estudo da Erosão Hídrica da Ilha de S. Miguel*. Estudo para a Secretaria Regional de Habitação e Obras Públicas da Região Autónoma dos Açores, Relatório 106/89-NHHF, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Março 1989.

IMPACTO ATMOSFÉRICO DA ALTERAÇÃO DO USO DO SOLOS NO ALENTEJO

RUI SALGADO

Centro de Geofísica de Évora e Departamento de Física da Universidade de Évora,
R. Romão Ramalho, 59, 7000 Évora, rsal@uevora.pt

INTRODUÇÃO

Nos últimos cem anos o aumento da produção agrícola à escala global exigiu o aumento da área cultivável, conseguido através da implementação de projectos de irrigação, por vezes de grande dimensão. O seu impacto no clima à escala regional é fonte de alguma incerteza e controvérsia, apesar de diversos estudos numéricos e observacionais apontarem para a existência de impactos na estrutura da camada limite planetária, nas circulações de mesoscala e na precipitação (e.g. Anthes 1984; Pielke et al., 1999).

A diminuição da temperatura da superfície e a alteração na partição dos fluxos de energia entre a superfície e a atmosfera, com o aumento do fluxo de calor latente em detrimento do de calor sensível, constituem os primeiros impactos atmosféricos do aumento da água no solo e da sua cobertura vegetal, decorrentes da irrigação. A magnitude dos efeitos depende, entre outros factores, das condições atmosféricas preexistentes, da dimensão da região irrigada e do seu contraste com o meio envolvente. Se a escala da perturbação for pequena, os gradientes horizontais nas variáveis atmosféricas desaparecem no interior da camada superficial. Em escalas maiores, as diferenças nos fluxos superficiais de energia e vapor de água podem gerar acentuados gradientes horizontais de temperatura e humidade que se mantêm até ao topo da camada limite atmosférica. Estes gradientes podem induzir circulações atmosféricas de mesoscala que, em condições sinópticas favoráveis, podem promover a formação de nuvens de desenvolvimento vertical. Finalmente podem esperar-se alterações no padrão da precipitação.

A existência de diferenças acentuadas na temperatura de superfície e nos fluxos superficiais de energia entre regiões irrigadas e a sua vizinhança está bem documentadas na literatura (e.g. Segal and Arritt, 1992). Diversos estudos numéricos e analíticos indicam que estas diferenças criadas por heterogeneidades em escalas de dezenas de km podem induzir circulações térmicas comparáveis às brisas do mar (e.g. Ookouchi et al. 1984; Mahfouf et al., 1987, Segal and Arritt, 1992). Outros estudos, também com modelos numéricos, mostram que a existência deste tipo de heterogeneidades pode ter influência na formação e evolução de nuvens e na precipitação (e.g. Lynn et al., 1998).

Não existem, no entanto, estudos observacionais que comprovem com clareza a existência de circulações tão intensas como as previstas numericamente, nem impactos tão elevados ao nível da

precipitação. Na maioria das situações potenciais, a não uniformidade das zonas irrigadas e a presença orografia complexa, reduz a intensidade deste tipo de circulações no mundo real. Ainda assim, existem alguns estudos que indicam que a intensificação da irrigação alterou as condições meteorológicas em várias zonas. Em particular, vários trabalhos mostram que após a implementação do Sistema Nacional de Água de Israel, responsável pela irrigação de uma grande área numa zona árida, o clima local sofreu alterações (e.g. Otterman et al., 1990). A irrigação de vastas áreas nas grandes planícies dos Estados Unidos oferece evidências adicionais de um aumento da precipitação decorrente deste tipo de alterações no uso dos solos (e.g. Schickedanz, 1976; Segal et al, 1998). Se em geral, estes e outros estudos observacionais, comprovam a existências de pequenas alterações nas variáveis meteorológicas locais – (diminuição da temperatura máxima, aumento da humidade e alteração do padrão do vento) - já quanto ao sentido do impacto na precipitação não há consenso, havendo mesmo alguns estudos que sugerem uma redução da precipitação em algumas zonas (e. g. Lohar e Pal, 1985, num estudo sobre a precipitação no período que antecede a monção no sudoeste da Índia).

Pela sua dimensão, o projecto de Alqueva, com a criação da albufeira de 250 km² e do plano de rega de 1700 km² é susceptível de afectar o clima regional. Neste trabalho apresentam-se os resultados de um conjunto de simulações com um modelo físico-matemático de mesoscala, através do qual se procuram estimar os aspectos mais relevantes das mudanças climáticas de escala regional associadas às alterações no uso do solo:

- a) Impacto nos fluxos de energia e de vapor de água da superfície para a atmosfera e os seus efeitos no desenvolvimento da baixa atmosfera;
- b) Alterações das circulações atmosféricas de escala local/regional em condições de verão quente e seco, condições onde são de esperar os maiores impactos;
- c) Alterações na distribuição espacial dos campos das variáveis meteorológicas mais relevantes (Temperatura e humidade e vento) junto à superfície, e o seu impacto no conforto humano;
- d) Impacto na precipitação de primavera/verão.

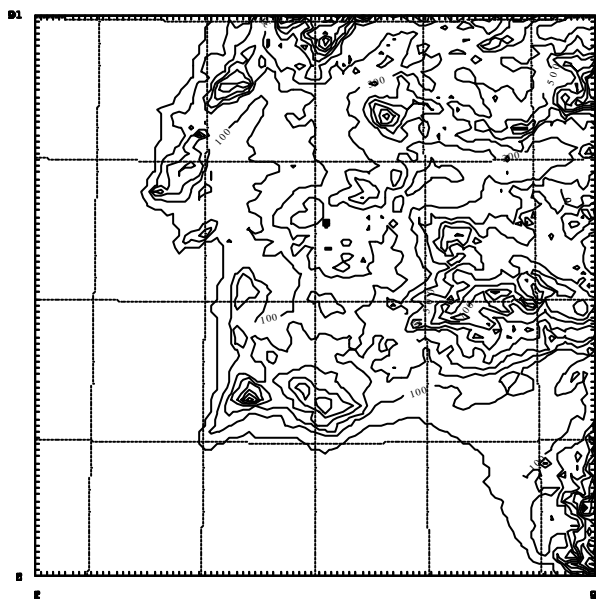


Figura 1 Domínio horizontal das simulações e a orografia da região com isolinhas de 100 em 100m (resolução de 5km). O ponto a negro no centro do domínio indica a localização do local de lançamento das radiosondagens, próximo da cidade de Évora

O MODELO MESO-NH E AS CARACTERÍSTICAS DAS SIMULAÇÕES

Neste estudo foi utilizado o modelo MESO-NH, um modelo atmosférico desenvolvido no Centre National de Recherches Météorologiques (Météo-France). O MESO-NH é um modelo numérico capaz de simular as circulações atmosféricas em diversas escalas, desde a mesoscala-alfa até à microscala, e que contém parametrizações físicas bastante completas e um conjunto de ferramentas para a preparação de estados iniciais, quer idealizados quer interpolados a partir de análises ou previsões de modelos de previsão do tempo.

Uma descrição detalhada do modelo pode ser encontrada em Lafore et. al. (1998). O “pacote físico” inclui a descrição de diversos processos e alguns diferentes esquemas de os representar numericamente. As características gerais do modelo, bem como as parametrizações utilizadas no presente trabalho estão sumariadas na tabela 1. Todas as simulações apresentadas foram realizadas sobre o domínio de 450 x 450 km² representado na Figura 1 que compreende o sudoeste da Península, e com uma resolução horizontal de 5km. Na vertical foram considerados 40 níveis entre a superfície e até cerca de 20 km, a maioria dos quais na baixa troposfera, com o primeiro nível termodinâmico aproximadamente a 10m do solo. Os campos atmosféricos foram inicializados e forçados a partir das análises do ARPEGE, o modelo francês de previsão do tempo.

Para gerar os campos superficiais dos diversos parâmetros necessários à integração do modelo recorreu-se às seguintes bases de dados: GTOPO30 do U.S. Geological Survey, para a topografia (Figura 1), com uma resolução de 30'; o mapa digital de solos da FAO para a textura e profundidade dos solos; a base de dados ecoclimap (Masson et al., 2002), baseada, sobre a Europa, na informação CORINE LAND COVER e em dados satélite e climatológicos, para os parâmetros dependentes da vegetação (LAI – índice área folhear, albedo, comprimento de rugosidade, etc). Para introduzir as alterações na superfícies decorrentes do plano de rega do empreendimento de Alqueva foram utilizados os dados utilizados por Miranda et al. (1995) no respectivo estudo do impacte ambiental.

SIMULAÇÃO DE UM DIA TÍPICO DE VERÃO: 24 DE JULHO DE 1998

De 16 a 31 de Julho de 1998 decorreu na região em estudo uma campanha intensiva de observações meteorológicas em superfície e em altitude, no âmbito do projecto CICLUS (Climate Impact of Changes in Land Use). Dados desta campanha foram utilizados para validar os resultados da experiência apresentada neste parágrafo. O dia 24 de Julho foi seleccionado por ser um dos mais bem documentados do período, incluindo a realização de radio-sondagens de 3 em 3 horas sobre Évora.

Características gerais:	
Sistema de equações	Não hidrostático. Aproximação pseudo incompressível do sistema de equações anelástico (Duran, 1989)
Sistema de coordenadas e discretização	Grelha horizontal assente numa projecção conforme; Coordenada vertical de Gal –Chen e Sommerville; Utilização do sistema grelhas deslocadas do tipo C de Arakawa (1976)
Condições fronteira laterais	Radiativas
Parametrizações físicas:	
Nuvens e precipitação	Explícito (Kessler, 1969), com 3 variáveis de prognóstico: vapor, água líquida e precipitável.
Convecção	Kain e Fritsch (1993).
Camada limite planetária	Evolução da energia cinética turbulenta de Bougeault e Lacarrère (1989).
Interação superfície-atmosfera	Modelo ISBA de Noilhan e Planton (1989) sobre as superfícies vegetais; modelo TEB de Masson (2000) sobre as superfícies urbanas; parametrização de Charnock (1955) do comprimento de rugosidade sobre as superfícies de água.
Radiação	Modelo do Centro Europeu de Previsão do Tempo (Mocrette, 1989)
Difusão horizontal	Operador ∇^4

Tabela 1 Características do Modelo

A situação sinóptica prevalecente neste dia pode ser considerada típica para um dia de verão sobre a



Figura 2 Resultado da simulação: trajectórias (01 UT – 18 UT) das parcelas de ar que atingem a vertical sobre Évora às 18 UT a diversos níveis, indicados na figura.

Península, caracterizada pela presença de uma depressão térmica na baixa atmosfera centrada no sudoeste da Península (aproximadamente sobre a região de Sevilha) e, em altitude, pela existência de uma corrente de oeste, afectada pelo anticiclone do Açores que se estendia pelo mar Cantábrico.

Os resultados foram comparados com os dados observacionais quer das estações de superfície, quer dos recolhidos pelas sondas de altitude. Os campos horizontais da temperatura e da humidade relativa aos 2m preditos pelo modelo mostram um bom acordo com os valores observados na rede de estações de superfície (não se mostra).

Os perfis, observados e simulados, da Temperatura potencial e da humidade específica sobre Évora, a diversas horas, estão representados na Figura 3. Como se pode ver, o modelo reproduz bem a estrutura térmica da camada limite planetária (CLP), a sua profundidade e a sua evolução. É de notar que os resultados da simulação não hidrostática estão qualitativamente mais próximos dos dados observados que os dados da análise de larga escala utilizados no forçamento desta experiência (não se mostra).

O perfil da humidade específica também confirma a capacidade do meso-nh em representar a CLP observada. O perfil observado mostra a existência de uma fina camada muito seca a uma altitude aproximada de 1,3 km, acima da qual existe uma camada relativamente húmida. Esta característica prevalece durante todo o dia e não está representada na análise de larga escala. Como a figura mostra, o modelo tende a representar este efeito, ainda que de forma relativamente grosseira.

Esta forma dos perfis verticais está associada à interacção complexa entre o sistema da brisa do mar, a orografia, o desenvolvimento da CLP forçada pelos intensos fluxos de calor sensível e a circulação ciclónica centrada no interior da Península. A camada seca é o resultado da advecção de ar seco proveniente do centro da Península pela circulação associada à depressão térmica, como se pode observar na Figura 2. A camada mais húmida é mantida por parcelas de ar que seguem as trajectórias 6

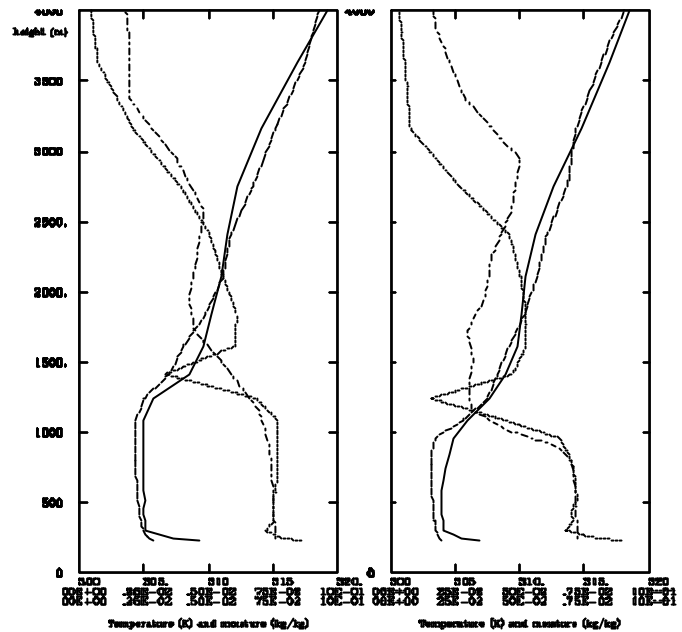


Figura 3 Perfis verticais da temperatura potencial observada (linha contínua) e simulada (linha tracejada) e da razão de mistura observada (linha pontuada) e simulada (linha com ponto-traço) sobre Évora às 15 UT (esquerda) e às 18 UT (direita)

a 8 da Figura 2 e que tem a sua origem sobre o Oceano Atlântico.

Esta simulação permitiu caracterizar a circulação atmosférica num típico dia de verão e as condições meteorológicas que lhe estão associadas. Em particular, a importância da advecção de ar marítimo, forçada pela corrente de Noroeste associada à depressão térmica a que se soma o ciclo diário da brisa de mar, cujos efeitos são sentidos até cerca de 100 km para o interior da terra.

CASO IRRIGADO

Para simular o impacto da irrigação num dia característico de verão, efectuou-se uma nova experiência numérica com o modelo, mantendo as mesmas condições atmosféricas de larga escala, quer na inicialização que no forçamento, alterando as características da superfície, de acordo com as previsíveis alterações decorrentes da albufeira e do perímetro de rega de Alqueva. Considerou-se o caso extremo, i.e., a situação em que a albufeira se encontra à cota máxima de 152m e a zona que se projecta irrigar se encontra de facto sobre o efeito da rega. O mapa da fracção de irrigação à resolução de 5x5 km² está representada na Figura 4. Admitiu-se que nas zonas irrigadas o conteúdo em água do solo seria o igual ao do valor da capacidade de campo. Os valores dos parâmetros dependentes da vegetação foram fixados: LAI = 4 (m²m⁻²); veg= 1.0; R_{min}= 10 s m¹; z₀ = 0.3 m. Para cada célula parcialmente irrigada da grelha superficial do modelo, o valor de cada um destes parâmetros bem como o da água no solo foi obtido por média aritmética pesada entre o valor actual e o fixada para a fracção irrigada. Os impactos atmosféricos foram avaliados por comparação dos resultados desta experiência com o dos resultados da experiência de controle apresentada no parágrafo anterior. Sumariamente, esta comparação indica que:

- (a) O decréscimo da temperatura máxima do ar aos 2m pode exceder os 6° na zona central do domínio irrigado (Figura 4);
- (b) A humidade relativa do ar pode aumentar em cerca de 30% na mesma zona;
- (c) A perturbação afecta toda a CLP, cuja altura pode baixar de cerca de 1300 m para cerca de 900 m;
- (d) Estes efeitos poderão fazer sentir-se para além da zona irrigada, afectando uma região de algumas dezenas de km, para jusante do ponto de vista do escoamento atmosférico.
- (e) O aumento do fluxo de calor latente na zona perturbada pode ser da ordem dos 400 Wm⁻² às 15H;
- (f) É provável um impacto não negligenciável no vento à superfície – uma circulação térmica, tipo brisa do mar, é visível no campo do vento, com a geração de zonas de convergência à superfície nas fronteiras da região irrigada;
- (g) Neste caso de estudo, o aumento da evaporação e a indução de correntes convectivas não são suficientes para a formação de nuvens, muito menos de precipitação.

Com o objectivo de alargar a análise aos vários regimes de tempo que se observam durante o fim da Primavera e o Verão, e na impossibilidade técnica de lançar experiências sazonais, optou-se por realizar um conjunto de pares de simulações de casos reais representativos, cada um deles, de uma classe dos estados de tempo que ocorrem entre Abril e Outubro. Nesse sentido efectuou-se uma classificação objectiva (em 10 classes) com base na série temporal de 15 anos das análises diárias do ECMWF do campo do geopotencial aos 850 hPa.

IMPACTO NA PRECIPITAÇÃO

A classificação descrita anteriormente não permitiu isolar uma classe de tempo onde predominem os dias com precipitação, o que está associado ao facto de a precipitação de verão ser, em média, escassa e de apresentar uma elevada variabilidade inter-anual. Assim, não é possível, ao menos por esta técnica, seleccionar dias representativos de situações sinópticas que favoreçam a convecção. Optou-se assim, como uma primeira aproximação ao problema, por seleccionar um conjunto de “dias convectivos” através da análise subjectiva de imagens satélite. Consideraram-se dias convectivos aqueles em que eram visíveis nuvens de desenvolvimento vertical (cúmulos). Foram analisadas as imagens NOAA dos dias de verão (Maio a Agosto) dos anos da campanha CICLUS (1998 e 1999). De entre a primeira selecção isolaram-se 3 casos que foram simulados e cujos resultados se apresentam neste trabalho: 02/06/1998 13/07/99 e 27/07/99.

Como se pode observar na Figura 6, para o caso do dia 13/07/99, o padrão da precipitação simulada é semelhante ao do das nuvens convectivas presentes na imagem satélite (Figura 5). O mesmo ocorre nos outros 2 casos, existindo em todos uma boa correlação entre a evolução e a localização das nuvens simuladas e as observadas (não se mostra).

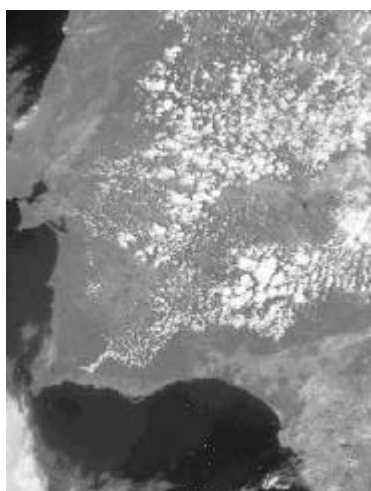


Figura 5 Imagem NOAA (Visível) em 13-07-1999 às 15:35

Na Figura 7 está representada a anomalia da precipitação acumulada (00 - 18 UT) nesse dia entre as simulações com e sem irrigação. Nota-se que há uma ligeira alteração na distribuição espacial das nuvens, com zonas em que a precipitação aumenta e outras em que diminui, sendo que no conjunto do domínio há um ligeiro aumento da precipitação. A mesma conclusão pode ser retirada da análise dos outros 2 casos. De notar ainda que há zonas afectadas a distâncias consideráveis da região irrigada.

Uma síntese dos resultados está contida na Tabela 2. Nota-se uma tendência para um aumento da precipitação da ordem dos 2% a 3%. Este baixo valor, associado ao também reduzido número de simulações e ainda à igualmente reduzida precipitação na região nesta época, aponta para que o efeito do empreendimento de Alqueva na precipitação convectiva de verão, a existir, será positivo, mas marginal.

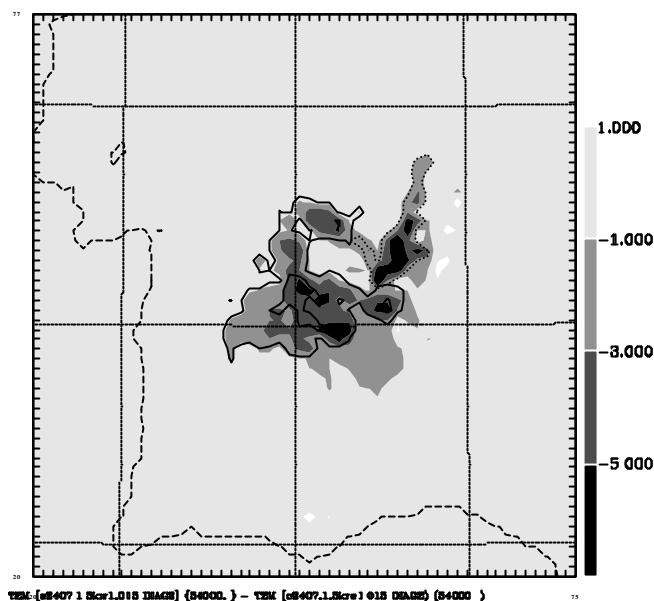


Figura 4 Diferenças na temperatura do ar aos 2 m entre a simulação com irrigação e a simulação de controle às 15 UT (escala de cores). Fracção de irrigação: isolinhas de 0.1 e 0.5 (linhas contínuas). A linha a tracejado representa o limite da albufeira de Alqueva na resolução considerada.

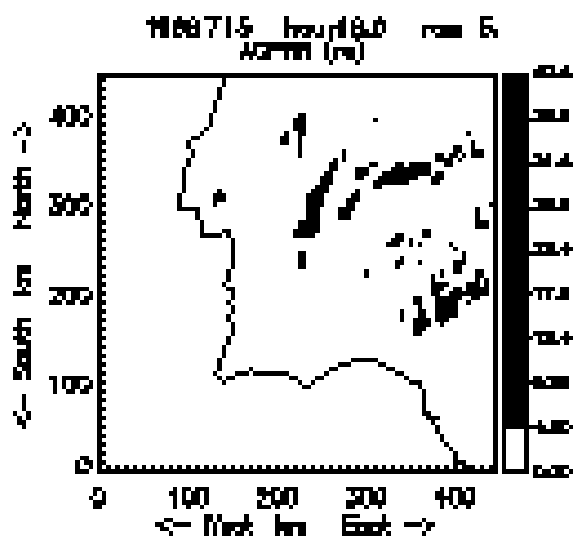


Figura 6 Simulação 13/07/99, caso de referência:
precipitação acumulada das 00 às 18 UT

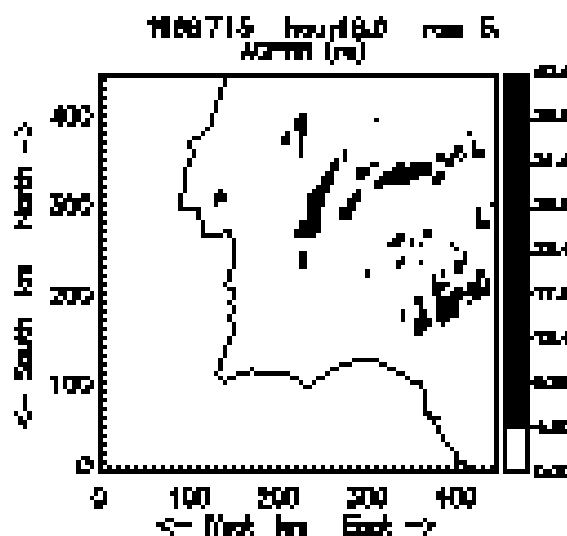


Figura 7 Simulação 13/07/99: anomalia da
precipitação acumulada das 00 às 18 UT

Dia da simulação	Caso de referência Precipitação acumulada (10^7 m ³)	Caso com irrigação Precipitação acumulada (10^7 m ³)	Incremento (%)
27-07-99	6.60	6.74	2.1%
13-07-1999	10.66	11-05-02	3.6%
02-06-1998	3.74	3.80	1.5%

Tabela 2 Precipitação acumulada nas experiências convectivas de verão

REFERÊNCIAS

- Anthes, R. (1984): Enhancement of Convective Precipitation by Mesoscale Variations in Vegetative Covering in Semiarid Regions. *J. Clim. Appl. Meteor.*, 23, 541-554.
- Bougeault, P. and Lacarrère, P. (1989): Parameterization of orography-induced turbulence in a meso-beta-scale model. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 1872-1890
- Gal-Chen, T. and R. C. J. Somerville, 1975: On the use of a coordinate transformation for the solution of the Navier-Stokes equations. *J. Comput. Phys.*, 17, 209-228.
- Schickedanz, P. T., 1976: The effect of irrigation on precipitation in the Great Plains. NSF-RANN, Grant GI-43871, Final Report, Atmospheric Science Section, Illinois State Water Survey, Urbana, IL, 105 pp.
- Kessler, E., 1969: On the distribution and continuity of water substance in atmospheric circulations. *Meteor. Monogr.*, 32, Amer. Meteor. Soc., 84 pp.
- Lafore, J. P., J. Stein, N. Asencio, P. Bougeault, V. Ducrocq, J. Duron, C. Fischer, P. Hereil, P. Mascart, J. P. Pinty, J. L. Redelsperger, E. Richard, and J. Vila-Guerau de Arellano (1998): The Meso-NH Atmospheric Simulation System. Part I: Adiabatic formulation and control simulations. *Ann. Geophys.*, 16, 90-109.
- Lohar, D., B. Pal, 1995: The Effect of Irrigation on Premonsoon Season Precipitation over South West Bengal, India. *Journal of Climate*, 8, No. 10, 2567- 2570.
- Lynn, Barry H., Wei-Kuo Tao, Peter J. Wetzell, 1998: A Study of Landscape-Generated Deep Moist Convection. *Monthly Weather Review*: 126, No. 4, 928-942.
- Mahfouf, J.-F., E. Richard, and P. Mascart, 1987: The influence of soil and vegetation on the development of mesoscale circulations. *J. Climate Appl. Meteor.*, 26, 1483- 1495.

- Masson, V., 2000: A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. *Boundary-Layer Meteor.*,94, 357-397.
- Miranda, P., F. Abreu e R. Salgado (1996): Estudo do Impacto Ambiental do Alqueva (Relatorio final). Relatório técnico do ICAT.
- Morcrette, J.(1989): Description of the radiation scheme in the ECMWF model. ECMWF Tech.Memo.165,26 pp.
- Noilhan J. and S. Planton (1989): "A simple parameterization of land surface processes for meteorological models". *Mon. Wea. Rev.*, 117, 536-549.
- Ookouchi, Y., M. Segal, R. C. Kessler, R. A. Pielke, 1984: Evaluation of Soil Moisture Effects on the Generation and Modification of Mesoscale Circulations. *Monthly Weather Review*: 112, 11, pp. 2281-2292.
- Otterman, J., A. Manes, S. Rubin, P. Alpert, and D. O.C. Starr, 1990: An increase of early rains in southern Israel following land use change? *Bound.-Layer Meteor.*,53, 333- 351
- Pielke, R. A., R. L. Walko, L. T. Steyaert, P. L. Vidale, G. E. Liston, W. A. Lyons and T. N. Chase, 1999: The Influence of Antropogenic Landscape Changes on Weather in South Florida, *M. W. R.*, 127, 1663-1673.
- Segal, M. E. Arrit, R. W., 1992, Non Classical Mesoscale Circulations Caused By Surface Sensible Heat-Flux gradients, *bulletin of Am. Meteo. Soc.*, 73 – 10, 1593
- Segal, M., Z. Pan, R. W. Turner, E. S. Takle, 1998: On the Potential Impact of Irrigated Areas in North America on Summer Rainfall Caused by Large-Scale Systems. *Journal of Applied Meteorology*: 37, No. 3, 325-331.

**O CONTRIBUTO POTENCIAL DA ÁGUA COMO FACTOR DE PRODUÇÃO NO
RENDIMENTO DAS EMPRESAS AGRÍCOLAS DA INFRA-ESTRUTURA 12 DO
PERÍMETRO DE REGA DE ALQUEVA**

DE SOUSA FRAGOSO, RUI MANUEL

Departamento de Gestão de Empresas, Universidade de Évora rfragoso@uevora.pt

RESUMO

O Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva irá dotar a Região Alentejo de uma reserva estratégica de água capaz de permitir o regadio de 110 mil hectares, o abastecimento urbano-industrial e a produção de energia hidro-eléctrica. Um dos principais problemas que se coloca à valia agrícola é determinação do preço real da água no regadio, i.e., a análise das implicações no bem estar decorrentes da construção das novas infra-estruturas de regadio. Tendo em conta esta problemática, neste trabalho pretende tenta-se determinar o contributo potencial da água como factor de produção no rendimento das empresas agrícolas do bloco de rega da infra-estrutura 12 do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva. Para o efeito desenvolveram-se modelos económicos de programação estocástica discreta com maximização da função de utilidade do produtor adaptados às características dessas empresas. Os resultados permitem concluir que é possível valorizar a água do regadio de Alqueva a níveis superiores ao custo de investimento e de exploração da rede secundária e da bombagem da água e próximos do seu custo de aplicação.

Palavras Chave: regadio; Alqueva; programação estocástica; utilidade esperada; valor económico da água.

INTRODUÇÃO

A realização do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA) irá permitir dotar o Alentejo de uma reserva estratégica de água e das infra-estruturas necessárias para garantir: i) a regularização do rio Guadiana do lado português, como forma de atenuar as secas prolongadas; ii) o abastecimento de água às populações do Alentejo e, eventualmente, à península de Setúbal, ao sotavento algarvio e à

baixa da Andaluzia em Espanha; iii) o regadio de 110 mil hectares nos melhores solos do Alentejo, como forma de aumentar a produtividade agrícola e de revitalizar o sector; e iv) a produção de energia hidro-eléctrica. Pela sua dimensão e complexidade de execução, destacam-se como principais obras do EFMA a barragem de Alqueva com uma capacidade útil de 3.15 mil Hm³, as redes primárias e secundárias de distribuição de água e a central hidro-eléctrica.

Um dos principais problemas que se coloca ao aproveitamento da água no perímetro de rega de Alqueva é a determinação dos benefícios daí decorrentes, ou seja, o contributo potencial da água como factor de produção no rendimento das empresas agrícolas. Em termos teóricos atinge-se a eficiência económica quando o valor da água iguala o seu custo marginal, resultando o custo total da água do seu custo económico de aplicação e das externalidades ambientais, geralmente relacionadas com a saúde pública e com a manutenção dos ecossistemas. Por sua vez, o custo económico de aplicação da água inclui os custos de capital e de exploração das infra-estruturas hidráulicas, como os sistemas de captação, de armazenamento, de distribuição e de transporte de água e o custo de oportunidade que está relacionado com os usos alternativos do recurso e com as externalidades impostas a outros agentes.

Na agricultura de regadio a água é tida como um factor de produção, daí as técnicas de valorização económica basearem-se frequentemente na teoria da produção na óptica da procura de factores. O problema consiste em analisar as implicações no bem estar decorrentes do aumento ou da diminuição da utilização de um factor. A procura de um factor é dada pelo valor da sua produtividade marginal (VPm), que pode ser obtida de uma forma aproximada através de métodos contabilísticos residuais, de preços endógenos ou do custo marginal (Young, 1996). O método residual é o mais utilizado e baseia-se no contributo relativo de cada factor para a produção. Admitindo que existem preços de mercado para todos os factores, excepto um, o contributo deste factor na produção final pode ser dado pelo valor da produção restante, uma vez que já foi descontado o contributo dos outros factores (Heady, 1952).

Este trabalho tem como principal objectivo a determinação do contributo potencial da água como factor de produção nas empresas agrícolas do bloco de rega da infra-estrutura 12 do EFMA, com base na avaliação da alteração do comportamento económico dos seus empresários face a diferentes hipóteses de comparticipação no custo económico de aplicação da água e de cenários de evolução dos preços e das ajudas agrícolas. A infra-estrutura 12 abrange cerca de 5.9 mil hectares de regadio correspondentes à 2^a fase do aproveitamento hidro-agrícola de Odivelas, e será o primeiro bloco de rega do EFMA a entrar em funcionamento, já na Primavera de 2004 apenas com os recursos hídricos das albufeiras de Alvito e de Odivelas e também com os recursos hídricos de Alqueva provavelmente antes de 2007 (EDIA, 1997).

METODOLOGIA

A determinação do contributo da água como factor de produção nos rendimentos agrícolas, é um problema que integra simultaneamente aspectos tecnológicos, de gestão e institucionais ao nível da unidade de produção, o que nos leva à análise do comportamento económico dos empresários agrícolas. Os principais factores que afectam as suas decisões relativamente à utilização da água como

factor de produção, são as condições de uso da água, o preço da água, os preços dos produtos nos mercados agrícolas, o rendimento esperado e o risco.

O método de programação estocástica discreta sugerido por Cocks (1968) e desenvolvido posteriormente por Rae (1971) adapta-se particularmente bem à análise da produção agrícola onde o processo de tomada de decisão é do tipo sequencial. As decisões de semear, regar e de colher são dependentes entre si e são tomadas de forma sequencial, sendo revistas à medida que o tempo vai passando e se dispõe de mais informação. O modelo económico de programação matemática desenvolvido para as empresas agrícolas tipo do bloco de rega da infra-estrutura 12 do EFMA, é um modelo de programação estocástica discreta em que se maximiza a utilidade esperada do produtor e foi desenvolvido por Fragoso (2001) com base nos trabalhos desenvolvidos por Fragoso (1996), Jacquet et Pluvillage (1997), Keplinger et al. (1998) e Blanco (1999). A sua formulação matemática apresenta-se em seguida de forma resumida:

$$\text{Max } E[U] = \sum_s \sum_p P_s P_m U(Z_{s,m})$$

$$\text{s.a.} \quad Z_{s,m} = \sum_j [p_{j,m} f_{j,s}(k_{j,s}, a_{j,s}) - c_k k_{j,s} - c_a a_{j,s} - c_x] x_{j,s} \quad \forall s \text{ e } m$$

$$\sum_j x_{j,s} \leq S \quad \forall s$$

$$\sum_j a_{j,s} x_{j,s} \leq q_s \quad \forall s$$

$$x_{j,s} \geq 0; k_{j,s} \geq 0; a_{j,s} \geq 0$$

onde: P_m e P_s são respectivamente a probabilidade de ocorrência dos estados de mercado m e dos estados das condições de uso da água s ; $U(Z_{s,m})$ é a utilidade do empresário agrícola em função do lucro expectável Z nos estados de natureza s e m ; e $p_{j,m}$ é o preço do produto j no estado m ; $f_{j,s}$ é a função de produção contínua por unidade de superfície do produto j no estado s ; $k_{j,s}$ é o vector das quantidades variáveis de factores aplicados na cultura j e no estado s por unidade de superfície; $a_{j,s}$ é a quantidade de água aplicada na cultura j e no estado s em volume por unidade de superfície; c_k é o custo unitário dos factores variáveis aplicados excepto a água; c_a é o custo unitário da aplicação da água; c_x é o custo da taxa de rega em função da superfície irrigável; S é a quantidade disponível de recursos na empresa; e q_s é o volume de água disponível no estado s ; e $x_{j,s}$ é a área da cultura j no estado s .

Para a utilidade do empresário agrícola adoptou-se a seguinte função com base em Hardaker et al. (1997):

$$U(Z) = -0.157 + 0.257 \ln(Z + W_0 + 1.769)$$

onde, Z é o lucro do indivíduo traduzido em termos de ganhos ou de perdas e W_0 representa o nível da sua riqueza inicial. Esta função é normalmente utilizada por economistas e teólogos da decisão como o modelo típico das atitudes face ao risco (Clemen, 1995) e apresenta aversão absoluta ao risco decrescente e aversão relativa ao risco constante e igual a 1.

O modelo de programação matemática desenvolvido parte do pressuposto que os empresários agrícolas operam em mercados de concorrência perfeita, tanto ao nível dos factores, como dos produtos. Cada empresário tem disponível um número finito de processos ou tecnologias de produção vegetal e pecuária j . Cada tecnologia representa uma combinação bem determinada de utilização de

factores de produção. Assume-se como objectivo a maximização da utilidade do produtor em função do lucro nos estados de natureza. O comportamento dos empresários agrícolas é condicionado pelos níveis dos recursos das suas empresas, pelas tecnologias disponíveis, pelos níveis de preços e subsídios e pelas taxas de juro fixados de forma exógena.

Os modelos assumem que os empresários agrícolas conhecem empiricamente, por força da experiência, as diferentes condições de uso da água de rega e dos preços nos mercados agrícolas e a frequência com que ocorrem e tomam as suas decisões de longo prazo, i.e., dimensionam os seus capitais fixos com base nesse conhecimento adquirido. Confrontados com a ocorrência de um determinado tipo de condições de disponibilidade e de necessidades hídricas, os empresários tomam as decisões de curto prazo, escolhendo a combinação de culturas de sequeiro e de regadio de acordo com a água disponível e com as necessidades hídricas das culturas nessa condição, tendo em conta a disponibilidade de factores fixos, os custos que derivam da dimensão escolhida e a expectativa de preço dos produtos nos mercados agrícolas.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Para cada uma das empresas agrícolas tipo realizaram-se simulações para um ano cruzeiro situado no período de 2006-2015, da situação sem projecto e com projecto, considerando-se nesta última quatro

Resultados obtidos no cenário da nova reforma da PAC

	Situa- projecto	Situação com projecto			
		Hip. A	Hip. B	Hip. C	Hip. D
Empresa familiar pequena					
Rendimento (mil euros)	3.0	11.4	10.1	9.8	8.5
Cont. econ. da água (euros/m3)	-	0.22	0.28	0.28	0.28
Água de Alqueva (1000 m3)	-	44.4	34.0	34.0	34.0
Área regada (ha)	0.78	6.34	4.62	4.62	4.62
Empresa familiar média					
Rendimento (mil euros)	18.8	55.4	47.0	45.7	38.7
Cont. econ. da água (euros/m3)	-	0.18	0.18	0.18	0.18
Água de Alqueva (1000 m3)	-	240.9	239.4	239.4	239.4
Área regada (ha)	6.82	41.01	40.30	40.30	40.30
Empresa grande ou sociedade					
Rendimento (mil euros)	118.7	326.8	277.6	270.0	227.1
Cont. econ. da água (euros/m3)	-	0.18	0.18	0.18	0.18
Água de Alqueva (1000 m3)	-	1413.4	1381.7	1381.7	1381.7
Área regada (ha)	50.39	247.49	232.94	232.94	232.94

Fonte: Resultados dos modelos económicos de programação matemática.

hipóteses alternativas de comparticipação dos empresários no custo económico de aplicação da água e dois cenários de evolução dos preços e das ajudas agrícolas.

As hipóteses de comparticipação dos empresários agrícolas no custo económico de aplicação da água partem do pressuposto que estes devem co-financiar apenas os custos de investimento e de exploração das infra-estruturas de uso exclusivamente agrícola nas seguintes proporções: a totalidade dos custos de exploração da rede secundária (hipótese A); os custos de exploração da rede secundária e da bombagem da água (hipótese B); os custos de exploração e de 15% dos custos de investimento da rede secundária e da bombagem da água (hipótese C); os custos de exploração e a totalidade dos custos de investimento da rede secundária e da bombagem da água (hipótese D);

Os cenários alternativos de evolução de preços e das ajudas agrícolas incluem a nova reforma da PAC, em que se considera a manutenção dos mecanismos de suporte aos preços e ao rendimento agrícola previstos para a campanha de 2006 no quadro das negociações da Agenda 2000, e a liberalização multilateral do comércio mundial, que traduz a abolição das políticas de transferência institucional de rendimento para o sector agrícola e os preços dos produtos seguem a evolução prevista pela OCDE (2000) para o mercado internacional. No quadro seguinte apresentam-se os resultados obtidos para o cenário da nova reforma da PAC

A entrada em funcionamento do bloco de rega da infra-estrutura 12 do EFMA permite aumentar a área potencial de regadio de 1 para 7 hectares nas empresas agrícolas familiares pequenas, de 8 para 41 hectares nas empresas agrícolas familiares médias e de 57 para 248 hectares nas grandes empresas ou sociedades agrícolas. Esse aumento da área equipada leva à substituição das culturas de sequeiro por culturas de regadio, passando a superfície regada no total da SAU de 10 a 15% na situação sem projecto, para 60 a 90% na situação com projecto, o que permite um aumento substancial do rendimento, que passa de cerca de 3, 19 e 119 mil Euros para 9 a 11, 39 a 55 e 227 a 327 mil Euros nas empresas agrícolas familiares pequenas, familiares médias e grandes ou sociedades, respectivamente, o que significa aumentos de rendimento de 6 a 8, de 20 a 37 e de 158 a 208 mil Euros.

A determinação do contributo económico potencial da água como factor de produção nos rendimentos agrícolas, traduz a variação da retribuição dos factores próprios da empresa por cada metro cúbico de água utilizada a partir dos recursos hídricos de Alqueva:

$$CE = (RC_1 + PAALQ - RC_0) / AALQ,$$

onde CE é o contributo económico da água em euros/m³; RC_1 e RC_0 são os resultados correntes na situação de projecto e na situação sem projecto; $AALQ$ é a água consumida; e $PAALQ$ é o custo de utilizar a água de Alqueva.

Os valores obtidos para o contributo económico da água variam de 0.22 a 0.28 euros/m³ nas empresas familiares pequenas e é de 0.18 euros/m³ nas empresas agrícolas familiares médias e nas grandes ou sociedades. Portanto, esses valores são muito superiores aos 0.03, 0.06, 0.07 e 0.10 euros/m³ estimados para as tarifas de rega consideradas, respectivamente, nas hipóteses A, B, C e D e estão próximos dos 0.16 euros/m³ estimados para o custo económico de aplicação da água no regadio de Alqueva, que para além dos custos com a rede secundária e com a bombagem da água, inclui também

os custos com a rede primária e com a barragem de Alqueva.

A utilização da água no bloco de rega da infra-estrutura 12 do EFMA, constitui um potencial económico capaz de gerar acréscimos significativos no rendimento das empresas agrícolas, mesmo num cenário de liberalização multilateral do comércio mundial sem transferências institucionais de rendimento para o sector agrícola e considerando o pagamento da totalidade dos custos de investimento e de exploração da rede secundária e da bombagem da água.

O contributo potencial da água como factor de produção no rendimento das empresas agrícolas da infra-estrutura 12 do EFMA, para além de ser superior aos custos de investimento e de exploração da rede secundária e aos custos energéticos da bombagem da água, aproxima-se do custo económico de aplicação, que também inclui os custos da rede primária e da barragem de Alqueva. O valor superior do contributo económico da água, obtém-se quando os empresários agrícolas participam os custos de exploração da rede secundária e da bombagem da água. Neste caso, a utilização dos recursos é inferior à situação em que se participa apenas os custos de exploração da rede secundária e idêntica à que se obteria se os empresários participassem também os custos de investimento dessa infra-estrutura.

REFERENCIAS

- BLANCO, M.F. (1999): La Economía del Agua: Análisis de Políticas de Modernización y Mejora de Regadios en España. Universidad Politécnica de Madrid, Tesis doctoral, Madrid.
- CLEMEN, R.T. (1995): Making Hard Decisions An Introduction to Decision Analysis. Duxbeuy Press, 2^a edition, USA.
- COCKS, K.D. (1968): Discrete stochastic programming. Management Science, 15, pp. 72-79.
- EDIA - EMPRESA DE DESENVOLVIMENTO E INFRA-ESTRUTURAS DO ALQUEVA (1997): Alqueva Rega Cerca de 24 mil hectares em 2007. Nota de última hora http://www.edia.pt/html/ultima_hora_p.html.
- FRAGOSO, R.M.S. (1996): Évaluation des impacts socio-économiques du développement de l'irrigation: le cas de l'agriculture dans la région de l'Alentejo. CIHEAM-IAMM, Collection de Thèses et Masters IAMM, n.º 40, Montpellier.
- FRAGOSO, R.M.S. (2001): Avaliação dos Impactos Sócio-Económicos do Plano de Rega de Alqueva no Sector Agrícola do Alentejo: o caso do bloco de rega da infra-estrutura 12. Universidade de Évora, Dissertação de Doutoramento em fase de avaliação, Évora.
- HARDAKER, J.B.; HUIRNE, R.B.M.; et ANDERSON, J.R. (1997): Coping with Risk in Agriculture. CAB International, Wallingford.
- HEADY, E.O. (1952): Economics of Agricultural Production and Resource Use. Prentice Hall, Englewood, New Jersey.
- JACQUET, F.; PLUVINAGE, J. (1997): Climatic Uncertainty and Farm Policy: A Discrete Stochastic Programming Model for Cereal-Livestock Farms in Algeria. Agricultural Systems, 53, pp. 387-407.
- KEPLINGER, K.O.; MCCARL, B.A.; CHOWDHURY, M.E.; et LACEWELL, R.D. (1998): Economic and Hydrologic Implications of Suspending Irrigation in Dry Years. Journal Agricultural and Resource Economics, 23, pp. 191-205.
- OCDE – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (2000): Working

- Party an Agricultural Policies and Markets. The OCDE Agricultural Outlook, AGR/CA/APM (2000) 2.
- RAE, A.N. (1971): An empirical application and evaluation of discrete stochastic programming in farm management. American Journal of Agricultural Economics, 53, pp. 625-638.
- YOUNG, R.A. (1996): Measuring Economic Benefits for Water Investments and Policies. World Bank Technical Paper Number 338, World Bank, Washington, DC.

O PROJECTO "LAND SAF" COMO POTENCIAL FONTE DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA. APLICAÇÕES NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DE ALQUEVA

PESSANHA, LUÍS

Instituto de Meteorologia, Lisboa

RESUMO

Em Dezembro de 1992 a organização europeia para a exploração dos satélites meteorológicos (EUMETSAT) adoptou o conceito de segmento no solo distribuído, que, para além dos serviços operacionais centralizados em Darmstadt, Alemanha, viabilizou uma rede de outros elementos, designados como Serviços de Aplicações Satélite (Satellite Application Facilities - SAF). Tais centros deverão constituir como áreas especializadas no desenvolvimento, processamento, arquivo e distribuição de produtos a partir das imagens da rede de satélites, geostacionários e polares, da EUMETSAT.

Aproveitando as diversas áreas de especialização existentes nos estados membros da EUMETSAT, a rede SAF permite um complemento ao cálculo operacional de parâmetros meteorológicos que podem nalguns casos incluir a distribuição de pacotes de software. Dados complementares e necessários ao cálculo destes parâmetros poderão ser obtidos a partir da Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization - WMO*) recorrendo ao sistema global de telecomunicações (GTS). Os produtos das SAF serão distribuídos utilizando diversos meios como o sistema GTS/RMDCN, ftp, CD, etc.

Cada SAF deverá desenvolver os seus parâmetros por um período de cinco anos a que se deverá seguir a fase operacional, a estabelecer com base num acordo de cooperação entre a EUMETSAT e a organização responsável pela operação da SAF.

As SAFs irão ser desenvolvidos por diversas organizações pertencentes aos diversos Estados Membros em geral reunidas em consórcios de várias entidades e irão ser localizadas nos respectivos Serviços de Meteorologia nacionais ou em entidades agregadas.

Sete projectos SAF estão neste momento a serem desenvolvidos abrangendo aplicações em diversas áreas nomeadamente:

- Apoio à previsão a curto prazo (*Nowcasting and Very Short Range Forecasting*) – Espanha

- Mar e gelo (*Ocean and Sea Ice*) – França
- *Ozone Monitoring* – Finlândia
- Previsão Numérica do tempo (*Numerical Weather Prediction*) – Reino Unido
- Clima (*Climate Monitoring*) – Alemanha
- *GRAS Meteorology* – Dinamarca
- Parâmetros no Solo (*Land Surface Analysis*) – Portugal

No quadro geral das SAFs, a Land SAF da responsabilidade do Instituto de Meteorologia de Portugal, representa um desafio especial, não só nacional, mas também da própria EUMETSAT. De facto, o número de potenciais utilizadores dos satélites MSG e EPS tenderá a aumentar na medida em que, dadas as características dos novos sensores, para além das tradicionais instituições ligadas à meteorologia, serão atraídos por eles outros serviços, ligados a sectores diversificados, tais como a agricultura, os recursos hídricos naturais, o uso do solo, a prevenção de catástrofes, o clima, a monitorização global, etc. Deve no entanto referir-se que, de entre o largo espectro de possíveis aplicações, a melhoria da previsão numérica do tempo foi eleita pela EUMETSAT como primeira prioridade.

No âmbito do Projecto Land SAF, são desenvolvidos os seguintes parâmetros:

Parâmetros de Radiação Solar (Albedo, Aerossóis, Radiação Difusa, Fluxo Descendente), Parâmetros de Radiação Térmica (Temperatura da Superfície, Emissividade, Fluxo Descendente) e Parâmetros Biofísicos (Humidade do Solo, Evapotranspiração, Coberto de Neve, Parâmetros de vegetação).

De entre as numerosas aplicações possíveis, prevê-se que os sistemas de informação geográfica (SIG) possam no futuro integrar alguns dos produtos calculados pelo projecto, nomeadamente aqueles que estão ligados ao levantamento biofísico do solo. É possível prever a utilização conjunta de dados provenientes de vários satélites com os produtos calculados operacionalmente pelo projecto Land SAF. São no entanto de mencionar as dificuldades técnicas e científicas de que se reveste a forma como a utilização conjunta de diferentes sensores com diferentes períodos de revisita e com resoluções espectrais muito diferentes se deve efectuar.

DAMS AND ROCK ART IN PORTUGAL: A MATCH MADE IN HELL

MILA SIMÕES DE ABREU¹

Department of Geology, Archaeology Unit
University of Trás-os Montes e Alto Douro ,
Apartado nº 1013, 5000-911 Vila Real Portugal.

Keywords: ROCK ART, IMPACT, ARCHAEOLOGY, SURVEY

INTRODUCTION

The impact of dams on the rock art of Portugal was, in the last fifty years, devastating: six major areas were affected (Tejo, Ocreza, Mazouco, Vale da Casa, Côa and Guadiana). At least one other zone will be destroyed if the Sabor Project goes ahead.

DAM AND ROCK ART

It was the beginning of the seventies that a group of university students discovered a series of engravings on the bedrock of the Tagus (Tejo) River, near Vila Velha de Rodão. The following survey showed that a 40km stretch was covered with engravings. The imminent conclusion of the Fratel dam construction accelerated studies. The political situation of Portugal meant that protest against the destruction was not really viable. At the time, the only other apparent option was to collect elements for future studies. Volunteers, with the financial help of the Calouste Gulbenkian Foundation, made moulds of most of the decorated surfaces. Unfortunately, very little of this material was published. According to some authors, several thousands of post-palaeolithic engravings were lost forever. Today, we know of the existence of several engraved rocks in the upper Ocreza, a tributary of the Tejo. This fact leaves no doubt that the Ocreza's Pracana dam, built in 1951, destroyed other engravings belonging to the same complex.

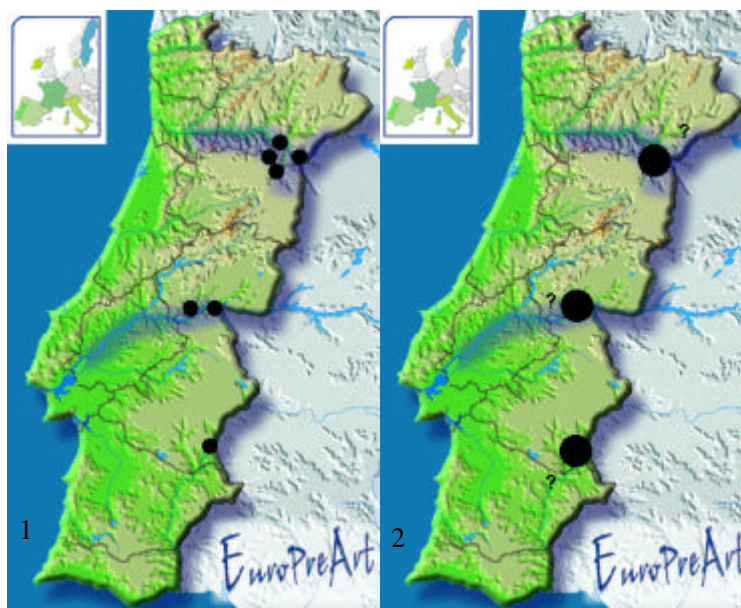


Fig 1. Map 1 - Rock-art affected by dams. Map 2 - Rock-art areas flooded by dams

In the eighties, a few months before to the conclusion of the Pocinho dam on the Portuguese Douro, several dozen engraved rocks were found on its bedrock. Photographs and tracings were made of the figures, which were attributed mainly to the Iron Age. The area – Vale da Casa – is now completely under water. Only brief references were published about it. The waters of the reservoir reach north to the international Douro. According to locals, the so-called Mazouco rock was not the only one. It is not clear how many engravings in this area were lost.

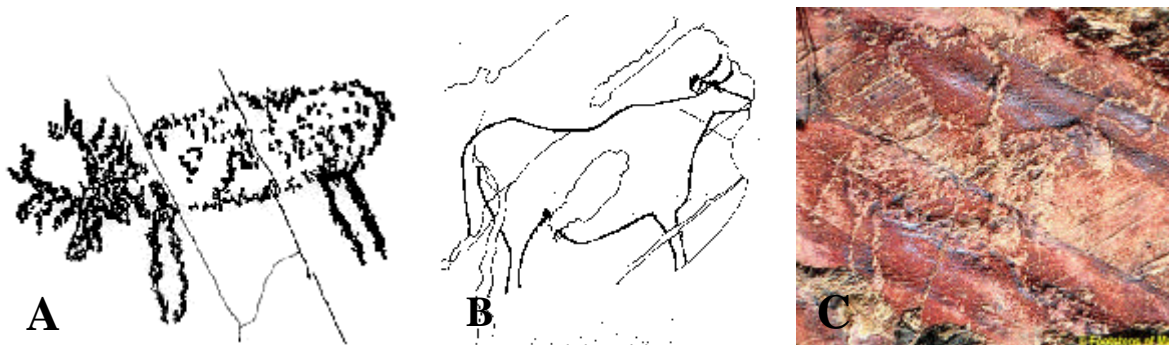


Fig 2 A- Deer figure from the Tagus Valley B - Auroch, Canada do Inferno, Côa Valley
C – Bull figure at Molino Manzanéz, Cheles, Guadiana

Strangely enough all these findings didn't lead to a methodic survey of the entire Douro area. The plan to build the Foz Côa dam went ahead and not even the fact that several engravings were found made the authorities reconsider plans. In November 1994, Ludwig Jaffe I had saw the area and appreciated the importance of the finds. An international campaign roused the indignation of civic society and

caught the attention of the media, which led to a new Government's decision to abandon the project. During that year several other Palaeolithic and Post-Palaeolithic sites along the Coa and the Douro were identified. The area became a Park and was later classified as a UNESCO World Heritage Site.

The idea that something like the Côa case would never happen again was torn apart in 2001, a few months before the conclusion of the Alqueva dam. Following finds on the Spanish side of the Guadiana, engravings were found on the Portuguese bank. There was no will to stop or even delay the project to give time to at least collect more information. The Spanish site was surveyed and more than 500 decorated surfaces discovered. The exact number of rocks in the Portuguese area is still uncertain. Tragically, in a democratic Portugal, less was made to document the engravings of the Guadiana than 30 years before in the Tejo. (Arcà *et al.* 2001)

A project of building another dam on the Sabor, a tributary of the Douro, where more rock-art exists, leaves us extremely worried. Are more prehistoric engravings going to be put under the water? Presently we don't know if other dam projects (like Pedrogão) will have similar consequences.

CONCLUSIONS

Rock art studies and the knowledge of prehistoric cultures have suffered one of the heaviest tolls in Portugal. When we talk about the costly impact of dams, the price has been the loss of thousands of priceless prehistoric engravings. This becomes truly scandalous when it is associated with the lack of responsibility of at least keeping records for the future. We have no doubt that future generations will ask how this was possible. That is why it is fundamental to discuss solutions.

ACKNOWLEDGEMENTS

A special note of gratitude to Robert Bednarik and to all members of IFRAO (International Federation of Rock Art Research Organizations) and to Andrea Arcà, Angelo Fossati and Ludwig Jaffe from the Footsteps of Man Archaeological Cooperative.

REFERENCES

- Arcà, A., R. Bednarik, A. Fossati, L. Jaffe & M. S. Abreu (2001) Damned Dams Again: the plight of Portuguese Rock Art, *Rock art Research*, 18(1): I-Viii.
<http://rupestre.net/tracce/13> (2002)

THE IMPACT OF THE ALQUEVA DAM ON THREATENED CARNIVORES

Nuno Pedroso^{1,2}, C. Baltazar¹, Joaquim P. Ferreira^{1,2}, Clara Grilo¹, Hugo Matos¹, Íris Pereira¹,
Teresa Sales-Luis¹, Maria J. Santos¹, I. Sousa¹; & Margarida Santos-Reis¹

¹Centro de Biologia Ambiental/ Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal

²Centro de Estudos da Avifauna Ibérica, Évora, Portugal

The largest dam in Europe (Alqueva dam) is being built in Guadiana river (SE, Portugal) with a 250km² flooding area that will lead to the disappearance of important habitats and associated animal populations. The ongoing project consists in a monitoring program of key-carnivore species before, during and after flooding (5 years) in order to propose prevention and minimisation measures for ecological damages. The monitored species are the European polecat (*Mustela putorius*), the Eurasian otter (*Lutra lutra*), the wildcat (*Felis silvestris*) and the Iberian lynx (*Lynx pardinus*), all having a threatened status, both in Europe and Portugal. The species distributions were assessed and potential habitats in the flooded area were evaluated. The only species with a generalised distribution is the Eurasian otter, occupying 86% of the study area. On the other hand, no confirmed occurrence of Iberian lynx was detected, revealing a pre-extinction scenario. Polecat and wildcat seem to have a discontinuous distribution being confirmed its presence in 34% and 25% of the study area, respectively. To assess the impact of deforestation and flooding, predictive models of habitat suitability were developed for each key-carnivore except lynx. Fragmentation, habitat loss and disturbance of populations of prey represent the main threats to carnivores. According to the results the dam will have a major impact on the wildcat population by loss of 60% of suitable habitat and disturbance/extinction of the main population's nuclei. The flooded area also comprises 32% of the polecat suitable habitat and the highest values of habitat suitability for otter. The most suitable habitats for lynx were also destroyed, reducing therefore the species recovery by dispersing individuals from neighbouring nucleus. Minimisation measures, like maintenance of dispersal corridors during deforestation, were advised. A restoration habitat program and the recovery of prey populations are proposed to ensure a long-term viability of the key-carnivore populations.

Project promoted by EDIA, S.A. e co-financed by EDIA, S.A., FEDER e PEDIZA (1999/2003).

TRANSLAÇÃO DE *Narcissus cavanillesii* A. BARRA & G. LÓPEZ COMO MEDIDA DE MINIMIZAÇÃO DO IMPACTO DA BARRAGEM DO ALQUEVA (PORTUGAL)

A. ROSSELLÓ-GRAELL¹, D. DRAPER¹, I. MARQUES¹, A. I. D. CORREIA^{1,2}
R. MARTINS³, P. MADUREIRA³, J. FILIPE³, L. CRISTO³, V. PINHEIRO³,
A. VALENTE³, N. MARTINS³, H. PISCO³

¹ Museu, Laboratório e Jardim Botânico da Universidade de Lisboa. Rua da Escola Politécnica, 58. 1250-102 Lisboa (Portugal). E-mail: arossel@fc.ul.pt

² Dpto. Biologia Vegetal e Centro de Biologia Ambiental, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Bloco C2 – Campo Grande. 1749-016 Lisboa. Portugal.

³ Departamento de Geociências da Universidade de Évora, Ap. 94, 7002-554 Évora Codex

Keywords: NARCISSUS, ALQUEVA, TRANSLAÇÃO (TRANSLOCATION)

INTRODUÇÃO

A construção da barragem do Alqueva veio ameaçar drasticamente as duas populações portuguesas conhecidas de *Narcissus cavanillesii* A. Barra & G. López (Amaryllidaceae) - um endemismo do sul da Península Ibérica e Norte de África, incluído no Anexo II e IV da Directiva Habitat 92/43/CEE. Uma das populações, localizada no leito do rio Guadiana perto da aldeia de Monte Juntos, ficará totalmente submersa e a outra será afectada por alterações do seu habitat. Segundo os critérios da IUCN (2000) pode considerar-se *N. cavanillesii* como uma espécie “Em Perigo Crítico” (CR) em Portugal. Se não fosse tentada nenhuma acção de conservação, 80% das populações portuguesas desta espécie desapareceriam. Com o objectivo final de evitar a sua extinção em Portugal, foi desenvolvido um plano de salvaguarda em que se previu o resgate da população de Monte Juntos, da zona que ficará submersa, para um local de refúgio à cota entre os 142 e 146m. Esta translação teve a particularidade de se remover não só os indivíduos mas também o substrato que serve de base ao seu habitat pretendendo-se assim minimizar o impacto da operação sobre os bolbos de *Narcissus*.

MÉTODOS

Inicialmente, foi realizado em Monte Juntos um levantamento pormenorizado dos locais aonde existiam bolbos de *Narcissus cavanillesii*, tendo-se aproveitado a floração desta planta no ano anterior, permitindo assim uma cartografia detalhada de cada um dos indivíduos.

Após este levantamento, constatou-se que os bolbos desta planta se encontravam agrupados em 10 núcleos. Os núcleos A, C e K eram constituídos preponderantemente por solo, os núcleos B, E e H correspondiam essencialmente a afloramentos de xisto bastante alterado onde figuravam planos de xistosidade abertos e preenchidos por argila e finalmente os núcleos F, G, I e J, considerados como mistos pelo facto dos bolbos estarem presentes tanto em solo como em rocha. Devido a estas características os núcleos foram sujeitos a uma intervenção diferenciada.

Porém, antes da remoção propriamente dita, criaram-se malhas quadradas de 40cm x 40cm, devidamente orientadas, tendo-se estabelecido um sistema de coordenadas, com vista a manterem-se as posições relativas entre os bolbos, no local de destino. Posteriormente, os núcleos foram delimitados com abertura de pequenas sanjas com profundidades aproximadas de 20cm, criando-se assim frentes de ataque. Estas sanjas foram abertas com o auxílio de um martelo rotopercussivo, acoplado-se, ora uma pá de terra, ora uma pá de corte, consoante os trabalhos se desenrolavam em solo ou em rocha.

Nos núcleos de solo, com base na malha pré-estabelecida, foram extraídos vários talhões, que eram depositados em recipientes de plástico previamente forrados com serapilheira e uma pequena espessura de solo que lhes servia de “cama”. Cada recipiente completamente cheio era devidamente etiquetado, tendo como base as coordenadas definidas e a sua posição relativamente ao rio Guadiana.

Os três núcleos constituídos por rocha, devido às diferenças de relevo existentes entre eles, obrigaram à adopção de diferentes estratégias. No entanto, com vista à remoção de uma quantidade apreciável de substrato rochoso, foram realizadas furações de levante e verticais com o sistema rotopercussivo, tendo-se usado barrenas de 0,40m e 0,80m de comprimento, com vista à criação de superfícies de fraqueza, por onde o bloco se destacaria. Finalmente foram introduzidas cunhas metálicas, devidamente orientadas, para provocar a separação do bloco do resto do maciço. Pelo facto do xisto se apresentar alterado, os blocos foram envolvidos em cintas de aperto para manter a sua coesão.

Relativamente ao núcleo “H” e apesar de se tratar de um afloramento rochosos, a sua dimensão e grau de alteração levaram a que se tivesse optado por removê-lo por fracções. O trabalho neste núcleo revestiu-se de grande pormenor e precisão, visto tratar-se de uma das principais concentrações de bolbos. Este bloco, foi destacado, executando-se golpes na horizontal com uma máquina portátil de corte por disco diamantado, de 30cm de diâmetro, e de seguida, com o auxílio de picadeiras e colheres de pedreiro, removiam-se fatias do afloramento que eram de imediato colocadas nos recipientes de plástico.

CONCLUSÕES

As características técnicas que foram utilizadas nesta operação e para este objectivo são pioneiras em Portugal, por estes motivos o resultado desta operação só pode ser totalmente avaliado após alguns anos, no entanto o resultado da floração do ano 2001 foi do 24,5%, relativamente à floração anterior à transladação (2000). Este resultado preliminar revela-se muito superior a valores atingidos por outras operações semelhantes realizadas em França e Inglaterra, que dificilmente têm superado os 15%. Do

resultado final poderão ser retiradas numerosas conclusões científicas e técnicas que permitirão melhorar consideravelmente a abordagem de novas operações destas características.

AGRADECIMENTOS

Este projecto foi promovido pela EDIA, S. A. e co-financiado pela EDIA, S. A. e pelo FEDER.