

O RIO MONDEGO. O AMBIENTE FLUVIAL E A SUA ECOLOGIA

João S. ROCHA⁽¹⁾ e Helena FREITAS⁽²⁾

RESUMO

A análise do ambiente fluvial tem sido feita disciplinarmente sendo rara uma verdadeira integração multidisciplinar, o que se deve à complexidade dos fenómenos que ocorrem nos rios. No entanto, o êxito das medidas de protecção e conservação dos recursos hídricos superficiais e do respectivo ambiente fluvial, ficará sempre dependente de uma análise correcta de todos os fenómenos e situações que ocorrem num determinado sistema fluvial. Na impossibilidade prática de integrar uma verdadeira análise multidisciplinar foi tentada uma análise em duas disciplinas que tratam de dois fenómenos fundamentais nos sistemas fluviais, a saber a hidráulica fluvial, na qual se inclui a sedimentologia, e a ecologia, como a ciência que estuda os sistemas biológicos na perspectiva das interacções entre os organismos e o meio ambiente.

Sendo uma tentativa metodológica julgou-se preferível, numa primeira abordagem, partir da análise de um rio para o qual já há alguma experiência em ambas as disciplinas, o rio Mondego, efectuar uma descrição independente de cada disciplina, para depois numa síntese conjunta apresentar o entrelaçamento dos fenómenos físico-biológicos neste ambiente particular.

Palavras-chave: rio, ambiente fluvial, hidráulica fluvial, sedimentologia, morfologia fluvial, recursos hídricos superficiais, leito aluvionar, sedimentação, transporte sólido, assoreamento, ecologia, gestão biológica, ecossistemas fluviais, Mondego.

⁽¹⁾ Engenheiro Civil, Investigador Coordenador, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, Portugal

⁽²⁾ Professora Associada, Departamento de Botânica, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal

1 - INTRODUÇÃO

A análise do comportamento do escoamento e da morfologia dos rios deve envolver uma grande gama de escalas espaciais e de tempo. Desde o movimento dos grãos individuais com uma dimensão da ordem dos milímetros, ou da fracção do milímetro, e que se movem com uma escala temporal relativa aos fenómenos da turbulência, com escala temporal dos segundos, ou fracção do segundo, quer intermitentemente no fundo, quer continuamente em suspensão. Passando pelo movimento das dunas com dimensões da ordem do metro e com desenvolvimento temporal à escala das horas, onde a forma da secção transversal envolve escalas espaciais das dezenas a centenas de metros e podem modificar-se a uma escala de dias (em cheia) a anos (em estiagem). Até às modificações do perfil longitudinal do leito aluvionar com uma escala de muitos quilómetros e que podem levar anos a séculos a ajustarem-se a perturbações, De VRIEND (1997).

No seu estado completamente natural, o sistema fluvial apresenta uma grande variabilidade espacial e temporal, mas não são só os referidos fenómenos hidráulicos que comandam a morfologia dos leitos aluvionares, nem comandam os escoamentos puramente hidráulicos. Com efeito, mesmo no estado natural a presença do seres vivos é determinante. Os ecossistemas ribeirinhos são tipicamente ricos do ponto de vista biológico e condicionam profundamente as margens e zonas húmidas adjacentes, o curso do próprio rio e a qualidade das suas águas.

A situação dos sistema fluviais em toda a Europa, e na maior parte das zonas densamente habitadas, está longe de ser comandada pelos fenómenos puramente naturais, tendo havido desde há séculos uma crescente intervenção artificial, quer do ponto de vista físico, com intervenções de engenharia fluvial, quer do ponto de vista biológico.

Estas intervenções perturbam os ecossistemas e colocam sempre questões de natureza fundamental em ecologia, relacionadas com a variabilidade espaço-temporal do meio e com os mecanismos de interacção biótica e abiótica. Qual é a capacidade de sobrevivência das comunidades biológicas quando perturbamos a dimensão e estabilidade do nicho ecológico das espécies que as integram e qual o impacto da mudança sobre os mecanismos e processos que fazem funcionar o ecossistema, PIMM (1984) e SCHULZE e MOONEY (1993)?

Neste mesmo contexto se coloca a questão da diversidade biológica e da importância relativa da sua conservação, quer da espécie quer do habitat, componentes que, aliás, não devem ser avaliadas separadamente, EHRLICH e DAILY (1983). Do ponto de vista da diversidade específica, a escala temporal com que analisamos o efeito do impacto é ainda demasiado distante para permitir a percepção realista do fenómeno. É também obviamente distinta a percepção de um ecólogo europeu, em particular do sul da Europa, habituado a gerir ecossistemas naturais muito fragmentados e uma paisagem artificializada e dominada pela agricultura, da de um ecólogo tropical, habituado a identificar uma diversidade biológica muito rica e em grande parte desconhecida e a qual representa um recurso económico fundamental para o seu país. Ou seja, enquanto o ecólogo tropical identifica e descreve, o ecólogo europeu identifica e monitoriza os processos.

A aplicação dos conceitos e modelos de gestão ecológica dos ecossistemas é cada vez mais importante, em particular no controlo biológico integrado de espécies exóticas, potencialmente invasoras, e na recuperação de ecossistemas degradados. O conhecimento da resistência e resiliência dos ecossistemas, componentes determinantes da sua estabilidade, a este tipo de perturbações, são ainda mais importantes se considerarmos os efeitos das alterações climáticas globais, os novos padrões de distribuição demográfica e a acelerada intensificação da influência antropogénica, EHRlich e EHRlich (1981) e TILMAN (1996).

Segundo ROCHA e CORREIA (1994) a bacia hidrográfica do rio Mondego pode ser considerada, para efeito de análise teórica, uma bacia média. Pode acrescentar-se que bacias comparáveis são as do rio Vouga e rio Sado, conjuntamente as três maiores bacias hidrográficas inteiramente nacionais.

Das três bacias mencionadas a do rio Mondego merece um destaque especial, devido à forte intervenção que sofreu no passado recente. Tal também se deveu em grande parte ao facto de o vale do rio Mondego ter sofrido forte assoreamento, com os consequentes incrementos nos riscos das cheias e inundações cada vez mais frequentes.

A regularização fluvial do rio Mondego seguiu a abordagem adequada a uma gestão de uma planície de cheia, em que a percepção das alterações morfológicas dos leitos das linhas de água deve impor a necessidade de uma monitorização da evolução dos leitos aluvionares, que permita prevêr tendências nefastas e conceber as respectivas medidas correctoras com a antecedência eficaz.

Na maior parte dos casos as intervenções deste tipo não têm uma avaliação e monitorização adequada dos processos biológicos e ecológicos que antecedem a sua concretização, não se fazendo normalmente mais do que uma análise sumária e pontual da situação para efeitos de elaboração do estudo de impacto ambiental. Muito menos se pensa na avaliação e monitorização posterior à intervenção. Além disso, todos estes estudos carecem quase sempre de uma planificação que vá além da mera descrição dos cenários observados, ou seja, quase nunca há a preocupação de realizar uma verdadeira gestão biológica dos ecossistemas intervencionados. A artificialização de habitats naturais tem sempre reflexos observáveis a curto, médio e longo prazo, e muitos certamente com impactos negativos para as populações que deles usufruem. Para além do seu valor biológico intrínseco, os habitats naturais contêm as espécies melhor adaptadas às condições do meio e portanto, a sua sobrevivência deve constituir um objectivo do projecto de intervenção.

Esta reflexão sobre a evolução natural e sobre as intervenções efectuadas recentemente, procura prospectivar as acções do futuro. Se em todas as obras de engenharia civil esta análise do futuro deve ser considerada, com mais razão deve ser feita numa intervenção fluvial, que como se vê apresenta uma complexidade natural não inteiramente dominada e conhecida, e tempos de resposta muito prolongados, e dificilmente observáveis à escala dos poucos anos.

Esta comunicação contém mais seis pontos, nomeadamente as bases teóricas da hidrologia e da hidráulica no rio Mondego, as bases teóricas da biologia fluvial, as evoluções naturais dos sistemas físico-biológicos, a intervenção hidráulica no rio Mondego, uma análise da evolução após as intervenções, encerrando com uma conclusão.

2 - BASES TEÓRICAS DA HIDROLOGIA E DA HIDRÁULICA DO RIO MONDEGO

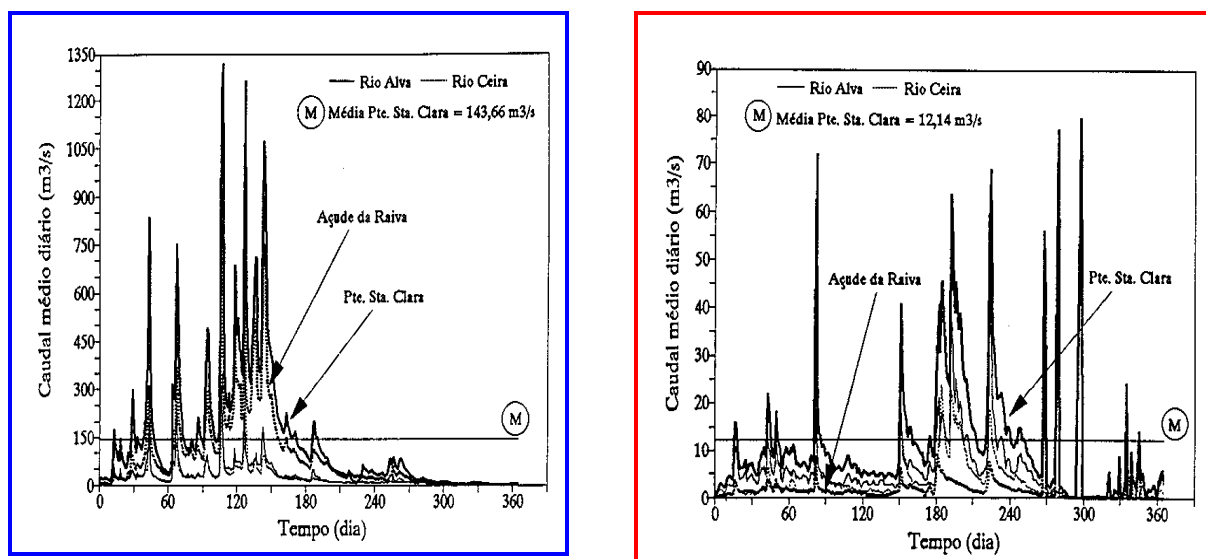
Um sistema fluvial em Portugal, à semelhança de muita outras regiões, apresenta uma grande variabilidade de caudais, e por consequência, de condições de escoamento nos leitos. As variações naturais apresentam diferenças muito significativas entre a estiagem, com ausência de caudais nalguns troços fluviais, até grandes caudais por ocasião das cheias. Estas apresentam importância dominante na evolução natural da morfologia fluvial.

A bacia do rio Mondego tem uma orientação dominante Nordeste-Sudoeste, uma área total de 6644 km², e o rio tem um comprimento de 234 km. A nascente na Serra da Estrela está à cota 1425 m acima do nível do mar, estando a sua foz no Oceano Atlântico junto à Figueira da Foz. A montante, nos primeiros 50 km o rio desce 750 m, entrando numa inclinação muito mais suave apenas a 80 km da foz. As principais formações geológicas são granitos e xistos da Meseta Ibérica, passando a jusante para arenitos e margas, e finalmente formações sedimentares recentes nos vales aluvionares.

Os valores mais elevados da precipitação encontram-se nas zonas montanhosas com 2800 mm de média anual, descendo até aos 900 mm nas zonas costeiras, sendo a média de 1200 mm. A precipitação concentra-se entre Outubro e Março com um valor de 73% do total.

Mas tão importante como a variação sazonal é a variação interanual. O escoamento médio anual é de 504 mm (3400 hm³), mas pode apresentar em anos secos apenas 277 mm (1800 hm³), com probabilidade 0,2, e 110 mm (731 hm³), com probabilidade 0,05. O caudal médio é de 108 m³/s.

As características principais do escoamento no rio Mondego podem ser visualizadas na Figura 1.



BELO (1992)

Figura 1 - Hidrogramas de caudais num ano húmido, 1976/77, e num ano seco, 1980/81

A erosão do solo tem sido uma força ambiental sempre presente em todos os tempos; no entanto, porque houve um aumento de intensidade do uso do solo, a erosão e o assoreamento são uma ameaça mundial a uma agricultura sustentada e a uma estabilidade geral do meio ambiente, LAL (1988). A sedimentação nos canais e nas planícies, resultante da deposição dos sedimentos vindos de montante, agrava as consequências das cheias pela aggradação* do leito do rio.

A descrição das características dos escoamentos em leitos aluvionares é feita por muitas variáveis, das quais se destacam as dimensões da secção transversal, a forma da mesma secção, a inclinação longitudinal do leito e o atrito nas fronteiras, fundo e margens. O conjunto destas características gerais do escoamento fluvial permitiram classificar a dimensão dos rios. É possível estabelecer as relações entre as características mutuamente interrelacionadas para os escoamentos fluviais. Estas relações são de grande interesse prático no estudo dos rios, permitindo o estabelecimento de leis gerais para os processos de formação dos leitos aluvionares, e por consequência, para os cálculos de engenharia e para a previsão das alterações dos leitos impostas pelas alterações do escoamento.

O conceito de número de ordem do rio é muito útil neste tipo de análise, porque além de atribuir uma designação numérica a cada troço de rio, também permite definir nesse troço as suas características físicas. De acordo com RZHANITSYN (1960) a hidrografia (comprimento do rio desde a nascente e área da bacia), a hidrologia (caudal médio, caudal de cheia médio, a relação entre ambos e a duração das cheias) e a morfologia (profundidade na estiagem, largura média do canal e inclinação longitudinal) podem ser relacionadas com o número de ordem do rio. Este autor verificou que os rios podem ir até ao número de ordem XV, tendo classificado os rios naturais desde a ordem IV. Verifica-se que o rio Mondego é um rio de ordem X.

A caracterização das cheias nas bacias hidrográficas permite definir o hidrograma de cheia e as propriedades do escoamento, tais como as profundidades, as velocidades, as dimensões do material de fundo aluvionar, o caudal sólido, etc. Esta caracterização é essencial para a definição do controlo das cheias, de defesa contra inundações e de regularização fluvial dos leitos aluvionares e ainda para o conhecimento do habitat nas margens e no leito dos rios.

3 - BASES TEÓRICAS DA BIOLOGIA FLUVIAL

A biologia dos sistemas fluviais é essencialmente dominada pelos ecossistemas ribeirinhos e zonas húmidas adjacentes, normalmente zonas apaludadas ou paúis. A vegetação das margens dos rios, também designada vegetação rípicola, onde dominam os habitats constituídos por salgueiros (*Salix* sp.), freixos (*Fraxinus angustifolia*), amieiros (*Alnus glutinosa*) e choupos (*Populus* sp.), proporciona as condições necessárias à existência de muitas outras espécies vegetais e animais, FREITAS e MARTINS (1997), mantém a estrutura física da margem, oferecendo a flexibilidade que não é possível no ambiente artificial, representa uma elevada biomassa, a qual beneficia e utiliza os recursos disponíveis no meio, resistindo à eventual disponibilidade sazonal destes mesmos recursos. Estes habitats naturais garantem um maior equilíbrio do sistema solo/biomassa vegetal/água, reduzindo a eutrofização do sistema fluvial e dificultando a invasão de espécies exóticas.

* A aggradação corresponde ao assoreamento generalizado de um leito fluvial.

As zonas húmidas adajacentes são habitats muito ricos em espécies e especialmente importantes por acolherem uma grande diversidade animal, em particular uma grande diversidade de aves. Caracterizam-se pela predominância de espécies como o caniço (*Phragmites australis*), bunho (*Scirpus palustris*), tabuas (*Typha latifolia*), nenúfar (*Nymphaea alba*), pinheirinha (*Myriophyllum aquaticum*), salgueiro (*Salix* sp.) e amieiros (*Fraxinus angustifolia*).

Em qualquer destas zonas, a adaptação das espécies vegetais presentes é impressionante, em particular a tolerância a situações de anóxia durante curtos mas também longos períodos, só possível por adaptações muito específicas do sistema radicular e/ou pela presença de mecanismos bioquímicos de tolerância aos compostos resultantes do metabolismo anaeróbio.

4 - AS EVOLUÇÕES NATURAIS DOS SISTEMAS FÍSICO-BIOLÓGICOS

O estudo do transporte sólido é certamente um dos mais importantes para a garantia de uma concepção de intervenção hidráulica duradoura em rios aluvionares. Em CUNHA (1969) é feita uma apresentação do estudo de transporte sólido efectuado para a regularização do rio Mondego a jusante de Coimbra. Foi considerado de interesse primordial a realização de uma campanha de medições do caudal sólido, tendo sido escolhidas duas estações, uma em Coimbra e outra em Vila Pouca, situada 10 km a jusante.

As medições do caudal sólido tiveram por objectivo tanto o material transportado por arrastamento como em suspensão, tendo sido dada especial atenção ao material arrastado, por ser mais importante e praticamente o único com influência no fundo do rio na zona a beneficiar.

O objectivo do estudo realizado foi a determinação dos valores globais do caudal sólido total no rio Mondego e a definição das relações entre o caudal líquido e os parâmetros característicos do escoamento e do material sólido.

O estudo realizado permitiu determinar que o material do leito é uma areia grossa variando o seu diâmetro médio entre 2,6 mm em Coimbra e 1,4 mm em Vila Pouca; que os volumes globais transportados pelo rio Mondego em Coimbra são de 223000 m³/ano por arrastamento, e 72000 m³/ano em suspensão, passando a 40% desses valores em Vila Pouca; e que o caudal sólido específico na bacia é de 55 m³/km².ano.

Verificou-se assim que teria existido, entre as duas secções de medição, um assoreamento de cerca de 131000 m³/ano, o que equivale a uma taxa de assoreamento de cerca de 10 cm/ano. Este valor é superior aos valores encontrados em vários rios portugueses, mas foi obtido por um método muito menos rigoroso.

Geralmente, a evolução dos rios, visualizados em perfil e em planta, é feita atendendo só aos fenómenos físicos. Mas existe uma forte influência da vegetação ripícola nessa evolução, que está longe de ser compreendida, exigindo um longo esforço multidisciplinar de investigação conjunta.

Os habitats naturais das zonas ribeirinhas tendem, à semelhança de todos os outros, para um equilíbrio dinâmico entre as espécies que os integram e a disponibilidade de recursos disponíveis no meio. Este equilíbrio é facilmente perturbado pela alteração de um factor ambiental. Por exemplo, a maior disponibilidade de compostos azotados nas margens dos cursos de água, em consequência da aplicação de fertilizantes nos campos agrícolas do Baixo Mondego, pode favorecer o desenvolvimento de uma espécie relativamente a outra, dependendo dos seus atributos fisiológicos e funcionais, com todas as consequências que daí advêm para a cadeia alimentar da qual estas espécies fazem parte.

Nestes habitats característicos das margens dos rios, quando não intervencionados, há uma evolução natural para o máximo de diversidade de espécies permitido pelos recursos disponíveis no meio. Nos paúis e zonas húmidas afins a evolução não é comparável. Trata-se, neste caso, de habitats temporários, cujo desenvolvimento foi possível e favorecido num determinado tempo. No entanto, com o enriquecimento em espécies e portanto com a gradual ocupação do habitat, verifica-se uma natural substituição de espécies por espécies cada vez mais exigentes e competitivas, conduzindo naturalmente a sucessão ecológica para as suas etapas finais o que acabará por significar o fim da zona húmida e a sua substituição pelo bosque mesofítico.

5 - A INTERVENÇÃO HIDRÁULICA NO RIO MONDEGO

As cheias no rio Mondego ocorreram desde pelo menos o século XIV, afectando a vida de uma das principais cidades de Portugal, Coimbra. A cidade, com uma importante universidade desde o século XII, pôde registar as cheias mais importantes, das quais se destacam as dos anos 1331, 1788, 1821, 1842, 1852, 1860, 1872, 1900, 1915, 1962, 1969 e 1979. Numa frequência empírica pode verificar-se que as cheias designadas como importantes tiveram um período de retorno de 50 anos. Pode ainda verificar-se que nos dois últimos séculos, com a mesma análise empírica, as cheias importantes têm um período de retorno de 20 anos. Tornava-se evidente a necessidade de intervenção para controlar as cheias.

Foi desde há muito evidente que o rio Mondego carecia de um controlo de cheias. De facto desde 1781 até 1807 a situação dos campos do Mondego melhorou muito após a abertura de um novo leito. Mas a situação foi piorando, devido ao assoreamento do rio, chegando ao século XX numa situação insustentável.

Foi preparado um plano para a intervenção hidráulica na década dos anos sessenta, FERREIRA e CUNHA (1970), e implementada desde a década dos anos oitenta. Além de duas grandes barragens foram construídos novos leitos aluvionares, incluindo 7,7 km de diques de defesa, uma dragagem de 16 hm³ e revestimentos de enrocamentos, para protecção dos novos leitos, com um volume de 0,5 hm³.

Outra das bases necessárias para a concepção e projecto da regularização foi o Estudo do Regime de Transporte Sólido dos Principais Afluentes do Baixo-Mondego, CORREIA (1975) e ABREU e CORREIA (1983). Este estudo destinou-se a fornecer elementos para o dimensionamento dos leitos regularizados dos afluentes do rio Mondego, com caracterização granulométrica dos materiais de fundo, referente aos anos hidrológicos 1972/73 a 1977/78. A regularização destes afluentes ainda não está concluída.

Como nota digna de realce pode ser indicado que a medição dos níveis hidrométricos nestes afluentes permitiu verificar a influência da construção de açudes temporários para as actividades agrícolas, o que chama a atenção para a influência das actividades humanas no escoamento fluvial.

No rio Mondego há 23 esquemas hidráulicos, com um total de 630 hm³ de capacidade de armazenamento, apresentando o maior uma capacidade de 405 hm³, a albufeira da Aguieira. Este é um aproveitamento de múltiplos objectivos, produção de energia hidroeléctrica, controle de cheias e fornecimento de água para a rega. O outro grande aproveitamento, o de Fronhas, com 89 hm³, é gerido em conjunto com o primeiro, estando as duas albufeiras ligadas por um túnel.

Os caudais de cheia em Coimbra eram da ordem dos 2500 m³/s, sendo amortecidos para 1200 m³/s através dos dois aproveitamentos referidos anteriormente. Na foz estão previstos caudais de 3000 m³/s. Foi escolhido um período de retorno de 25 anos para a defesa de terrenos agrícolas com uma área de cerca de 15000 ha, LENCASTRE (1980).

6 - ANÁLISE DA EVOLUÇÃO APÓS AS INTERVENÇÕES

A intervenção no rio Mondego, que decorreu durante vários anos, e incluiu a regularização dos leitos fluviais e a construção de barragens, de infraestruturas de rega e de suporte à vida das populações, terá certamente um impacto nos leitos fluviais. A sua evolução futura deveria ser acompanhada, por uma equipa multidisciplinar.

A construção dos aproveitamentos hidroeléctricos relativos à primeira fase do Plano Geral de Ordenamento da Bacia do Mondego, elaborado em 1962 pela Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, iniciou-se em 1974 e terminou em 1986. Os escalões da Aguieira e de Fronhas e os açudes da Raiva e de Coimbra constituem as infraestruturas de origem da água desta primeira fase do aproveitamento dos recursos hídricos da bacia e, de acordo com DGRAH (1987), a sua construção foi decidida para viabilizar o sistema de beneficiação do Baixo Mondego.

No trecho limitado pelos açudes da Raiva e de Coimbra, tendo em conta a acentuada variabilidade do escoamento, a irregularidade topográfica do leito e a grande diversidade das características dos sedimentos, o rio Mondego apresentava características mistas de rio aluvionar e de rio de montanha. A construção dos referidos aproveitamentos hidroeléctricos veio alterar o regime fluvial, para o que contribuiu também a extracção de areias de origem aluvionar. Esta prática intensificou-se a partir de 1977 e, em 1988, ainda decorria, concentrando-se em locais situados entre a ponte de Penacova e a ponte de Santa Clara, em Coimbra.

A necessidade de estudar o transporte sólido do rio Mondego entre os açudes da Raiva e de Coimbra é justificada em CARDOSO e ROCHA (1985), definindo-se os objectivos a atingir:

- avaliar a evolução do perfil longitudinal do leito do rio no troço em estudo;
- quantificar o caudal sólido total (por arrastamento e em suspensão) em várias secções e, em particular, na zona de jusante do troço observado;

- caracterizar aspectos do regime aluvionar do rio Mondego, nomeadamente relacionando o raio hidráulico, o diâmetro mediano do material do fundo, a rugosidade do fundo, o regime do escoamento, a velocidade média e o declive da linha de energia.

Tendo em conta a informação recolhida nas campanhas efectuadas entre 1985/86 e 1987/88 e em outras realizadas anteriormente no mesmo trecho do rio Mondego foi feita uma análise por BELO (1992a).

A evolução dos perfis longitudinais foi conseguida a partir de todos os levantamentos efectuados, 1964, 1974, 1978 e 1985. Foi possível indicar quatro zonas do perfil com padrões de evolução distintos, Figura 2.

Até à confluência com o rio Alva, o fundo do rio em 1985 não se afasta muito da sua situação em 1974, o que se deve à influência dos afloramentos rochosos existentes. A jusante, num total de cerca de 7 km, a evolução do fundo é muito irregular, reflectindo talvez a variabilidade espacial da forma das secções transversais do trecho, o aumento da capacidade de transporte do escoamento pelo acréscimo de caudal devido ao rio Alva. Na terceira zona do perfil, que termina cerca de 0,5 km a montante da confluência do rio Ceira, o leito do rio Mondego desce de uma forma aproximadamente constante, tendo ocorrido uma degradação do fundo de cerca de 1 m. Na quarta zona observam-se fortes erosões localizadas, a que corresponde uma grande descida local do leito entre 1964/74 e 1985. Em duas secções esta erosão atinge valores de 5,6 m e 5,9 m. Em relação ao levantamento de 1978 são evidentes os sinais de forte escavação no leito devido à extracção de areias, efectuada a montante da ponte de Santa Clara.

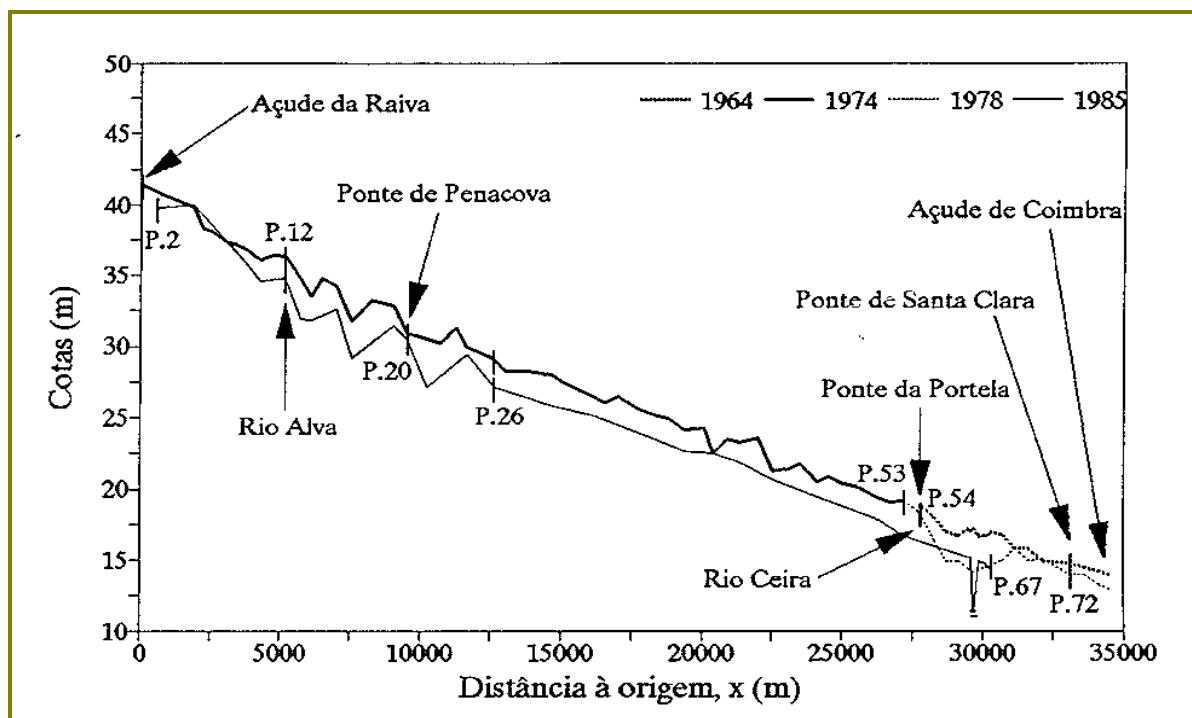


Figura 2 - Perfis longitudinais do rio Mondego, BELO (1992a)

A existência de levantamentos do fundo em 1974 e 1985 permitiu correr o modelo MOBED, BELO (1992), e verificar a qualidade dos resultados obtidos. Foi necessário efectuar vários cenários simplificativos para atender ao desconhecimentos da caracterização do material sólido do fundo no início da simulação e da quantidade de material extraído no fundo.

Entre 1974 e 1985 observou-se um abaixamento geral do leito do rio Mondego entre o açude da Raiva e a ponte de Santa Clara, em Coimbra. Na origem desta erosão está fundamentalmente o efeito de desequilíbrio no escoamento, induzido pela barragem da Aguieira, e pelo açude da Raiva, que retêm os sedimentos nas respectivas albufeiras.

De uma maneira geral, a regularização do curso do rio Mondego, tornando margens artificiais, conduziu a uma diminuição da diversidade de espécies presentes, perda de habitats naturais, descida do nível de alguns lençóis freáticos, com importantes consequências sobretudo para espécies de porte intermédio e promoveu a eutrofização do sistema fluvial e, por consequência, a invasão com êxito de espécies exóticas (e.g. *Acacia* sp.), uma importante ameaça para as espécies nativas.

Relativamente às zonas húmidas adjacentes, algumas tradicionalmente utilizadas para a orizicultura, outras sem utilização agrícola ou abandonadas após exploração agrícola, em função das suas condições de drenagem e encharcamento, permitiram a recuperação da vegetação natural, tipicamente uma vegetação de paúl. A alteração do curso do rio conduziu naturalmente a alterações nestes habitats, tendo por um lado, por alterar as condições de encharcamento do solo, conduzido ao acelerar do processo de sucessão e à extinção destes habitats temporários, e por outro lado, permitido o surgimento de novas áreas húmidas, novos habitats. Poderíamos assim entender como pouco relevante o impacto biológico neste aspecto concreto e entender o processo como uma mera substituição de habitats. No entanto, não se pode deixar de referir que a recuperação dos sistemas biológicos é cada vez mais difícil pois, os factores de perturbação são cada vez em maior número e actuam cada vez mais rapidamente, por exemplo, a pressão demográfica, a fragmentação dos habitats - com implicações graves para a dispersão das espécies nativas e extremamente favorável à propagação de espécies oportunistas, frequentemente invasoras.

A troca de terrenos agrícolas tem ainda um impacto ambiental importante que diz respeito ao aumento da área de introdução de fertilizantes e à própria troca de espécies. A maior ou menor disponibilidade de alguns fertilizantes, com frequência compostos azotados, os quais constituem nutrientes para as plantas e favorecem o crescimento rápido de espécies designadas oportunistas, pode conduzir a uma grande perda da diversidade biológica e a uma gradual monoespecificidade dos ecossistemas naturais e semi-naturais mas também com impactos consideráveis nos ecossistemas agrícolas, que deixam de beneficiar das barreiras naturais constituídas pelas espécies nativas. A maior diversidade dos sistemas biológicos aumenta a sua resistência às espécies invasoras, TILMAN (1996).

A fragmentação da paisagem do Baixo Mondego, consequência em parte das obras realizadas mas também do aumento da pressão demográfica e particularmente do aumento da construção de fogos, teve ainda consequências para a floresta, com uma diminuição da área de pinhal e uma maior área de eucaliptal, sendo a expansão desta última especialmente importante nos terrenos tornados incultos.



Legenda



Linhas de água Matos e espécies perenifólias Eucaliptal e pinhal Pinhal

Figura 3 - Cartografia da vegetação natural, semi-natural e introduzida da região de Montemor-o-Velho (carta militar 240)

7 - CONCLUSÃO

A complexidade dos fenómenos fluviais, com maior importância nos leitos aluvionares sujeitos a variações morfológicas, e a existência de diferentes escalas temporais e espaciais desses fenómenos, devem conduzir a uma análise prévia cuidada das intervenções nos rios.

A intervenção no rio Mondego é exemplar nesse ponto de vista, tendo havido o cuidado de analisar a influência das obras hidráulicas com um conjunto extenso de estudos teóricos, observações e modelações. O LNEC, a par de outras instituições, esteve envolvido cerca de 25 anos em estudos para a concretização do que hoje existe no Baixo Mondego.

No entanto, a resposta do rio às intervenções executadas, e ainda em curso, é lenta. Por este motivo, o acompanhamento da sua evolução e a previsão do comportamento para as próximas décadas é indispensável para uma boa gestão.

Com efeito, no que diz respeito aos fenómenos sedimentológicos onde o LNEC teve maior trabalho, sabe-se que nas zonas baixas dos rios que têm a foz no Oceano Atlântico ocorre naturalmente um assoreamento. Este, segundo os dados disponíveis pode apresentar taxas de assoreamento entre 1 e 4 cm/ano. No entanto, esta taxa poder ser reduzida, de um valor difícil de quantificar, por acções humanas, entre as quais se destacam a construção de barragens e a extracção de areias. O único modo de quantificar essa evolução é o da observação directa, com o apoio da modelação matemática.

Em estreita ligação com a análise os fenómenos sedimentológicos deve estar a análise das cheias, por dois motivos. Em primeiro lugar, porque é durante as cheias que ocorrem os máximos do transporte sólido e das alterações morfológicas dos fundos aluvionares. Em segundo lugar, porque o lento assoreamento, e que por vezes durante as mesmas cheias pode ser temporariamente muito significativo, faz aumentar os níveis da cheia.

A obra de regularização construída no rio Mondego é simultaneamente uma obra de defesa e controlo de cheias. Toda a obra de defesa é feita para um caudal de projecto, que no caso presente, no que diz respeito aos diques longitudinais corresponde a um período de retorno de 25 anos. Por esse motivo, deve ser analisada e preparada a resposta à ocorrência de caudais superiores ao caudal de projecto. Felizmente já há experiência do comportamento do sistema para um caudal da ordem do caudal de projecto, que provou o bom comportamento da obra.

Tendo decorrido mais de 10 anos sobre o último levantamento, podendo prever-se o interesse da extracção das areias no leito a montante do açude de Coimbra, não havendo medições recentes de transporte sólido, e não tendo conhecimento de nenhum levantamento dos leitos regularizados a jusante do açude de Coimbra, deverá ser encarada a hipótese de elaborar um programa de observações, faseado no tempo, com o objectivo fazer o diagnóstico da evolução passada do rio Mondego, e sequente previsão da evolução futura.

Esta previsão é essencial para um intervenção por antecipação, e não para remediar, que geralmente é mais cara. A mesma necessidade de modelação e previsão se verifica para avaliar a integridade dos sistemas biológicos e o equilíbrio entre estes sistemas e as populações humanas. Nestes sistemas, com frequência, nem sequer é possível remediar, ou porque as

espécies entretanto se extinguíram, ou porque a fragmentação mal planeada impediu a dispersão das populações de seres vivos residentes, ou ainda, porque as perturbações ocorridas não permitem a restauração do equilíbrio.

A região do Baixo Mondego tem uma longa história de perturbações antropogénicas mas, apesar disso, sempre se caracterizou por uma grande riqueza em espécies e habitats. Nos últimos tempos, o impacto das perturbações sobre os sistemas biológicos é cada vez mais significativo, pois muitos sistemas foram submetidos a uma rápida transição para a agricultura moderna.

A obra do Baixo Mondego foi realizada de modo a assegurar melhores condições de vida às populações residentes nesta área, nomeadamente através de um controlo eficaz das cheias. A prioridade da actuação do ecólogo é também o bem estar das populações humanas, em particular através de uma relação equilibrada entre estas e o meio ambiente. Esta preocupação tornou-se mais importante nas últimas décadas, ao assistirmos à implementação de modelos de desenvolvimento não sustentado, os quais se verificou entrarem rapidamente em ruptura com os sistemas biológicos, sendo o Homem parte destes.

Entre outras coisas já realçadas, se, no início da obra, tivéssemos adoptado uma estratégia integrada de utilização dos leitos de cheia, sem prejuízo das funções para que foram criados, teríamos um claro exemplo de uma gestão biológica equilibrada, aproveitando os habitats húmidos temporários que naturalmente se desenvolvem nestes leitos, por exemplo, como habitat e residência para muitas espécies de aves.

Considerando todos os impactos resultantes da artificialização de habitats naturais, os quais quase nunca são imediatamente identificados, escapando portanto à nossa percepção, sugerimos que a avaliação de intervenções deste tipo se realize previamente, tendo em conta a necessidade de preservar espécies e habitats adaptados às condições, as quais têm uma maior capacidade de recuperação e resiliência e ainda, com base em modelos matemáticos fundamentados nos processos biológicos e ecológicos, de modo a perceber quais as espécies e processos essenciais para o funcionamento do ecossistema intervencionado. Para conseguir uma gestão eficaz e equilibrada dos sistemas biológicos será sempre necessária uma avaliação e monitorização posterior à intervenção.

Poder-se-á concluir que é altura para fazer uma avaliação da evolução do ambiente fluvial do rio Mondego, de modo a determinar os desvios da evolução esperada dos leitos aluvionares, tendo em conta não só os parâmetros hidráulicos e sedimentológicos, mas também os concomitantes efeitos na ecologia fluvial. Após essa avaliação será possível definir um esquema de monitorização que acompanhe em tempo real a evolução do rio Mondego.

BIBLIOGRAFIA

ABREU, A.P. e CORREIA, F.N. - *Estudo do regime de transporte sólido dos principais afluentes do Baixo-Mondego. Estudo referente aos anos hidrológicos 1972/73 a 1977/78.* LNEC, realizado para a Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, 1983.

- BELO, J.C. - *Modelação matemática de escoamentos variáveis com leito móvel*. Tese de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1992.
- BELO, J.C. - *Transporte do rio Mondego entre os açudes da Raiva e de Coimbra. Apresentação e caracterização da informação de base recolhida*. 2º Relatório, Relatório 184/92-NHHF, LNEC, Lisboa, 1992a.
- CARDOSO, A.H. e ROCHA, J.S. - *Transporte do rio Mondego entre os açudes da Raiva e de Coimbra. Programa de observações*. 1º Relatório, LNEC, Lisboa, 1985.
- CORREIA, M.L. - *Estudo do regime de transporte sólido dos principais afluentes do Baixo-Mondego, 1º relatório, Breve análise dos elementos de campo previamente disponíveis, planeamento e programação das observações a realizar, e análise dos dados recolhidos no ano hidrológico 1972/73*, LNEC, 1975.
- CUNHA, L.V. - *Regularização do rio Mondego a jusante de Coimbra. Estudo de transporte sólido*, LNEC, Lisboa, 1969.
- DE VRIEND, H.J. - "River morphology: A manifestation of nonlinear dynamics", in *Managing Water: Coping with Scarcity and Abundance, Proceedings of theme A, Water for a Changing Global Community, XXVII IAHR Congress, San Francisco (USA)*, 11-15 Agosto 1997, pp. 10-15.
- DGRAH - *Aproveitamento hidráulico do vale do Mondego*. SEARN, Lisboa, 1987.
- EHRlich, P. R. e DAILY, G.C. - "Population extinction and saving biodiversity". *Ambio*, **22**,2-3, 1983, pp. 64-68.
- EHRlich, P. R. e EHRlich, A. H. - *Extinction. The causes and consequences of the disappearance of species*. Random House, New York, USA, 1981.
- FREITAS, H. e MARTINS, M. J. - *Relatório de Progresso para os Sítios 31 (Paúl de Arzila), 32 (Paúl de Madriz), 33 (Paúl do Taipal) e 35 (Costa Quiaios-Mira)*. Directiva Habitats - 92/43/CEE. ICN, Lisboa, 1997.
- FERREIRA, J.F. e CUNHA, L.V. - *The regulation of Mondego river. Study of sediment discharge in prototype and description of the help given by a mathematical and a physical model in the solution of the problem*, Memória Nº 359, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, Lisboa, 1970.
- LAL, R. (Ed.) - *Soil erosion research methods*. Soil and Water Conservation Society, Wageningen, 1988.
- LENCASTRE, A. - "Controle de Cheias, irrigação e drenagem da planície do Mondego", *Recursos Hídricos*, **1**, 3, 1988, pp. 29-42.
- PIMM, S.L. - "The complexity and stability of ecosystems". *Nature*, 307, 1984, pp. 321-326.
- ROCHA, J.S. e CORREIA, F.N. - "Defence from Floods and Floodplain Management in Middle-size Catchments", in *Defence from Floods and Floodplain Management*, editado por J. Gardiner, O. Starosolszky e V. Yevjevich, NATO ASI Series, Series E: Applied Sciences - Vol.299, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (Holanda), 1994, pp. 395 - 417.
- RZHANITSYN, N.A. - *Morphological and hydrological regularities of the structure of the river net*, traduzido por Krimgold para o USDA, original Gidrometeoizdat, Leninegrado, 1960.
- SCHULZE, E.-D. e MOONEY, H. A. - *Biodiversity and Ecosystem function*. Springer-Verlag, Berlin, 1993.
- TILMAN, D. - "Biodiversity: Population versus Ecosystem stability". *Ecology*, **77**, 2, 1996, pp. 350-365.