AS REGIÕES HIDROGRÁFICAS DO NORTE E AS PERSPECTIVAS FUTURAS DE GESTÃO

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS
NÚCLEO REGIONAL DO NORTE

AS REGIÕES HIDROGRÁFICAS DO NORTE E AS PERSPECTIVAS FUTURAS DE GESTÃO

[Maio de 2009]

1.º Seminário
sobre Gestão de Bacias Hidrográficas

"As Regiões Hidrográficas do Norte e as Perspectivas Futuras de Gestão"

Editado por:
Prof. Francisco Taveira Pinto
Núcleo Regional do Norte da APRH

Secretariado por:
Paula Isabel Pinto

Núcleo Regional do Norte da APRH
A/C IHRH-FEUP
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto

Telf. 351 22 508 19 24
E-mail: paulap@fe.up.pt

© Depósito Legal nº ……

Execução Gráfica
Marca-ag.com, Porto_.....2010

ISBN: 978-972-99991-8-5

Índice

Modelo de apoio à decisão para a gestão de bacias hidrográficas
Alda P. Pereira, Naim Haie & Luís Filipe Fernandes 1

Caracterização de bacias hidrográficas para fins de aproveitamento hídrico no concelho de Torre de Moncorvo, utilizando SIG
Caetano, C.A.R. & Pacheco, F.A.L. 11

A importância da rede hidrográfica no planeamento do território
A. Rebelo da Silva, Rosa R. Barros & Rita S.F. Machado 23

Reabilitação do corredor ecológico do rio Uíma (Santa Maria da Feira)
Emídio Sousa, Marina Rodrigues & Pedro Teiga 31

Gestão participada e políticas de gestão das águas: Portugal e Brasil
Ana Adélia Batista, Valmir de França & Henrique Souto 39

Projecto AquaStress: uma abordagem para a gestão participativa dos recursos hídricos
Rodrigo Oliveira Maia 49

Perspectivas de interferência na gestão de recursos hídricos pelo comércio da água
Nisete A. Amigo 61

Efeito das barragens no transporte sedimentar fluvial
Bruno Ribeiro & Carlos Coelho 67

Avaliação do potencial de aproveitamento da energia da maré na ria Formosa
Catarina Almeida, Paulo A. Silva, Marc Hadden, José C. Amador & Xavier Bertin 77

Efeitos das alterações climáticas nas águas subterrâneas do litoral de Viana do Castelo
Júlio F. Ferreira da Silva, Alberto da Silva Lima & João Garcez Moreira 85

O papel dos sistemas tradicionais de gestão da água na mitigação das alterações climáticas
Cristina Ribeiro, Sandra Valente, Celeste Coelho & Adriana Abreu 95

Modelação e previsão de sucessões cronológicas de parâmetros de qualidade de águas superficiais
Júlio F. Ferreira da Silva, Sofia M.P. Bragança Salgado & Raquel Menezes 101

Domínio público hídrico na bacia hidrográfica do rio Ave. Uma breve perspectiva histórica
Francisco Silva Costa 111

Nota: Os textos e a qualidade das imagens são da responsabilidade dos autores.

Editorial

A 6 e 7 de Maio de 2009 decorreu na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, o 1.º Seminário sobre Gestão de Bacias Hidrográficas – "As Regiões Hidrográficas do Norte e as Perspectivas Futuras de Gestão", iniciativa organizada pela Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos – Núcleo Regional do Norte, sedeada no Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, da Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, do Departamento de Engenharia Civil da FEUP.

Durante este seminário, que contou com cerca de 120 participantes, foram apresentadas 33 comunicações distribuídas por 6 sessões, abrangendo os seguintes temas: Hidrologia: Modelação; Hidrologia: Reabilitação Fluvial e Monitorização; Gestão Participada; Aproveitamento Energético; Gestão de Sedimentos; Águas Subterrâneas; Alterações Climáticas; Uso da Água e Experiência Internacional.

A Sessão de Abertura incluiu a apresentação da comunicação "*Uma Nova Oportunidade para o Planeamento de Recursos Hídricos na Região Norte*", por parte do Prof. António Brito, Presidente da ARH-Norte.

A sessão relativa à apresentação de Experiências Internacionais contou com a presença de Philippe Gourbesville, Universidade de Nice, França, IAHR, de Victor Manuel Arqued, da Confederación Hidrográfica del Duero, Espanha e de Francisco Fernandéz Liñares, Confederación Hidrográfica del Miño-Sil, Espanha, respectivamente com as seguintes comunicações: *"The French Experience, a Case Study", "A Experiência Espanhola da Bacia Hidrográfica do Douro", "A Experiência Espanhola da Bacia Hidrográfica do Minho-Sil."*

Finalmente a Mesa Redonda dedicada ao tema geral "*As Regiões Hidrográficas do Norte e as Perspectivas Futuras de Gestão*" teve como intervenções/intervenientes: a Prof. Isabel Soares, Faculdade de Economia (UP), Prof. Rui Cortes, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), o Eng.º Guedes Marques, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDR-N) e o Eng.º Carlos Póvoa, Águas de Portugal (AdP), respectivamente com as seguintes comunicações: "*Possível Impacto na Economia dos Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica*", "*Importância da Monitorização para os Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica*", "A *Gestão da Água e os Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica", "A inovação e os Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica*". Estas exposições permitiram ilustrar diferentes abordagens e sensibilidades relativamente à gestão das bacias hidrográficas.

No primeiro dia do seminário foi também inaugurada a exposição "*Por este rio acima: água e engenho na bacia hidrográfica do rio Douro*", na biblioteca da FEUP, resultante de uma parceria entre a FEUP, a ARH-Norte e a APRH-NRNorte.

O seminário teve como objectivos a consolidação da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos – Núcleo Regional do Norte, favorecer o desenvolvimento de novos contactos e permitir a análise do desenvolvimento técnico e científico nas diferentes e variadas componentes dos Recursos Hídricos, mobilizando assim os Associados para a participação regular nas diferentes acções, de modo a melhorarem os seus conhecimentos.

Estes objectivos surgem na sequência de os recursos hídricos terem assumido, nas últimas décadas, uma importância crescente, constituindo também um factor de desenvolvimento socioeconómico, com alterações significativas na sua gestão.

Contudo, a percepção da inexistência de abundância sustentada da água, a variabilidade espacial e temporal dos fluxos de água no ciclo hidrológico e a sensibilidade dos meios hídricos como ecossistemas, determinam a necessidade de que essa gestão seja cada vez mais rigorosa, sejam adoptadas medidas específicas de prevenção, protecção, recuperação e melhoria do estado do meio hídrico e tenham que ser realizados investimentos em infra-estruturas.

Neste contexto, os vários instrumentos de planeamento são muito mais do que o mero cumprimento da legislação nacional e comunitária, porque constituem uma abordagem integrada dos recursos hídricos, fornecendo informação, sistematizando objectivos e recursos de uma forma inteligível para a generalidade dos cidadãos, dando coerência à acção e fornecendo aos responsáveis políticos e da Administração Pública, um conjunto fundamentado de sugestões e orientações, tendo em vista a tomada de decisões mais correctas no domínio dos recursos hídricos.

Ao longo do seu historial, a APRH tem exercido um papel crucial e um fórum de debate e de análise de muitos dos problemas inerentes aos recursos hídricos, nas suas mais variadas vertentes, contribuindo assim para a divulgação de conhecimentos e trocas de experiências em geral.

Neste contexto, o Núcleo Regional do Norte tem procurado servir estes princípios, junto dos associados e das instituições com interesses nestes domínios. Actualmente, com a criação da Administração da Região Hidrográfica do Norte, o papel regional assume uma importância relevante como catalizador de acções de divulgação técnica e científica, entre outras.

A experiência tem também demonstrado, em relação a vários domínios, a grande necessidade de promover uma crescente articulação entre aquelas que são as competências/actividades das Universidades e dos organismos públicos da administração central e local associados à área dos recursos hídricos, tornando-se necessário que certos temas sejam abordados, evidenciando o seu cariz mais prático e privilegiadamente dirigido para aqueles que são os problemas reais, a necessária e urgente avaliação, a definição de estratégias concertadas e, até porventura, contributos para a sua resolução.

É neste contexto que a APRH – Núcleo Regional do Norte propôs a realização deste seminário, com o objectivo de se ouvirem e discutirem propostas de resolução concretas de alguns problemas associados à gestão dos recursos hídricos nas três Regiões Hidrográficas sob jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Norte.

É evidente que esse objectivo não se esgota nas apresentações que foram efectuadas neste Seminário. Contudo, tenho a certeza que muitas delas não deixarão de contribuir para alertar para algumas questões e contribuir para a melhoria do conhecimento no que à Gestão das Bacias Hidrográficas diz respeito.

Porto, Maio de 2009

Prof. Francisco Taveira Pinto
(Presidente da Direcção do NRN-APRH)

COMUNICAÇÕES

©2009, ISBN 978-972-99991-8-5

MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA A GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS
Decision Support System for River Basins Management

ALDA P. PEREIRA [(1)], NAIM HAIE [(2)] & LUÍS F. FERNANDES [(3)]

[(1)] *Técnica Superior da Empresa Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro*
a.pereira@atmad.pt

[(2)] *Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho*
naim@civil.uminho.pt

[(3)] *Professor Auxiliar do Departamento de Engenharias da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro*
CITAB (Centro de Investigação e Tecnologias Agro-Ambientais e Biológicas)
filipe@utad.pt

Resumo

O aumento da procura dos recursos hídricos, a limitação da oferta destes recursos, tem sido uma preocupação constante para a sociedade actual. O aumento da complexidade na gestão dos recursos e a dificuldade de resposta às necessidades da procura fazem com que seja urgente a utilização de novas metodologias e tecnologias, de modo a poder criar modelos de previsão de cenários futuros. A partir deste contexto é fundamental fazer um levantamento do balanço de massas dos sistemas hídricos. Este trabalho tem como base a criação de um modelo de apoio à decisão para a gestão de bacias hidrográficas, com a aplicação do modelo matemático Mike Basin, utilizando alguns conceitos de índices matemáticos que serviram de apoio à análise dos resultados, visando a caracterização da prestação das simulações efectuadas no estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Sôrdo.

Palavras-chave: Recursos hídricos, bacia hidrográfica, pressões, gestão dinâmica, SIG (Sistema de Informação Geográfica), modelo Mike Basin, modelo de apoio à decisão.

Abstract

The increasing demand for water, limiting the supply of these resources has been a constant concern for the society. The increased complexity in the management of resources and the difficulty of meeting the needs of demand makes it urgent the use of new methodologies and technologies in order to create models for forecasting of future scenarios. Based on this context is essential to survey the mass balance of water systems. This work is based on creating a model of decision support for management of river basins, with the application of the mathematical model Mike Basin, based on some concepts of mathematical indices that serve to support the analysis of results, to characterize the simulations behaviour in the case study of the basin of the river Sôrdo.

Keywords: Water resources, hydrographic basin, pressures, dynamic management, GIS (Geographic Information System), Mike Basin model, decision support system

1. Introdução

A água é um recurso natural ao qual se atribui um elevado valor económico e social, tendo, nos últimos anos, o aumento do seu consumo provocado graves problemas ao nível da sua quantidade e qualidade, gerando conflitos políticos e sociais (Arsénio, 2003).

A disputa deste recurso pelos diferentes sectores provocou uma necessidade de se criarem regras de utilização e de se fazer uma gestão sustentável, garantindo assim a sua sustentabilidade para as gerações futuras (Vargas, 1999).

A tomada de decisão para a utilização da água tem a participação de diferentes sectores públicos e privados da nossa comunidade, de modo a fazer face à cada vez mais complexa gestão deste recurso natural (INAG, 1995).

Para auxiliar o processo decisório da sua gestão é imprescindível fazer um planeamento estratégico que vise melhorar as alternativas de desenvolvimento deste recurso.

Para isso é necessário considerar uma distribuição equitativa, o uso racional, a maximização do desenvolvimento económico, social, com minimização dos impactes ambientais (PNUD, 2006).

A falta de planeamento na gestão dos recursos hídricos a nível nacional, a deficiente monitorização e avaliação do potencial hidrológico, a falta de dados reais e concretos, não permitem fazer uma avaliação rigorosa do potencial deste recurso do nosso país (Mendes, 2004).

A eutrofização das massas hídricas superficiais constitui um dos mais significativos problemas, ainda por resolver, a nível do planeamento e gestão dos recursos hídricos. Este facto deve-se, fundamentalmente, às características difusas da contaminação de origem agrícola e à envolvente socioeconómica (Tundisi, 2003). A eutrofização resulta de um incremento da intensidade de produção biológica das massas de água, provocada por aumento dos níveis de nutrientes, com especial relevância para o azoto e o fósforo (Rodrigues *et al.*, 2002).

A sustentabilidade deste recurso está assim relacionada com o ordenamento do uso dos solos, e a gestão da água ao nível das bacias hidrográficas, identificando e preservando as fontes de abastecimento e condicionando os utilizadores para a melhor integração e sinergia entre actividades económicas e consumo humano (Wolf *et al.*, 1999).

A área estudada corresponde à bacia hidrográfica do rio Sôrdo, sub-bacia do rio Douro, localizada no distrito de Vila Real.

Foi feito um levantamento da evolução das necessidades de água para abastecimento público, industrial, agrícola e outros. Foi ainda feita a caracterização biofísica da bacia recorrendo a informação geográfica georreferenciada, e caracterizaram-se os principais parâmetros. Toda a informação foi organizada e armazenada num sistema de informação geográfica para posterior tratamento.

A ferramenta utilizada foi o software Mike Basin que funciona numa plataforma ArcGis. O Mike Basin é uma ferramenta para o planeamento e gestão dos recursos hídricos que se baseia na descrição da bacia, na disponibilidade dos recursos hídricos, na gestão das albufeiras, em sistemas de transferência ou de extracção de água e em restrições ambientais, permitindo a visualização de dados quantitativos e qualitativos no tempo e no espaço (DHI, 2008).

Ao longo do trabalho foi delineado um esquema metodológico com representação de todas as pressões exercidas nas várias bacias, relacionando as tipificações entre si, de molde a criar um modelo de correlação entre a tipificação utilizada, as consequências destas pressões nas bacias e as medidas possíveis para as minimizar ou suprimir impactes.

Será ainda descrito e executado o modelo de apoio à decisão de gestão dinâmica através do software "Mike Basin" para toda a área de estudo.

Finalmente, serão gerados cenários previsionais, de forma a simular as potencialidades do modelo desenvolvido, e sobre as quais serão tecidas as considerações finais e serão abordadas as perspectivas de desenvolvimento no domínio em análise.

2. Considerações Gerais

A capacidade de uma gestão eficiente das reservas de água é muito importante. Os elevados consumos, a perda da qualidade da água, a instabilidade climática têm provocado dificuldades às instituições com responsabilidades de gerir a água e satisfazer todas as necessidades da procura (Tundisi, 2003).

Com o intuito de auxiliar as instituições com responsabilidades na gestão da água têm-se vindo a desenvolver ferramentas informáticas baseadas em pressupostos matemáticos mais ou menos complexos.

Os modelos de apoio à decisão são sistemas de informação com ferramentas avançadas para auxiliar no processo de tomada de decisão na gestão dos recursos.

Estes modelos têm tido cada vez mais uma maior atenção devido ao crescente avanço da tecnologia da informação (Lima, 2007).

O desenvolvimento dos modelos de apoio à decisão devem combinar técnicas analíticas sofisticadas com uma fácil leitura por parte dos utilizadores não especializados (Azevedo *et al.*, 1997).

Com o objectivo de auxiliar a interpretação e a validação do modelo matemático de apoio à decisão iremos utilizar os índices de sustentabilidade que medem o desempenho de um sistema hídrico quando está em desequilíbrio, ou em défice (Hashimoto *et al.*, 1982).

Existem vários indicadores que podem ser utilizados como índices de avaliação do comportamento de um sistema, por exemplo através dos índices de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade. A confiabilidade indica-nos a frequência das falhas do sistema, a resiliência indica-nos como o sistema retorna ao seu estado de equilíbrio após a falha e a vulnerabilidade indica-nos quais as consequências que uma falha pode provocar (Lima *et al.*, 2004).

3. Estudo de Caso

O estudo de caso corresponde à bacia hidrográfica do rio Sôrdo que tem como principal função o abastecimento público de água aos concelhos de Vila Real e Santa Marta de Penaguião.

A bacia hidrográfica do Sôrdo situa-se no distrito de Vila Real, nos concelhos de Vila Real e Santa Marta de Penaguião, Figura 1.

A bacia do rio Sôrdo tem aproximadamente 50 km^2, uma extensão de 19 km e uma forma alongada, Figura 1. A sua altitude média é de 714 m e nasce a uma cota de 1350 m. Geologicamente a bacia é constituída por formações metamórficas e sedimentares de xistos, por rochas plutónicas, os granitos e por aluviões, Figura 2.

O clima varia de húmido a muito húmido, com uma precipitação média anual de 800 a mais de 1500 mm e uma evapotranspiração potencial de 650 a 750 mm. Na bacia hidrográfica do rio Sôrdo os usos do solo com maior representatividade são os matos, seguidos da floresta mista, da agricultura e por fim da vinha.

A zona de solos improdutivos é uma zona de grandes maciços rochosos onde o escoamento superficial, que depende do uso do solo, é praticamente total, Figura 2 (Cortes, 2003).

A carta de uso de solo bem como a de precipitação são muito importantes para a determinação dos coeficientes de escoamento e do escoamento superficial na área da bacia.

4. Metodologia

Para a modelação e simulação do comportamento hídrico da bacia em estudo utilizou-se o modelo matemático DHI Mike Basin Extend 2008 e DHI Mike Basin WQ 2008. O modelo tem como principais características associar técnicas de simulação e optimização através de uma rede de fluxos na qual os rios ("Reaches") principais e os seus afluentes são representados por rede de arcos ("Catchements"), nós ("Nodes") (DHI, 2008). Outra característica é a sua representação gráfica, que é feita através do programa ArcGis 9.2, permitindo a integração de sistemas de informação geográficos.

O modelo Mike Basin aplica um balanço de massas em toda a rede de fluxo; para isso são necessários dados de entrada e de saída de água do sistema hídrico a ser simulado (Lima, 2002).

A Figura 3 representa a bacia hidrográfica do rio Sôrdo que foi desenvolvida pelo modelo utilizado.

Para o modelo ser criado toda a informação introduzida foi georreferenciada, os "layers" foram georreferenciados para o Datum Lisboa Hayford Gauss IGeoE.

Para a criação do modelo no MIKE BASIN introduziu-se o modelo digital do terreno (MDT) e a partir deste obteve-se o sentido do escoamento e delimitaram-se as linhas de água. De seguida delimitou-se automaticamente a bacia hidrográfica, dividindo-a em sub-bacias.

Tendo as sub-bacias delimitadas definiu-se o modelo espacial, ou seja, definiram-se os locais de entrada (albufeira) e de saída de água (estação de tratamento de água do Sôrdo (ETA)) de modo a ser possível calcular os balanços de massas, Figura 3 (DHI, 2008).

Figura 1. Localização geográfica e representação da bacia hidrográfica do rio Sôrdo.

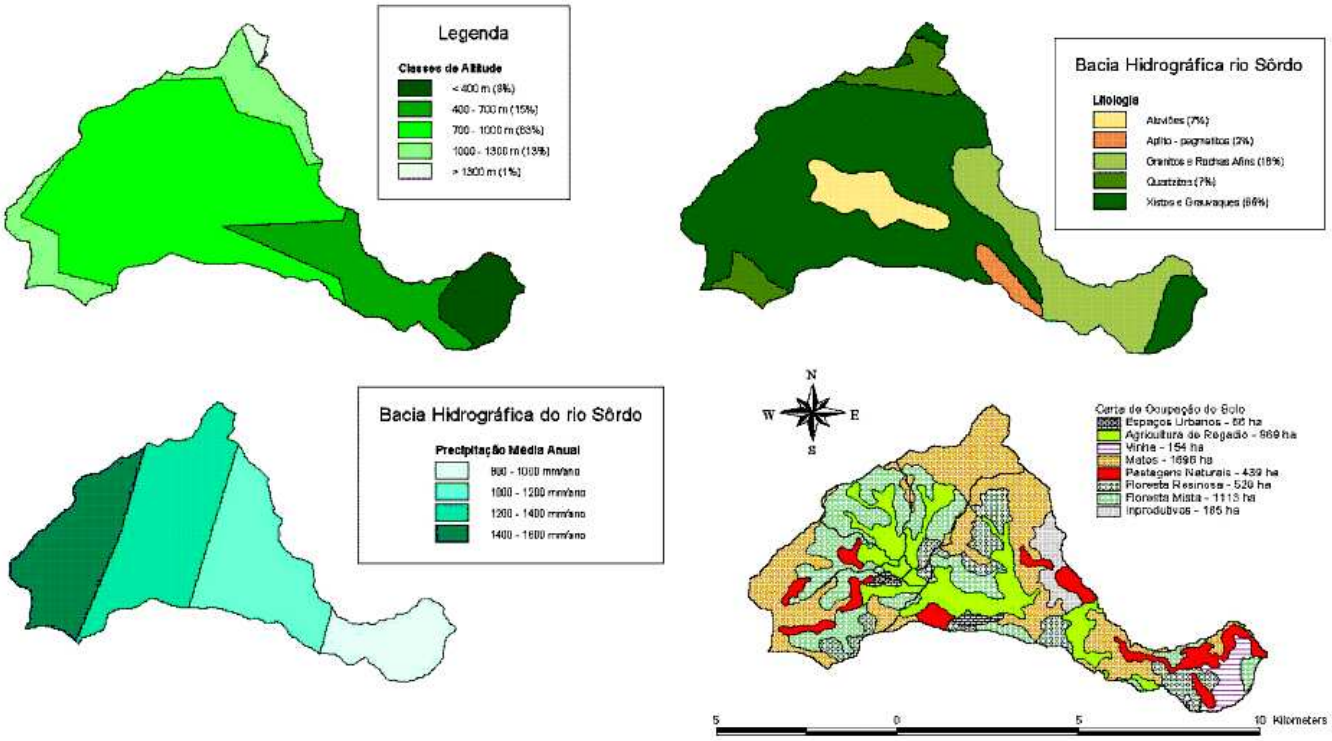


Figura 2. Caracterização edafoclimática da bacia hidrográfica do rio Sôrdo.

Figura 3. Bacia hidrográfica do rio Sôrdo e representação dos seus utilizadores.

Sempre que necessário, o modelo espacial criado pode ser modificado de forma rápida e expedita, uma vez que a sua capacidade de restauro é imediata, definindo novos utilizadores ou outro tipo de utilizações, de modo a criar cenários explorando todas as possibilidades de utilização da água (Lima, 2007).

4.1. Determinações Matemáticas

O escoamento superficial é um dado que tem ser tratado para ser introduzido no modelo, para isso é necessário obter a precipitação útil da bacia em estudo através da precipitação efectiva, Quadro 1.

Quadro 1. Precipitações efectivas da Campeã e de Vila Real, equação do coeficiente de escoamento.

Data	Precipitação Efectiva Campeã (mm)	Precipitação Efectiva Vila Real (mm)
01-01-2008	332.82	160.2
01-02-2008	309.70	169.6
01-03-2008	205.71	96.8
01-04-2008	176.30	89.8
01-05-2008	144.30	69.7
01-06-2008	76.93	53.3
01-07-2008	24.27	14.6
01-08-2008	28.60	15.8
01-09-2008	89.70	49.0
01-10-2008	208.20	108.2
01-11-2008	252.00	124.7
01-12-2008	298.35	159.8

A precipitação útil é determinada para cada uma das sub-bacias hidrográficas tendo como base a equação do coeficiente de escoamento, ou seja,

$$C = \frac{\text{precipitação útil}}{\text{precipitação efectiva}} \qquad [1]$$

Para determinar o coeficiente de escoamento, a usar na equação, foi tida em conta a carta de uso do solo, Figura 2, atribuindo a cada tipo de uso de solo o coeficiente de escoamento mais apropriado, Quadro 2, com base em Lencastre e Franco, 2006, e o estudo e conhecimento aprofundado da região.

Quadro 2. Representação dos usos do solo e respectivos coeficientes de escoamento, equação do coeficiente de escoamento ponderado.

Usos do Solo	C	A (ha)
Urbanos	0.5	66
Agricultura com Regadio	0.2	869
Vinha	0.1	154
Matos	0.07	1696
Pastagens	0.2	439
Floresta Resinosa	0.03	520
Floresta Mista	0.05	1113
Improdutivos	0.5	165

Após terem sido definidos os coeficientes para cada uso de solo procedeu-se à determinação do coeficiente de escoamento ponderado de cada sub-bacia utilizando a seguinte equação

$$C_{ponderado} = \frac{\sum Ci \times Ai}{Ai} \qquad [2]$$

Este processo foi utilizado para cada sub-bacia, obtendo-se o coeficiente de escoamento ponderado para cada uma delas. Para quantificar o escoamento superficial mediram-se as áreas de cada sub-bacia utilizando o modelo matemático MIKE BASIN.

Tendo o coeficiente de escoamento ponderado determinou-se a precipitação útil de cada sub-bacia pela seguinte equação

$$\text{Precipitação Útil} = C \times \text{Precipitação Efectiva} \qquad [3]$$

Obtém-se assim a precipitação útil média mensal para a sub-bacia 1, Quadro 3, sendo o processo análogo para todas elas.

A determinação do escoamento superficial resulta da multiplicação entre a precipitação útil (mm/mês) e a área de cada sub-bacia (m^2), Quadro 3, de acordo com a equação.

$$\text{escoamento} = \frac{\text{precipitação útil} \times 10^{-3}}{\text{dias} \times \text{horas} \times \text{segundos}} \quad [4]$$

Quadro 3. Precipitação útil e escoamento superficial na bacia 1.

Data	Precipitação Útil B1 (mm)	Escoamento B1 (m^3/s)	Escoamento B1 ($l/s/km^2$)
01-01-08	275.407.412	0.0752	10.28
01-02-08	256.275.691	0.0774	10.59
01-03-08	170.224.321	0.0465	6.36
01-04-08	145.887.647	0.0411	5.63
01-05-08	119.407.756	0.0326	4.46
01-06-08	636.593.119	0.0180	2.46
01-07-08	20.083.342	0.0055	0.75
01-08-08	236.664.022	0.0065	0.88
01-09-08	742.264.432	0.0209	2.86
01-10-08	172.284.788	0.0470	6.43
01-11-08	208.529.138	0.0588	8.05
01-12-08	246.883.605	0.0674	9.22

Todos os outros dados espaciais e temporais introduzidos, como as cotas da albufeira, utilizações de água e consumos, foram fornecidos pela empresa Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro (ATMAD) e directamente introduzidos no modelo.

A introdução de dados temporais no modelo foi efectuada através de séries temporais. A aplicação permite carregar a informação disponível em vários formatos.

4.2. Modelo Matemático da Qualidade

Este modelo matemático pode simular a qualidade da água superficial e subterrânea para fontes de poluição pontual e difusa.

Pode-se simular de forma directa o transporte e a degradação das substâncias mais importantes que afectam a qualidade da água dos rios: amoníaco, nitratos, oxigénio, fósforo, azoto e matéria orgânica dissolvida. Pode-se ainda simular de forma aproximada a carência bioquímica de oxigénio (CBO) e o oxigénio dissolvido (APHA, WPCF, 1998).

As equações que descrevem os processos de qualidade da água são baseadas no modelo de Streeter-Phelps (Streeter e Phelps, 1925) e são resolvidas numericamente pelo método de Runge-Kutta de 5ª ordem com algumas modificações (DHI, 2008).

Para a modelação da qualidade da água o Mike Basin possui uma ferramenta chamada "Load Calculater" que permite a integração de dados do SIG para o cálculo automático de cargas de poluição.

O declínio das cargas de poluição é determinado em função da distância e da retenção dos poluentes no solo (Lima, 2007).

As diferentes fontes de poluição podem ser classificadas em quatro tipos: fertilizantes, animais, domésticas e pontuais. Com esta ferramenta também é possível incluir eficiências de tratamento para as diferentes sub-bacias e para as diferentes fontes de poluição (DHI, 2008).

Antes de correr o modelo é necessário definir as condições de operação da albufeira, a cota mínima da captação, a cota máxima, o volume da albufeira, a variação da cota, as prioridades de utilização e todas as outras entradas que queiramos introduzir em função das saídas pretendidas.

5. Metodologia

5.1. Modelos Quantitativos

Para a apresentação dos resultados de quantidade de água, utilizou-se em primeiro lugar o modelo matemático para simular a situação real de utilização de água.

Os dados de entrada e os resultados determinados pelo Mike Basin são esquematicamente apresentados no Quadro 4 e 5.

Quadro 4. Dados de entrada e resultados determinados pelo Mike Basin.

Água utilizada no ano 2008 (m^3/s)		Água utilizada no ano 2009 (m^3/s)		Água utilizada no ano 2010 (m^3/s)	
Tempo	Água utilizada	Tempo	Água utilizada	Tempo	Água utilizada
01-01-08	0,0557	01-01-09	0,0557	01-01-10	0,0557
01-02-08	0,0584	01-02-09	0,0584	01-02-10	0,0584
01-03-08	0,0551	01-03-09	0,0551	01-03-10	0,0551
01-04-08	0,0525	01-04-09	0,0525	01-04-10	0,0525
01-05-08	0,0554	01-05-09	0,0554	01-05-10	0,0554
01-06-08	0,0783	01-06-09	0,0783	01-06-10	0,0783
01-07-08	0,1085	01-07-09	0,1085	01-07-10	0,1085
01-08-08	0,083	01-08-09	0,083	01-08-10	0,083
01-09-08	0,0979	01-09-09	0,0979	01-09-10	0,0979
01-10-08	0,0714	01-10-09	0,0714	01-10-10	0,0714
01-11-08	0,073	01-11-09	0,073	01-11-10	0,073
01-12-08	0,0659	01-12-09	0,0659	01-12-10	0,0659

Pode-se observar no Quadro 5 e na Figura 4 a água existente na albufeira, a água que é utilizada para consumo, o défice de água após a sua captação para abastecimento e a variação da água na albufeira.

Para as condições actuais de consumo, a água existente na albufeira é suficiente para satisfazer as necessidades, não havendo qualquer défice.

Assim o sistema não apresenta quaisquer falhas e mantém-se em estado de equilíbrio.

Para um cenário em que triplica o consumo, pode-se observar no Quadro 6 e 7 e Figura 5 os mesmos parâmetros anteriormente analisados mas para estas novas condições.

Pode-se então observar a água existente na albufeira, a água que é utilizada para consumo, o défice de água após a sua captação para abastecimento e a variação da água na albufeira.

Para as condições de consumo da simulação, a água existente na albufeira não é suficiente face às necessidades da procura, havendo défice em cerca de metade da simulação.

Quadro 5. Simulação das condições reais da albufeira – apresentação das tabelas de resultados.

Défice de água para 2009		Variação da água na albufeira para 2009	Défice de água para 2010		Variação da água na albufeira para 2010
Tempo	Défice da procura de água (m³/s)	Nível de água na albufeira (m)	Tempo	Défice da procura de água (m³/s)	Nível de água na albufeira (m)
01-01-09	0	500	01-01-10	0	522
01-02-09	0	518,3374	01-02-10	0	518,3374
01-03-09	0	522	01-03-10	0	522
01-04-09	0	522	01-04-10	0	522
01-05-09	0	522	01-05-10	0	522
01-06-09	0	522	01-06-10	0	522
01-07-09	0	522	01-07-10	0	522
01-08-09	0	518,4767	01-08-10	0	518,4767
01-09-09	0	515,1957	01-09-10	0	515,1957
01-10-09	0	514,2183	01-10-10	0	514,2183
01-11-09	0	519,5851	01-11-10	0	519,5851
01-12-09	0	522	01-12-10	0	522

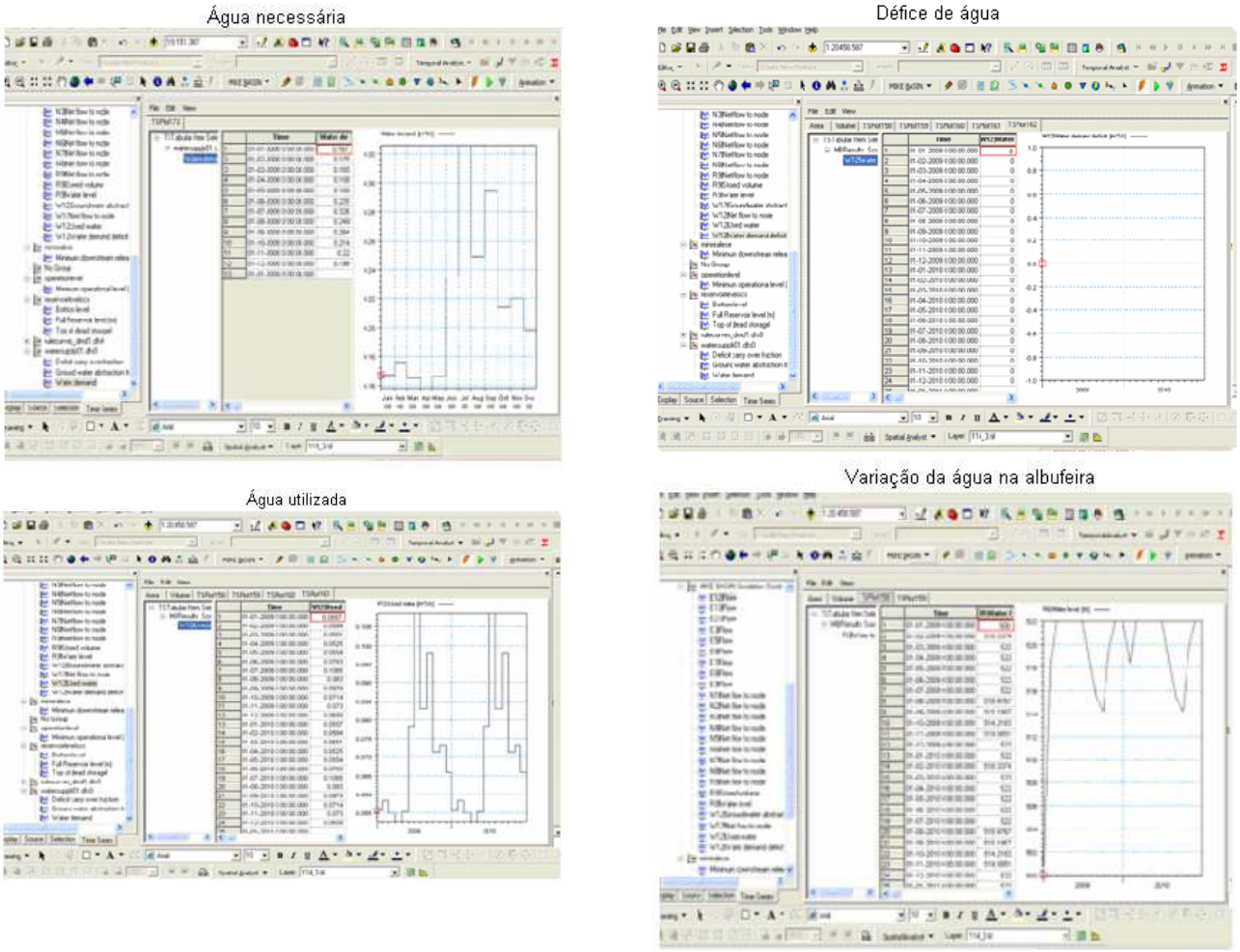


Figura 4. Simulação das condições reais da albufeira – resultados gráficos.

Quadro 6. Simulação das condições da albufeira para o triplo do consumo – tabelas de resultados.

Água utilizada no ano 2008 (m³/s)		Água utilizada no ano 2009 (m³/s)		Água utilizada no ano 2010 (m³/s)	
Tempo	**Água utilizada**	**Tempo**	**Água utilizada**	**Tempo**	**Água utilizada**
01-01-08	0,167	01-01-09	0,167	01-01-10	0,167
01-02-08	0,175	01-02-09	0,175	01-02-10	0,175
01-03-08	0,165	01-03-09	0,165	01-03-10	0,165
01-04-08	0,158	01-04-09	0,158	01-04-10	0,158
01-05-08	0,166	01-05-09	0,166	01-05-10	0,166
01-06-08	0,235	01-06-09	0,233738	01-06-10	0,2337387
01-07-08	0,326	01-07-09	0,014397	01-07-10	0,0143976
01-08-08	0,249	01-08-09	0,010831	01-08-10	0,0108313
01-09-08	0,294	01-09-09	0,078646	01-09-10	0,0786469
01-10-08	0,214	01-10-09	0,190879	01-10-10	0,1908792
01-11-08	0,22	01-11-09	0,219977	01-11-10	0,2199774
01-12-08	0,198	01-12-09	0,198	01-12-10	0,198

Quadro 7. Simulação das condições da albufeira para o triplo do consumo – tabelas de resultados.

Défice de água para 2009 e 2010		Variação da água na albufeira para 2009 e 2010
Tempo	**Défice da procura de água (m³/s)**	**Nível de água na albufeira (m)**
01-01-09	0	500
01-02-09	0	512,7648
01-03-09	0	520,0091
01-04-09	0	520,1296
01-05-09	0	520,2208
01-06-09	0,0012613	518,3212
01-07-09	0,3116023	510,6422
01-08-09	0,2381687	510,2
01-09-09	0,2153531	510,1984
01-10-09	0,02312084	510,2
01-11-09	0,02261202	510,2
01-12-09	0	510,9936
01-01-10	0	516,4191
01-02-10	0	412,7648
01-03-10	0	520,0091
01-04-10	0	520,1296
01-05-10	0	520,2208
01-06-10	0,0012613	518,3212
01-07-10	0,3116023	510,6422
01-08-10	0,2381687	510,2
01-09-10	0,2153531	510,1984
01-10-10	0,02312084	510,2
01-11-10	0,02261202	510,2
01-12-10	0	510,9936

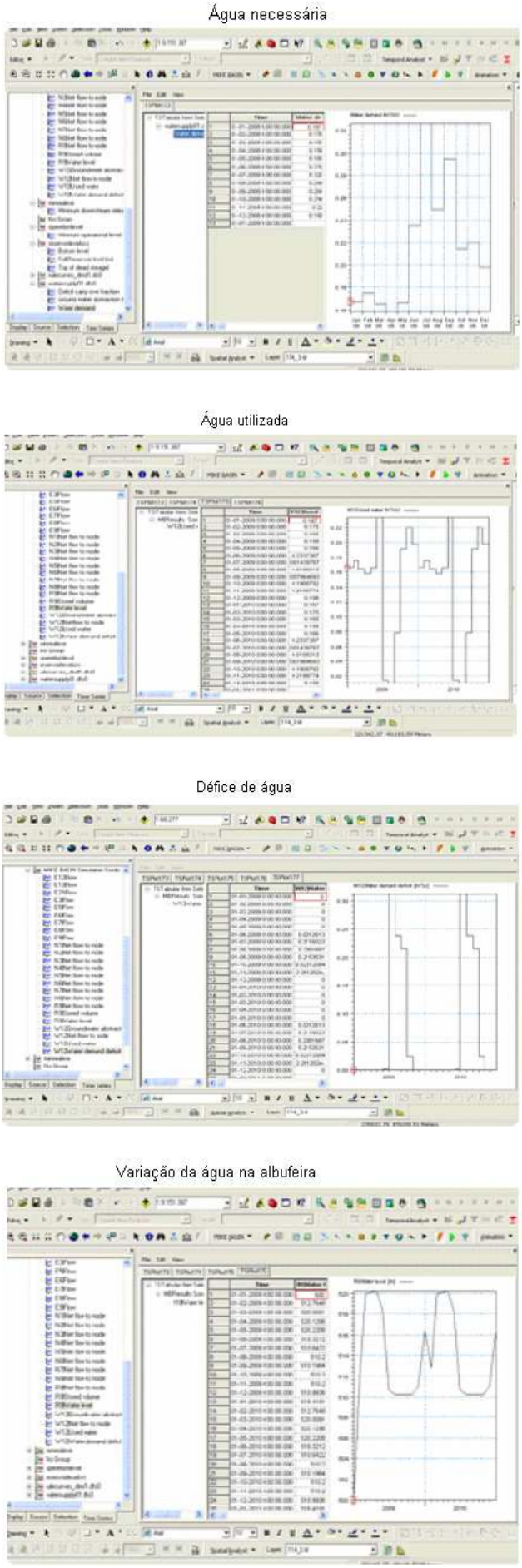


Figura 5. Simulação das condições da albufeira para o triplo do consumo – dos resultados gráficos.

Assim, o sistema apresenta falhas no abastecimento de água às populações, não consegue retomar o seu estado de equilíbrio após a falha, provocando falhas no abastecimento público.

5.2. Modelo Qualitativo

Na análise da qualidade da água utilizou-se o modelo matemático para a simulação das diferentes entradas. A criação de cenários para avaliar os teores de nitratos presentes na água, a contaminação das águas com nitratos, quando ultrapassa certos limites, pode ter consequências nefastas para o ambiente e para a saúde humana, pelo que deverá ser evitada.

A primeira simulação foi realizada com dados obtidos para os usos agro-pecuários existentes na bacia hidrográfica:

- Produção de milho nas zonas de regadio;
- Introdução de 170 kg de azoto por hectare.

Sabe-se que uma colheita de milho consome 150 kg de azoto por hectare, obtiveram-se os resultados apresentados nas Figuras 6 e 7.

5.3. Cenário 1

Neste cenário foram considerados os seguintes pressupostos e questões, Figura 8.

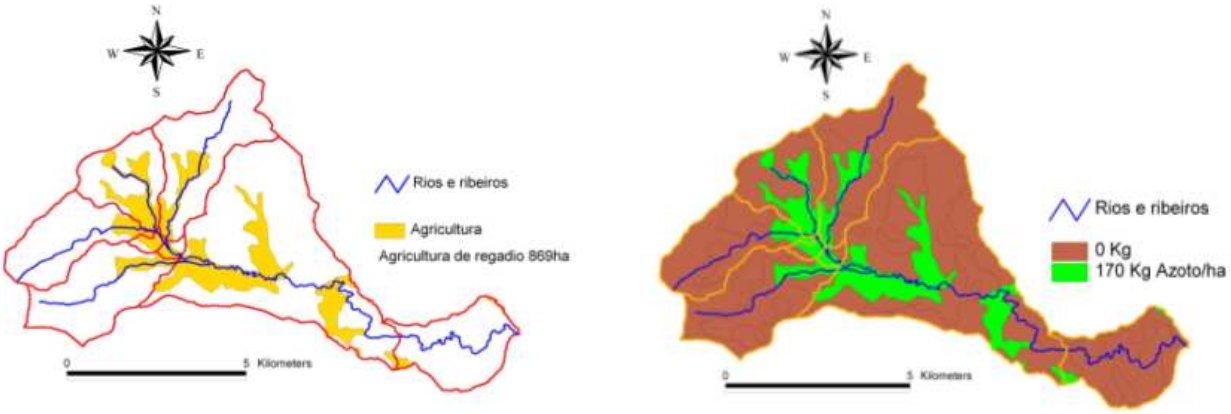
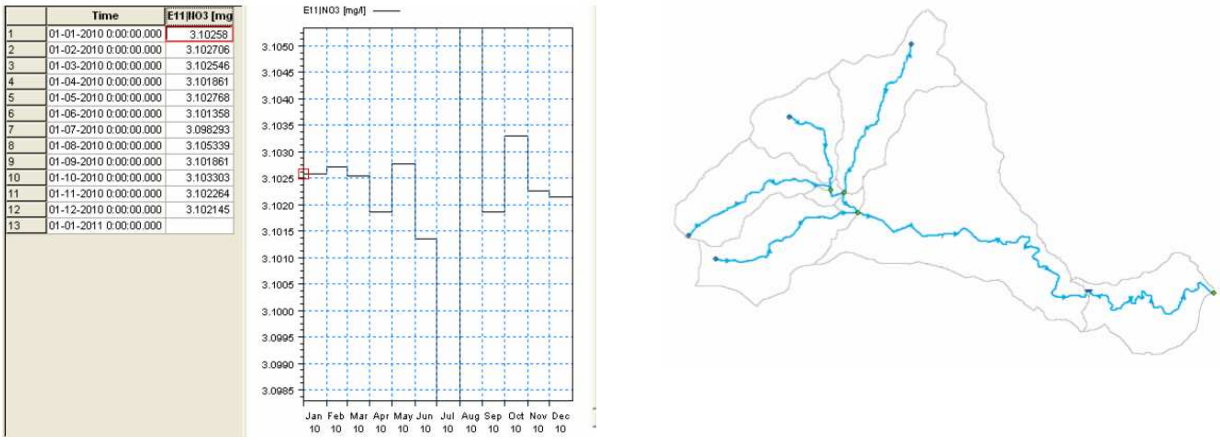
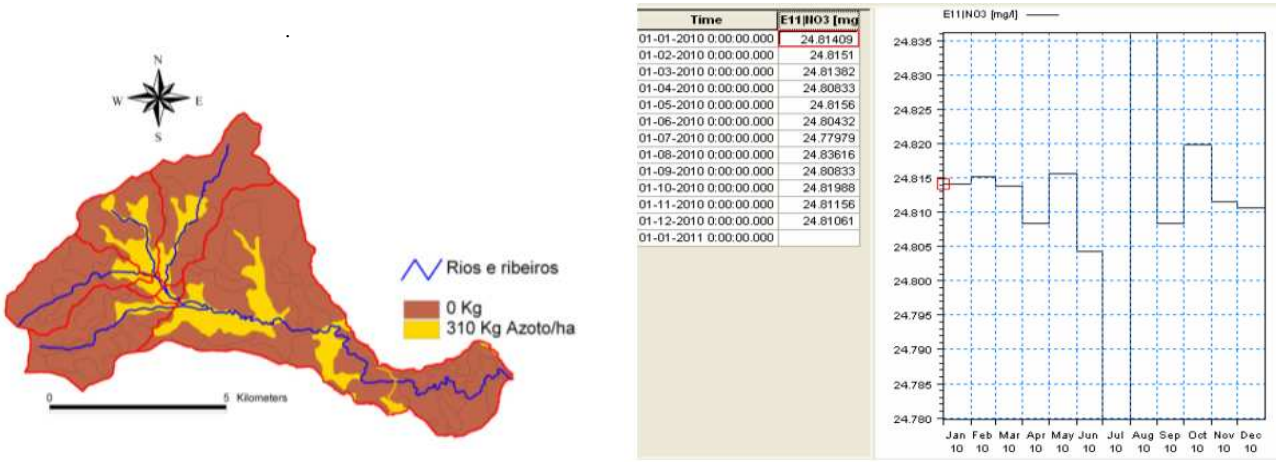


Figura 6. Representação dos dados para a simulação com os dados reais existentes na bacia.



	Time	E11|NO3 [mg
1	01-01-2010 0:00:00.000	3.10258
2	01-02-2010 0:00:00.000	3.102706
3	01-03-2010 0:00:00.000	3.102546
4	01-04-2010 0:00:00.000	3.101861
5	01-05-2010 0:00:00.000	3.102768
6	01-06-2010 0:00:00.000	3.101358
7	01-07-2010 0:00:00.000	3.098293
8	01-08-2010 0:00:00.000	3.105339
9	01-09-2010 0:00:00.000	3.101861
10	01-10-2010 0:00:00.000	3.103303
11	01-11-2010 0:00:00.000	3.102264
12	01-12-2010 0:00:00.000	3.102145
13	01-01-2011 0:00:00.000	

Figura 7. Representação dos resultados obtidos para a incorporação de 170 kg de azoto por hectare.



Time	E11|NO3 [mg
01-01-2010 0:00:00.000	24.81409
01-02-2010 0:00:00.000	24.8151
01-03-2010 0:00:00.000	24.81382
01-04-2010 0:00:00.000	24.80833
01-05-2010 0:00:00.000	24.8156
01-06-2010 0:00:00.000	24.80432
01-07-2010 0:00:00.000	24.77979
01-08-2010 0:00:00.000	24.83616
01-09-2010 0:00:00.000	24.80833
01-10-2010 0:00:00.000	24.81988
01-11-2010 0:00:00.000	24.81156
01-12-2010 0:00:00.000	24.81061
01-01-2011 0:00:00.000	

Figura 8. Representação do cenário 1 para a existência de 3000 cabeças de gado com incorporação total do estrume produzido, 310 kg azoto/ha.

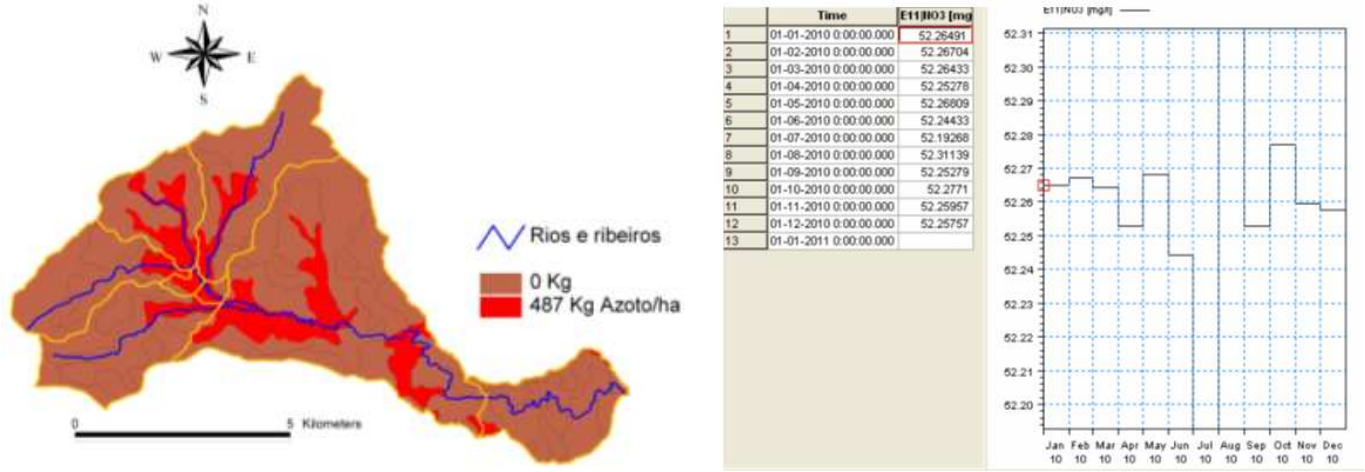


Figura 9. Representação do cenário 2 para existência de 4700 cabeças de gado com incorporação total do estrume produzido, 487 kg azoto/ha.

- Colocação de estrume de animais provenientes da região;
- Se todos os estrumes produzidos na região forem para fertilizar as terras da zona, qual é a quantidade de azoto introduzida no solo?
- Segundo o código de boas práticas agrícolas publicado pelo Ministério da Agricultura cada cabeça de gado bovino produz 90 kg de azoto por ano;
- Sabe-se que na região existem por volta de 3000 cabeças de gado bovino.

5.4. Cenário 2

Se em vez de 3000 cabeças de gado bovino existirem 4700 cabeças, introduzindo 487 kg azoto/há, Figura 9, Quadro 8 e 9.

Quadro 8. Representação dos valores de azoto recomendados e admitidos – Decreto-lei 236/98 de 1 de Agosto.

Parâmetros	Expressão dos resultados	VMR	VMA
Nitratos	Mg/l NO_3	25	(O) 50

Quadro 9. Representação dos diferentes valores de azoto incorporados no solo e valores residuais existentes na bacia para os diferentes cenários.

Cenário \ Input	310 Kg azoto/ha	310 Kg azoto/ha	487 Kg azoto/ha
Cenário regulamentar	3.1 mg/l		
Cenário 1		24 mg/l	
Cenário 2			52mg/l

Verificou-se que para o cenário regulamentar a quantidade de azoto existente na bacia é bastante baixa, para o cenário 1 está muito próximo do valor máximo recomendado, e para o cenário 2 ultrapassa o valor máximo admitido.

6. Discussão dos Resultados

Numa primeira análise pode-se dizer que para as condições actuais de operação da bacia hidrográfica tanto ao nível da quantidade como da qualidade, estes "inputs" não causam grandes perturbações no sistema, ou seja, os "outputs" verificados são sempre positivos.

Para as simulações que foram modeladas com entradas diferentes das reais, verifica-se que o sistema apresentava uma confiabilidade elevada, não tinha capacidade de resiliência e era extremamente vulnerável.

7. Conclusões

O modelo matemático proposto apresenta grandes potencialidades para a gestão dos recursos hídricos a nível nacional, visto que no nosso país, metodologias baseadas neste tipo de análise nunca foram testadas nem implementadas.

Os resultados apresentam níveis de garantia elevados para os diferentes cenários.

Como seria de esperar, se aumentarem os consumos de água e a produção animal for intensificada e consequentemente a agricultura irá diminuir a quantidade e a qualidade da água, provocando alterações no sistema de abastecimento de água.

Verifica-se que o uso deste tipo de análise de risco permite simular o desempenho de um sistema em situações de stress.

Os critérios de desempenho não devem ser analisados de uma forma isolada, mas de uma forma conjunta numa análise multiobjectivo, tendo em consideração os factores económicos, sociais e ambientais.

A gestão da água em Portugal ainda está numa fase embrionária, visto que uma grande parte das instituições públicas não está preparada para fazer uma gestão rigorosa e capaz dos recursos hídricos, outras estão agora a dar os primeiros passos, começando há muito pouco tempo a desenvolver e a desbravar caminhos nesta matéria.

O uso do modelo matemático Mike Basin poderá ser muito vantajoso, visto que é um modelo bastante simples com capacidade de restauro imediata, apresentando os resultados de uma forma gráfica e expedita numa plataforma SIG.

O trabalho apresentado é parte da tese de doutoramento do primeiro autor, visando tal pesquisa desenvolver um modelo matemático de apoio à decisão para a gestão de bacias hidrográficas.

Agradecimentos

À empresa Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro, pela comparticipação na aquisição do programa Mike Basin, a partir do qual se desenvolveu o modelo matemático estudado, pela cedência de dados que foram utilizados na elaboração deste trabalho, assim como da tese de doutoramento que está a ser desenvolvida neste âmbito.

À Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, nomeadamente ao Prof. Luís Filipe, pela comparticipação na aquisição do programa Mike Basin, pela possibilidade que me foi dada para elaborar o trabalho de doutoramento em curso, assim como por toda a ajuda que me tem prestado.

Ao grupo de trabalho de alunos finalistas de mestrado em Engenharia Civil, Carlos, Francisco, Maria, Joana e ao Engenheiro Levi Roçadas que tem colaborado de um modo incansável no progresso deste projecto, sem os quais não teria sido possível a seu desenvolvimento.

Referências Bibliográficas

APHA & WPCF, (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington DC, USA.

Arsénio, J.J.G., (2003). Gestão de albufeiras – avaliação do potencial dos sistemas com o recurso a séries sintéticas de escoamentos. Tese de Mestrado.

Azevedo, L.G.; Porto, R.L.L. & Filho, O,K.Z., (1997). Técnicas quantitativas para o regenciamento de recursos hídricos. Porto Alegre – RS. 1997. Cap. 4, p. 165-225: Modelos de simulação de redes de fluxo.

Cortes, R.M.V., (2003). Requalificação dos ecossistemas aquáticos: único modo de Caminhar para a inversão da degradação dos recursos hídricos e cumprir a directiva quadro da água. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal.

DHI., (2008). Mike Basin by DHI.

Hashimoto, R.; Stedinger, J.R. & Loucks, D.P., (1982). Reliability, Resiliency and Vulnerability Criteria for Water Resource System Performance Evaluation. Water Resources Reserarch, v. 18, n. 1, p. 14-20.

INAG, (1995). Recursos hídricos de Portugal Continental e sua utilização. Volume 1, Lisboa, Instituto da Água, Ministério do Ambiente.

Lencastre, A. & Franco, F.M., (2006). Lições de Hidrologia – FCT.

Lima, G., (2002). Aplicação de simulação computacional na análise dos conflitos entre os usos múltiplos da água na bacia do rio Atibaia no Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – EESC/USP.

Lima, G., (2007). "Riverhelp!" sistema de suporte a decisões para planejamento e gerenciamento integrado de recursos hídricos. Dissertação de Doutoramento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – EESC/USP.

Lima, G., Mauad, F.F. & Salla, M.R., (2004). Índices de sustentabilidade para o planejamento estratégico de sistemas hídricos – XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

Mendes, B. & Oliveira, J.F.S., (2004). Qualidade da Água para Consumo Humano. LIDEL, Edições Técnicas Lda.

PNUD, (2006). O fantasma das "guerra da água" desvia a atenção da necessidade urgente de cooperação transfronteiriça. Relatório do desenvolvimento humano. Cidade do Cabo.

Rodrigues, A.; Pacheco, D.; Romanets, Y.; Bruns, S.; Nogueira, R.; Coutinho, R. & Brito, A.G., (2002). Modelação da qualidade da água da Lagoa das Furnas e da Lagoa das Sete Cidades. SFRH/BPD/9465/2002.

Tundisi, J.G., (2003). A água no século XXI. Enfrentando a escassez. Editora Rima, IIE. 248.

Vargas, M.C., (1999). O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental. Ambiente e Sociedade – Ano II – Nº 5, p. 109-130.

Zuffo, A.C., (2002). Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento de Recursos Hídricos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 07, n. 1, p. 81-102.

XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos 18.

Wolf, A.T.; Natharius, J.A.; Danielson, J.J.; Eard, B.S. & Pende, J., (1999). International river basins of the world. International Journal of Water Resources Development, Vol. 15, Nº 4.

©2009, ISBN 978-972-99991-8-5

CARACTERIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS PARA FINS DE APROVEITAMENTO HÍDRICO NO CONCELHO DE TORRE DE MONCORVO, UTILIZANDO SIG
Characterization of Hydrographic Basins for the Purpose of Water Management, in the Torre de Moncorvo Municipality, Using GIS

CAETANO, C.A.R. (1) & PACHECO, F.A.L. (2)

(1) *Gabinete de Controlo Ambiental do Aproveitamento Hidroeléctrico do Douro Internacional, Reforço de Potência da Barragem do Picote*
carla.a.r.caetano@gmail.com

(2) *Prof. Auxiliar da UTAD e Centro de Química da UTAD*
Departamento de Geologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5000 Vila Real
fpacheco@utad.pt

Resumo

Com o advento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e das aplicações informáticas assentes neste tipo de plataforma, torna-se possível proceder à análise de uma região, identificando a totalidade das bacias hidrográficas que melhor se enquadram com requisitos hidrológicos específicos. No presente trabalho foi utilizada uma aplicação informática que opera como módulo do software ArcMap, designada ArcHydro, de modo a definirem-se caudais de cheia afluentes a bacias hidrográficas da vizinhança do concelho de Torre de Moncorvo. Utilizando o ArcHydro em conjugação com o módulo de hidrologia do ArcMap, foi possível delinear as bacias hidrográficas discriminando a ordem do curso de água segundo a classificação de Strahler, tendo-se por informação de base o Modelo Digital do Terreno (MDT). O ArcHydro permitiu ainda obter os dados geométricos necessários sobre as bacias hidrográficas (área, comprimento e declive do curso de água principal) para que, com o auxílio de ferramentas básicas do ArcMap (calculadora de atributos), se pudessem estimar os caudais de cheia pelo Método Racional. Os resultados obtidos foram comparados com valores padrão relativos a aproveitamentos hidráulicos para fins de abastecimento e rega.

Palavras chave: ArcHydro, ArcMap, bacias hidrográficas, caudais de cheia.

Abstract

With the advent of Geographic Information Systems and applications standing on this king of platform, it is now possible to scan an entire region identifying all hydrographic basins that comply with specific hydrologic requirements. In the present work an application was used that operates as a modulus of the ArcMap software, called ArcHydro, with the purpose of calculating peak flows for a number of hydrographic basins in the vicinity of the Torre de Moncorvo Municipality. Applying ArcHydro in combination with hydrologic tools of ArcMap to the Digital Elevation Model (DEM) of the Torre de Moncorvo region, hydrographic basins were delineated taking into account the order of the streams, according to the Strahler classification. The ArcHydro was also used for the calculation of the basins' areas and of their longest flow paths' lengths and slopes. Finally, entering with the previously assessed areas, lengths and slopes in the Attribute Calculator of the ArcMap, peak flows were estimated for all delineated hydrographic basins and compared with values used as standards for public water supply and irrigation projects.

Keywords: ArcHydro, ArcMap, hydrographic basins, peak flows.

1. Introdução

A maioria dos aproveitamentos hidráulicos (barragens) tem como utilização principal o abastecimento de água às populações, a rega ou a produção de energia eléctrica.

Noutros casos ou subsidiariamente com os usos principais, destinar-se à navegação, ao recreio, ao combate a fogos florestais, à defesa contra as cheias, à valorização paisagística, etc.

As áreas das bacias hidrográficas (A) e os respectivos caudais de cheia (Q_p) e volumes anuais afluentes (V) variam consoante o tipo de aproveitamento.

Para barragens destinadas ao abastecimento, à rega e à produção de energia eléctrica podem considerar-se como referências para os valores de A e Q_p os constantes do Quadro 1, compilados a partir do sítio da Internet http://cnpgb.inag.pt/gr_barragens/gbportugal.

A selecção de locais para a instalação de barragens atende aos valores de A, Q_p e V das bacias em análise, entre outros parâmetros de índole diversa.

O objectivo do presente capítulo é fazer o inventário de bacias hidrográficas de pequena e média dimensão, no concelho de Torre de Moncorvo, e avaliar a sua potencialidade para os fins do abastecimento e da rega com base na área da bacia de alimentação e no caudal de ponta determinado pelo Método Racional.

Quadro 1. Áreas das bacias hidrográficas e respectivos caudais de cheia afectos a barragens destinadas ao abastecimento, à rega e à produção de energia eléctrica. Símbolos: n - dimensão da amostra; P_{25} e P_{75} - percentis correspondentes a 25 e 75% da população. Dados originais em http://cnpgb.inag.pt/gr_barragens/gbportugal.

Utilização Principal	n	Área da Bacia Hidrográfica (km²)			Caudal de Cheia (m³/s)		
		P_{25}	Mediana	P_{75}	P_{25}	Mediana	P_{75}
Abastecimento	38	6.4	26	58	76	147	361
Rega	56	9	44	203	71	206	616
Energia	42	138.5	857	45183	845	3350	11000

2. Área de Estudo

O concelho de Torre de Moncorvo, constituído por 17 freguesias, localiza-se no distrito de Bragança, cobrindo sectores das folhas n.º 105, 117, 118, 119, 129, 130, 131, 132, 141 e 142 da Carta Militar de Portugal à escala 1: 25 000, num total de cerca de 524 km².

O relevo é determinado pelos entalhes do rio Sabor e da ribeira da Vilariça (afluente da margem direita daquele rio), que atravessam a região segundo direcções NE-SW e N-S, respectivamente, sendo ainda influenciado pelo vale do Douro que estabelece a fronteira a sul com o concelho de Vila Nova de Foz Côa. As altitudes na região variam entre <200 m, nos vales dos rios principais, e 800-1000 m nos cumes das montanhas mais altas, como sejam as elevações da Serra do Reboredo, Figura 1.

Relativamente aos solos, dominam claramente os litossolos sobre as restantes tipologias, sendo no entanto de destacar a presença de manchas extensas de cambissolos húmicos na Serra do Reboredo, de fluvissolos ao longo dos leitos da ribeira da Vilariça e do rio Sabor, e de antrossolos e cambissolos dístricos dispersas pela região, Figura 2.

As ocupações e os usos actuais da terra são dominados:

- pelos terrenos incultos (matos estremes ou com árvores dispersas: carvalhos, azinheiras, etc.),
- pelas culturas perenes arbóreas e arbustivas (na maioria dos casos amendoal, olival, vinha),
- pelas matas e florestas (essencialmente de pinheiros, carvalhos, sobreiros e azinheiras),
- pelas culturas anuais (de sequeiro intensivo, com cereal ou forragem de Inverno e ciclo de culturas no Verão, com regas complementares; ou de sequeiro extensivo, com cereal de Inverno e pousio ou pastagem natural),
- e pelos povoados, por vezes rodeados por áreas de exploração mista, ou seja caracterizadas por um mosaico de culturas anuais e perenes, Figura 3.

A precipitação anual no concelho de Torre de Moncorvo, referida ao período 1985-1995, diminui da periferia para o sector central, variando entre <500 mm e <750 mm, Figura 4.

A média global da precipitação ronda os 550 mm/ano.

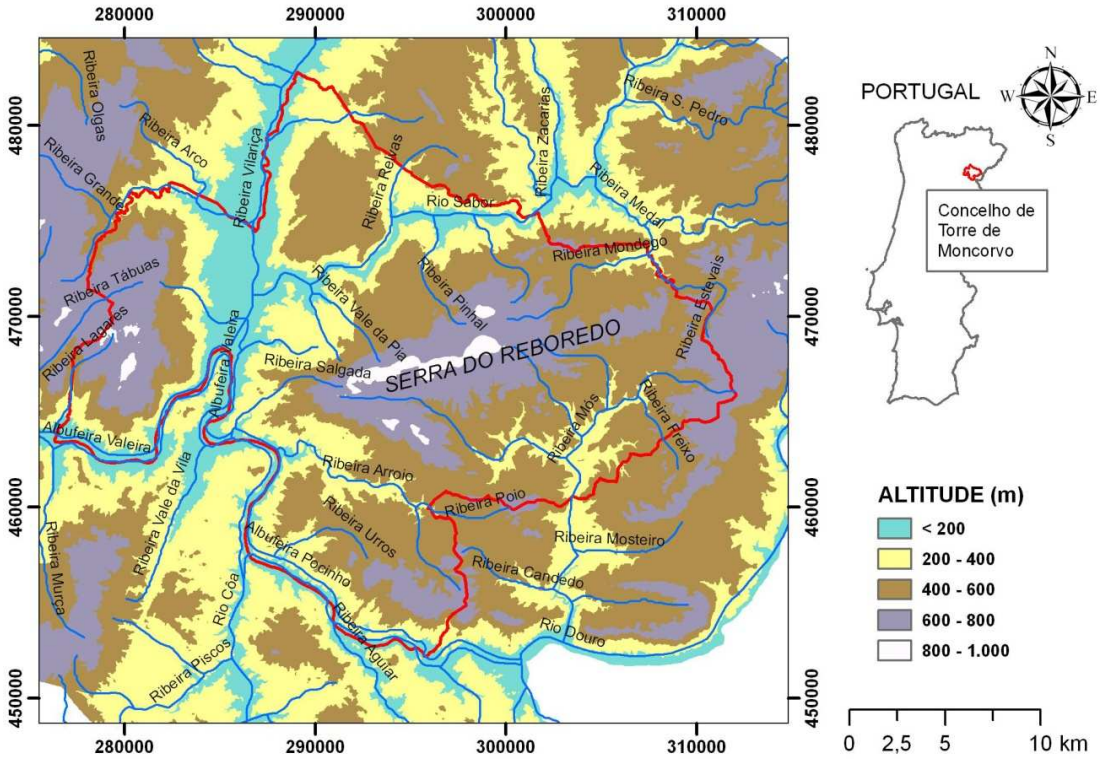


Figura 1. Localização, altimetria e hidrografia do concelho de Torre de Moncorvo.

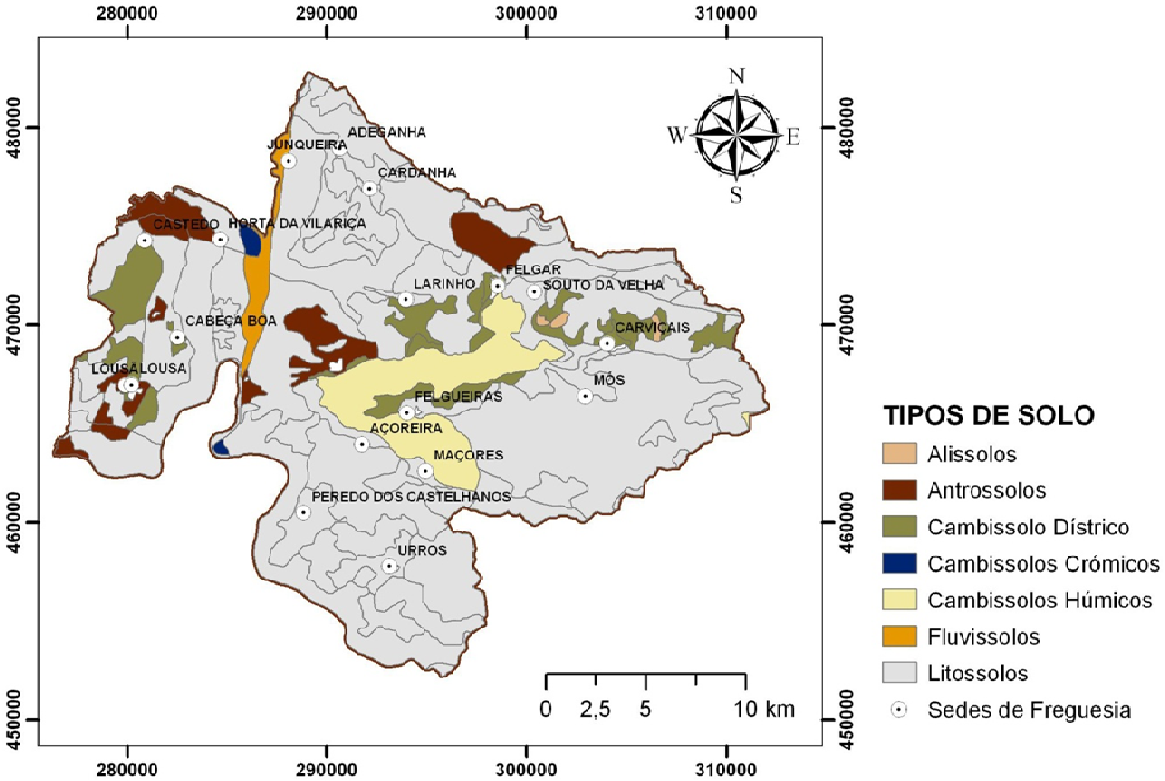


Figura 2. Mapa de solos do concelho de Torre de Moncorvo. Dados originais em http://scrif.igeo.pt.

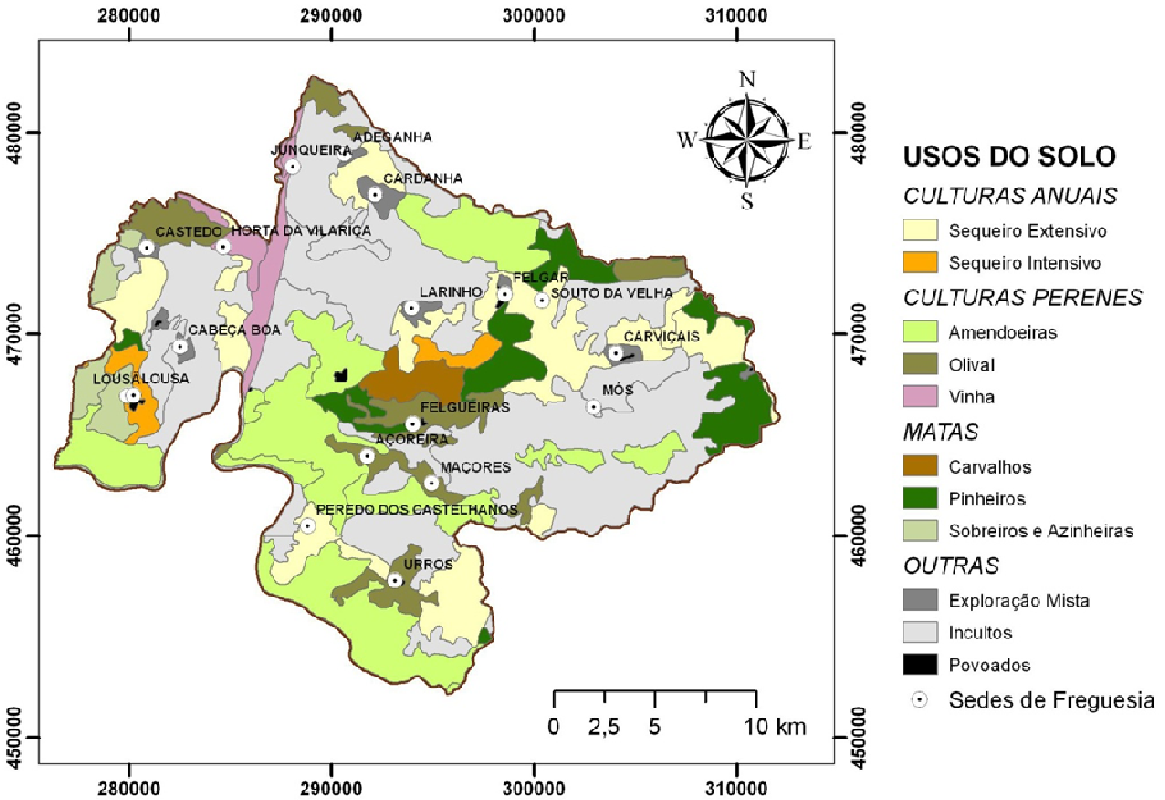


Figura 3. Mapa de uso do solo do concelho de Torre de Moncorvo. Dados originais em http://scrif.igeo.pt

Utilizando como referência a estação meteorológica de Folgares (06N/01C; Figura 4; dados originais em http://snirh.pt) fez-se a análise climática que se resume de seguida.

O período húmido decorre de Outubro a Maio e o período seco de Junho a Setembro. No período húmido as precipitações variam entre 52.6 e 77.5 mm (média 60.0 mm) enquanto que no período seco elas variam entre 11.7 e 37.1 mm (média 23.6 mm).

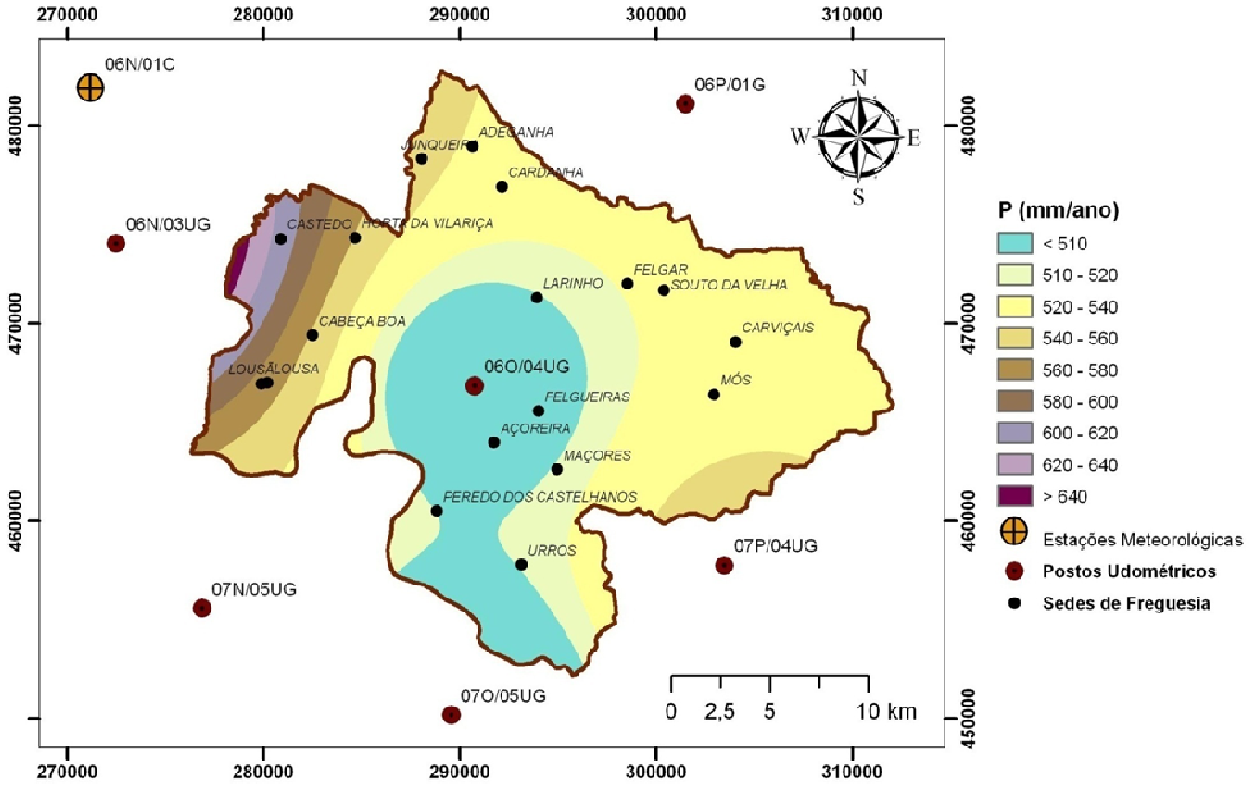


Figura 4. Distribuição da precipitação anual no concelho de Torre de Moncorvo. Período considerado: 1985-1995. Dados originais referentes aos postos udométricos disponíveis em http://snirh.pt.

As temperaturas correspondentes são: 4.5-13.8ºC (média 9.0ºC) e 18.8–21.8ºC (média 19.9ºC).

A Evapotranspiração Potencial (ETP) ronda os 656,4 mm/ano e a Evapotranspiração Real (ETR) os 426 mm/ano, sendo que a ETR representa 77,5% da precipitação pelo que se conclui que o superhavit hídrico anual convertido em escoamento directo e infiltração não ultrapassará 124 mm/ano (22,5% da precipitação).

3. Método Racional

Em Dezembro de 1999, a Ferreira Lemos – Engenharia Lda. apresentou os estudos hidrológicos que serviram de base ao aproveitamento hídrico da ribeira das Olgas (barragem das Olgas) e que englobaram o cálculo de caudais de cheia pelo método racional (Ferreira Lemos, 1999).

Na presente secção apresenta-se a metodologia descrita no estudo acima mencionado, incluindo nela os pressupostos então assumidos, de modo a que os resultados desse estudo possam servir como termo de comparação aos resultados obtidos no presente trabalho; por outras palavras, de modo a que os resultados obtidos para a bacia da ribeira das Olgas possam servir de referência aos relativos a todas as bacias estudadas no presente estudo.

O método racional (ou método CIA) estima caudais de cheia, também designados caudais de ponta (Q_p), a partir da seguinte equação:

$$Q_p = CIA \quad [1]$$

em que Q_p representa o caudal de ponta em m^3/s; C o coeficiente de escoamento da bacia.

No estudo da Ferreira Lemos, Lda. assume-se C=0.5; I a intensidade da precipitação em m/s e A a área da bacia em m^2.

A intensidade da precipitação é calculada pela designada curva de probabilidades udométricas recomendada pelo Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais e Pluviais:

$$I = at^b \quad [2]$$

em que I representa a intensidade de precipitação em mm/h; t o tempo da chuvada em minutos e a e b são parâmetros dependentes da região em estudo.

Para o concelho de Torre de Moncorvo,

$$a = 240 \times (1.505 - T^{0.27}) \quad [3a]$$

$$b = 1.424 \times T^{0.012} - 2.013 \quad [3b]$$

em que T representa o período de retorno da chuvada.

O estudo da Ferreira Lemos, Lda., calcula caudais de ponta para diversas durações de chuvadas, compreendidas entre o tempo de concentração da bacia (t_c) e $2.5 \times t_c$.

O tempo de concentração de uma bacia, correspondente ao instante a partir do qual o volume de água que atravessa a secção em estudo provém de todos os pontos da respectiva bacia de alimentação, foi calculado pela expressão de Themez:

$$t_c = 0.3 \times \left(\frac{L}{J^{0.25}}\right)^{0.70} \quad [4]$$

em que L representa o comprimento da linha de água principal em km e J o declive médio da linha de água principal.

4. Método Racional no ArcMap/ArcHydro

Para a implementação do método racional foi utilizada uma aplicação informática que opera como módulo do software ArcMap (ESRI, 2006), designada ArcHydro (ESRI, 2009; disponível em http://support.esri.com).

O procedimento inclui uma primeira fase em que são delineadas bacias hidrográficas e uma segunda fase em que são calculados os seus caudais de cheia.

A delimitação das bacias hidrográficas efectuada na primeira fase tomou em consideração a ordem do curso de água, de acordo com a classificação de Strahler (1957). Nesse contexto, foram delineadas bacias de ordem 1 (elementares) e bacias de ordem 2 (resultantes da integração de bacias de ordem 1).

Na delimitação das bacias de ordem 1 assumiu-se arbitrariamente que a área média das mesmas não seria inferior ao percentil 25 das barragens destinadas à rega, ou seja 9 km^2, Quadro 1. As bacias de ordem 2 são naturalmente maiores.

O fluxograma geral utilizado no cálculo dos caudais de cheia afluentes às bacias de ordem 1 e 2 é apresentado na Figura 5, sendo o método descrito nos parágrafos seguintes.

O dado de entrada no fluxograma é o Modelo Digital do Terreno (DEM). Aplicando a esta representação do relevo um conjunto de funções do módulo Terrain Processing do ArcHydro obtém-se um conjunto de pontos (shapefile) genericamente designados DrainagePoint e que engloba os pontos iniciais de cada segmento da rede de drenagem (inlets), os respectivos pontos finais (outlets) e os pontos de confluência com outros segmentos.

O passo seguinte consiste em associar cada ponto à sua ordem de Strahler. Para isso executa-se em primeiro lugar a função Stream Order do módulo Spatial Analyst Tools e submódulo Hydrology do ArcMap/ArcToolBox, a qual recorre à shapefile DrainagePoint e a alguns dos rasters criados durante o processamento do terreno referido no parágrafo anterior (Fdr e Lnk, Figura 5).

Como resultado desta operação obtém-se um raster designado stream_lnk, composto por segmentos de linha de água, sendo que cada segmento é identificado por um valor correspondente à ordem de Strahler.

De seguida executa-se a função Sample do módulo Spatial Analyst Tools e submódulo Extraction do ArcMap/ArcToolBox que analisando a sobreposição entre os pontos da shapefile DrainagePoint e o raster stream_lnk atribui a ordem de Strahler a cada ponto, gravando-as numa tabela (sample_streamo).

Por fim executa-se a função Join para ligar a shapefile DrainagePoint à tabela através dos seus atributos OID e RowId, respectivamente. Para que a ordem de Strahler passe a existir como um atributo da shapefile DrainagePoint adiciona-se à mesma uma coluna intitulada Strahler e copiam-se para lá as ordens assinaladas na tabela sample_streamo, usando para tal a função Field Calculator. De seguida remove-se a ligação estabelecida entre a shapefile e a tabela.

Após ser conseguida a atribuição de uma ordem de Strahler a cada ponto da shapefile DrainagePoint é necessário seleccionar aqueles que correspondem a pontos finais de linhas de água de 1.ª e 2.ª ordem, sugerindo-se a identificação manual dos mesmos. Os restantes pontos deverão ser eliminados e o resultado gravado numa shapefile, designada, por exemplo, como outlets.

Para poder ser utilizada pelo ArcHydro, a shapefile outlets deverá conter as seguintes colunas: Name (tipo text), Descript (text), Srctype (Long Integer), SnapOn (Long Integer), e BatchDone (Long Integer). O valor inicial da coluna SnapOn deverá ser 1 para todos os pontos mas as restantes colunas não carecem de ser inicializadas. Após criação das 5 colunas submete-se a shapefile outlets à função Batch Watershed Delineation do módulo Watershed Processing do ArcHydro que procede à demarcação das bacias hidrográficas que drenam para cada um dos pontos, gerando a shapefile watersheds.

De seguida identifica-se o curso de água principal de cada bacia utilizando a função Longest Flow Path do mesmo módulo Watershed Processing, que também determina o seu comprimento. Por fim aplica-se a função Construct 3D Line ao resultado da função anterior (shapefile longestflowpath) para que, além do comprimento, se fique a conhecer o declive médio do curso de água principal. O resultado final desta operação é a shapefile 3DLine. Além das shapefiles outlets, watersheds e longestflowpath, as funções mencionadas recorrem também a alguns dos rasters produzidos durante a fase de processamento do terreno, ou ao próprio DEM, Figura 5.

O cálculo dos caudais de cheia associados a cada bacia da shapefile watersheds consegue-se implementando em sequência as Equações 4, 3, 2 e 1 no ArcMap através da função Field Calculator, após se definir qual o período de retorno que se pretende utilizar (usualmente 1000 anos). Porém, antes de se iniciarem as operações é necessário proceder à ligação das shapefiles watersheds e 3DLine, utilizando para tal a função Join, de modo a que os atributos watersheds_Area, 3DLine_length e 3DLine_slp necessários aos referidos cálculos surjam compilados numa única tabela. Também é necessário criar na shapefile watersheds 3 colunas para gravar os resultados da implementação das referidas equações pela função Field Calculator.

5. Caudais de Cheia

Os resultados obtidos relativamente à delimitação das bacias hidrográficas e ao cálculo dos caudais de cheia estão descritos nos Quadros 2 e 3 e ilustrados nas Figuras 6 e 7.

As bacias estudadas por Ferreira Lemos (1999) estão identificadas no Quadro 2 pelos números 39 e 40. Trata-se portanto de bacias de 1.ª ordem. No Quadro 4 comparam-se os resultados obtidos naquele e no presente estudo, podendo concluir-se que os mesmos são muito semelhantes. As áreas das bacias de primeira ordem rondam 10.7±6.1 km^2 enquanto que as de segunda ordem rondam 33.7±22.9 km^2.

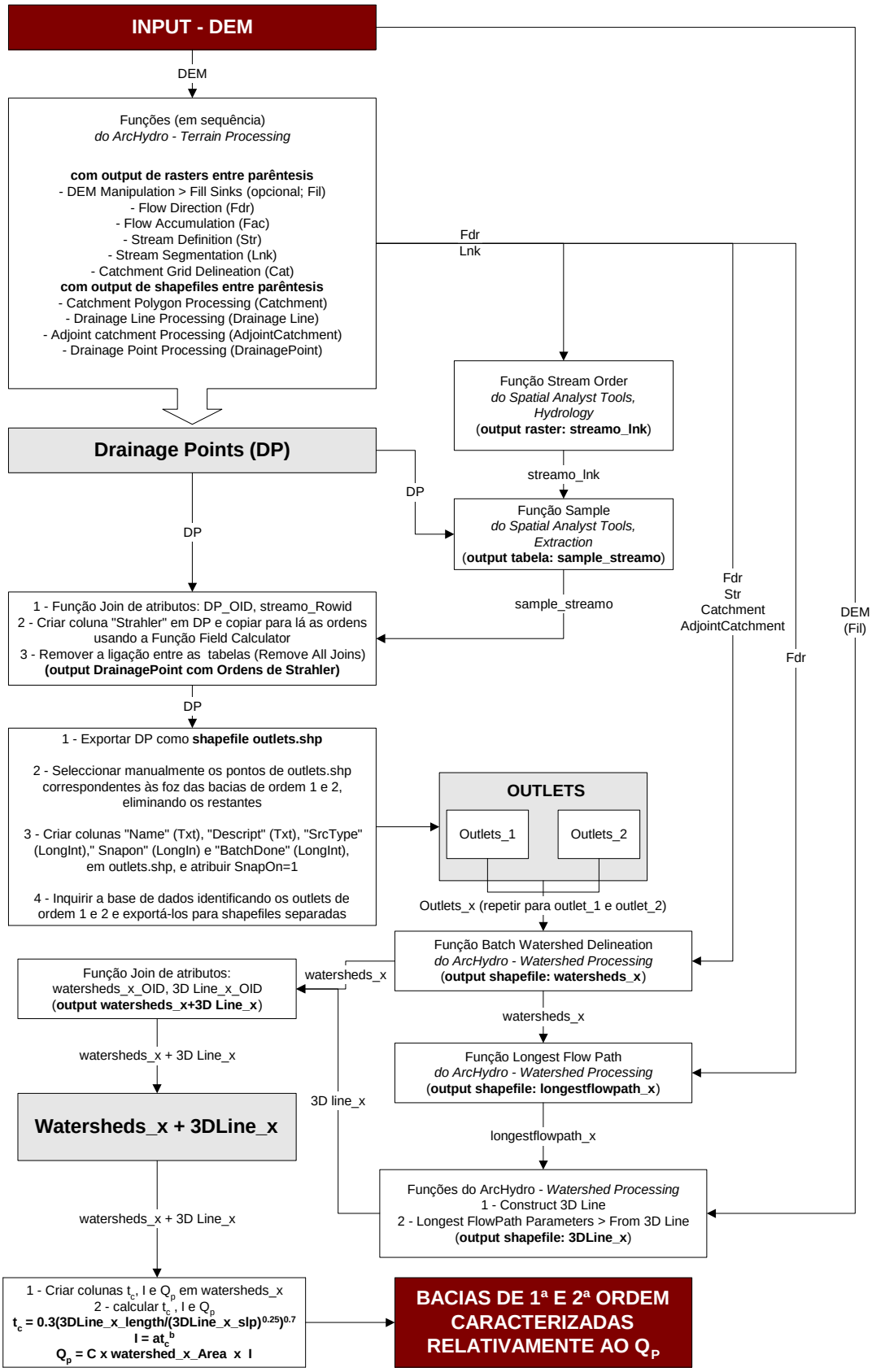


Figura 5. Implementação do cálculo de caudais de cheia a um conjunto de bacias pelo ArcMap/ArcHydro.

Os caudais de cheia calculados pelo Método Racional para um tempo médio da chuvada $t = t_c$, para um período de retorno de 1000 anos e assumindo um coeficiente de escoamento constante e igual a 0.5, variam conforme se ilustra nas Figuras 6 e 7, sendo em média de 50.5±22.3 m^3/s (bacias de 1.ª ordem) e 124.8±63.2 m^3/s (bacias de 2.ª ordem).

As Figuras 8a e 8b ilustram a relação entre os caudais de ponta dos diversos ribeiros de 1.ª ordem e os valores de referência representados no Quadro 1 (percentil 25, mediana e percentil 75) para as barragens de abastecimento e rega, respectivamente. As Figuras 9a e 9b ilustram essa mesma relação para as ribeiras de 2.ª ordem.

Quadro 2 – Avaliação hidrológica das bacias de 1.ª ordem de Strahler. Nr. – número da bacia, A – área, t_c – tempo de concentração, Q_p – caudal de cheia.

Nr.	Nome do Curso de Água	A (km^2)	t_c (min)	Q_p (1000,t_c) (m^3/s)
1	Ribeira de São Martinho	26.3	174	107
2	Ribeiro da Macieira	9.4	130	44
3	Ribeiro das Relvas	11.3	116	56
4	Ribeiro do Xedal	5.8	104	30
5	Ribeiro dos Moinhos	10.1	140	45
6	Ribeira Grande	15.1	123	72
7	Ribeira Grande	15.0	96	81
8	Ribeiro do Inferno	25.6	179	103
9	Sem Nome (Poto do Lobo)	5.3	85	30
10	Ribeira das Arcas	23.3	163	98
11	Sem Nome (Larinho)	7.3	95	39
12	Ribeiro do Poio	9.7	142	43
13	Sem Nome (Quinta da Granja)	11.1	116	55
14	Sem Nome (Quinta do vale da Pia)	10.6	112	53
15	Ribeira das Latas	6.3	97	34
16	Sem Nome (Carvalhal)	5.4	80	32
17	Sem Nome (Felgar)	6.9	84	39
18	Ribeira dos Cavalos	13.6	121	66
19	Sem Nome (Torre de Moncorvo)	11.6	131	54
20	Ribeira de Conqueiro	5.0	76	30
21	Ribeira de Vilela	5.8	95	31
22	Ribeira da Coleja	15.7	154	68
23	Ribeira de Mós	12.1	136	55
24	Sem Nome (Lagares)	5.6	95	30
25	Sem Nome (Lousa)	6.6	100	35
26	Ribeira da Saúde	5.2	93	28
27	Ribeira do Freixo	7.3	104	37
28	Ribeira do Trovisco	9.8	127	46
29	Ribeira da Salgada	8.1	134	37
30	Ribeira do Muro	5.1	94	28
31	Ribeira do Souto	9.8	124	47
32	Ribeira dos Zebos	6.9	116	34
33	Canadas da Boavista e Maninhos	30.5	203	116
34	Sem Nome (Vale do Nedeo)	8.8	128	41
35	Sem Nome (Vale das Vinhas)	8.0	102	41
36	Ribeira do Ferronho	14.9	133	69
37	Ribeira da Cegadonha	6.5	115	32
38	Ribeira do Poio	6.2	95	34
39	Ribeira das Olgas	9.6	120	47
40	Ribeira do Arroio	17.5	146	77
41	Ribeira de Urros	10.0	128	47
42	Ribeiro do Candedo	10.1	121	49
43	Ribeiro das Fornas	6.1	82	35
	Média	10.7	118.7	50.5
	Desvio Padrão	6.0	27.5	22.3

Relativamente às bacias de 1.ª ordem verifica-se que a grande maioria apresenta caudais de ponta inferiores ao percentil 25 quer dos aproveitamentos para abastecimento (76 m^3/s) quer dos aproveitamentos para rega (71 m^3/s), com a excepção das ribeiras da Canada da Boavista e Maninhos (116 m^3/s), São Martinho (107 m^3/s), Inferno (103 m^3/s), Arcas (98 m^3/s), Grande (81 e 71 m^3/s) e Arroio (77 m^3/s).

As bacias estudadas por Ferreira Lemos (1999) situam-se nas posições 6 e 19 relativamente ao conjunto das bacias estudadas no presente estudo, considerando os seus caudais de ponta (77 e 47 m^3/s, respectivamente).

As bacias de 2.ª ordem apresentam caudais de ponta muito próximos ou superiores aos percentis 25 dos aproveitamentos para abastecimento ou rega, sendo que algumas das ribeiras superam inclusivamente os valores das medianas desses aproveitamentos, que são de 147 e 206 m^3/s, respectivamente, Quadro 1. Em relação aos aproveitamentos para abastecimento, as ribeiras com caudais de ponta superiores ao valor mediano padrão são: Arroio (262 m^3/s), Mondego (220 m^3/s), Aguiar (213 m^3/s), Coleja (202 m^3/s), Santa Marinha (188 m^3/s) e Grande (170 m^3/s). Se considerarmos as barragens para rega, verificamos que somente as ribeiras do Arroio, Mondego e Aguiar superam o caudal de ponta mediano normalmente associado a este tipo de aproveitamentos.

As bacias de 1.ª e 2.ª ordem delimitadas no interior e vizinhança do concelho de Torre de Moncorvo apresentam caudais de ponta muito aquém dos percentis 75 dos aproveitamentos para abastecimento ou rega.

Quadro 3. Avaliação hidrológica das bacias de 2.ª ordem de Strahler. Nr. – número da bacia, A – área, t_c – tempo de concentração, Q_p – caudal de cheia.

Nr	Nome do Curso de Água	A (km^2)	t_c (min)	Q_p (1000,t_c) (m^3/s)
1	Ribeira do Vale de Roios	22.4	177	90
2	Ribeira do Arco	17.2	172	70
3	Ribeira Grande	48.1	236	170
4	Ribeira do Pido	24.7	139	111
5	Ribeiro do Xedal	18.9	126	89
6	Ribeira do Mondego	60.5	221	220
7	Ribeira das Latas	17.0	118	83
8	Ribeira de Viela	16.0	123	76
9	Ribeira do Freixo	14.7	131	69
10	Ribeira da Coleja	54.3	211	202
11	Ribeira do Porto	17.7	144	79
12	Ribeira do Vale da Vila	30.1	208	112
13	Ribeira da Salgada	15.0	150	66
14	Sem Nome (Quinta dos Ingleses)	14.2	132	65
15	Ribeira de Santa Marinha	54.4	248	188
16	Ribeira do Arroio	91.6	370	262
17	Ribeira do Candedo	17.9	139	81
18	Ribeira de Aguiar	71.3	338	213
	Média	33.7	188.0	124.8
	Desvio Padrão	22.9	71.3	63.2

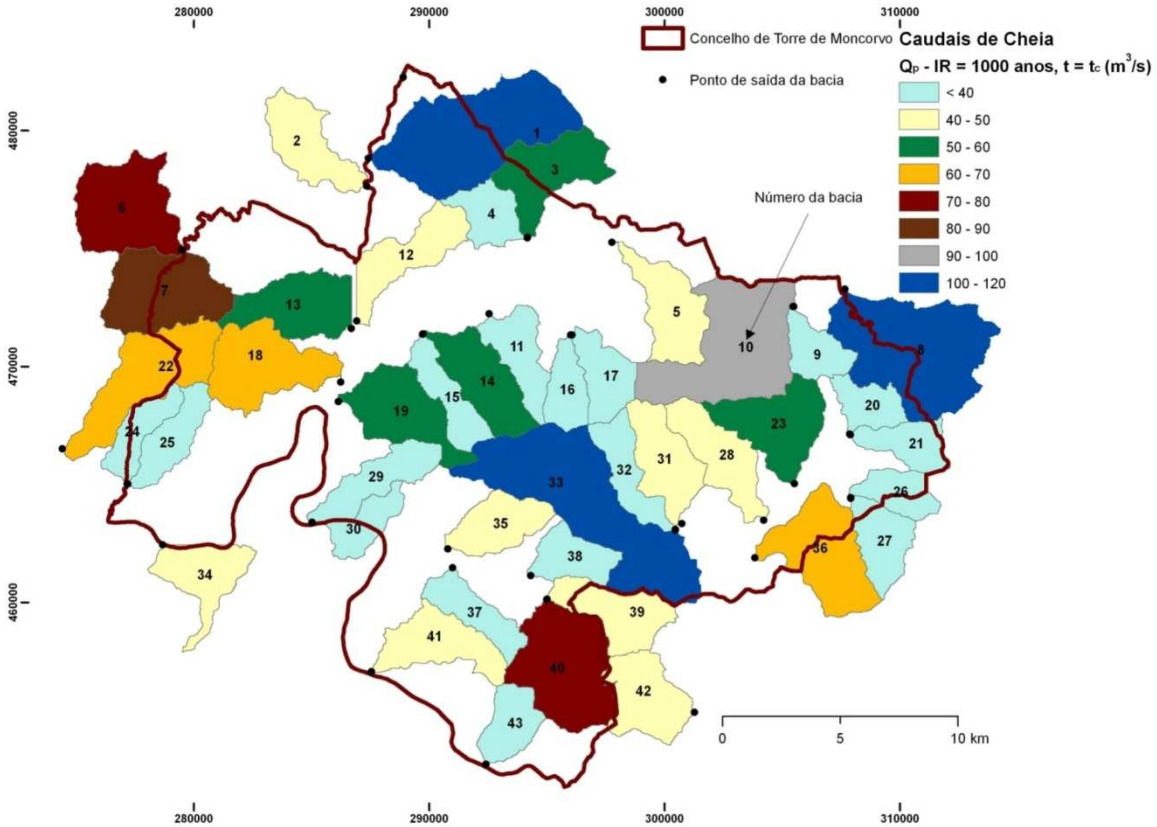


Figura 6. Caudais de cheia calculados pelo método racional (CIA) para um período de retorno IR = 1000 anos e um tempo de chuvada (t) igual ao tempo de concentração das bacias (t_c). Representam-se as bacias de ordem 1. O número de cada bacia está de acordo com o código Nr do Quadro 2.

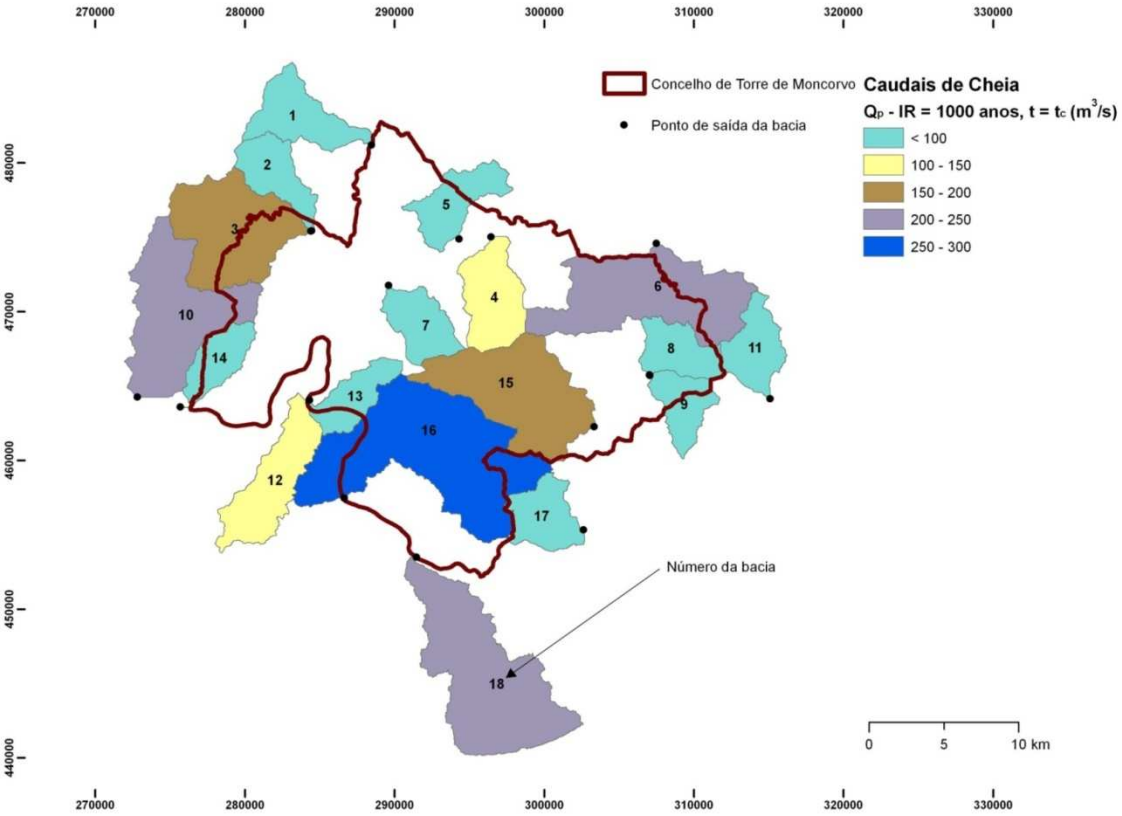
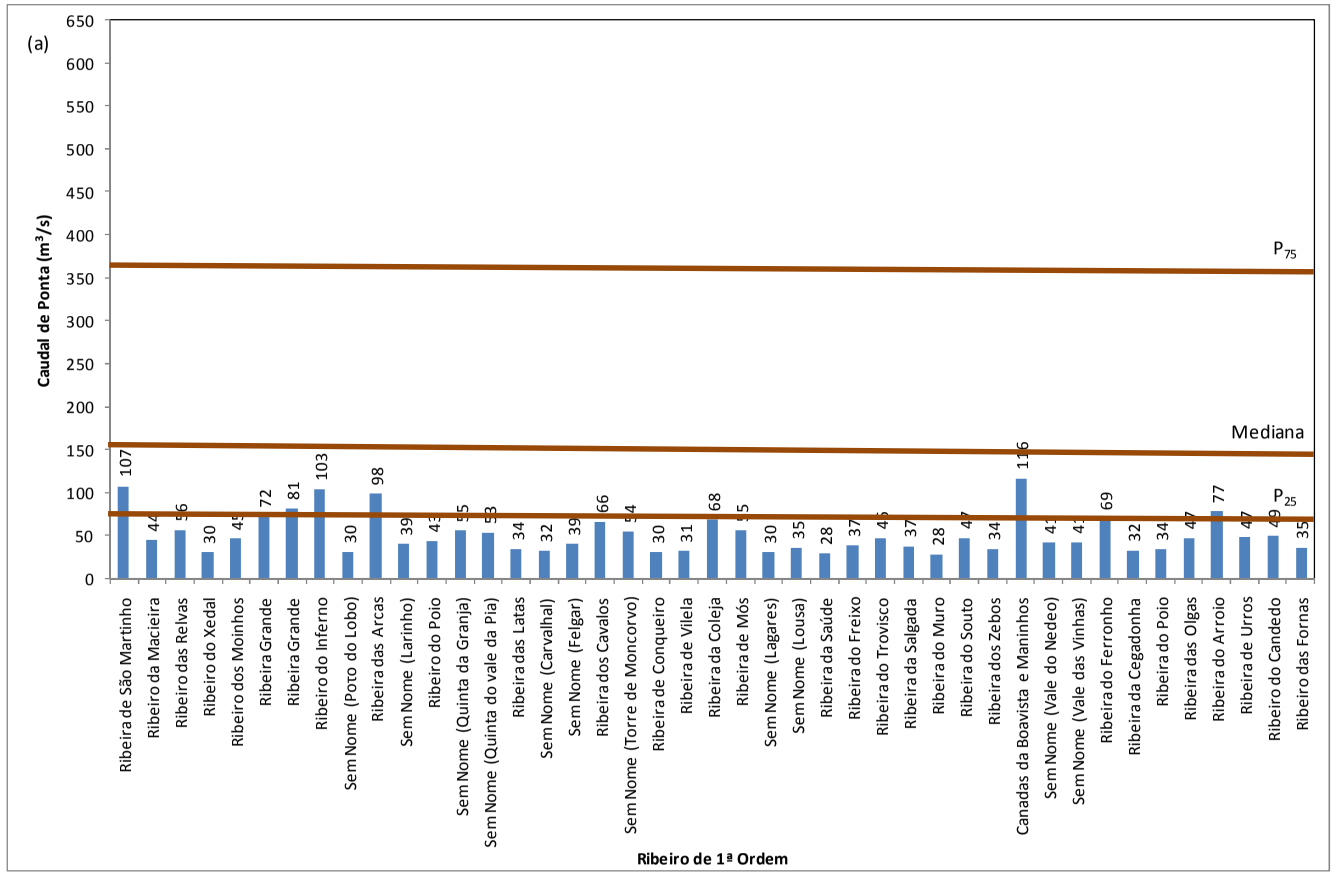


Figura 7. Caudais de cheia calculados pelo método racional (CIA) para um período de retorno IR = 1000 anos e um tempo de chuvada (t) igual ao tempo de concentração das bacias (t_c). Representam-se as bacias de ordem 2. O número de cada bacia está de acordo com o código Nr do Quadro 3.



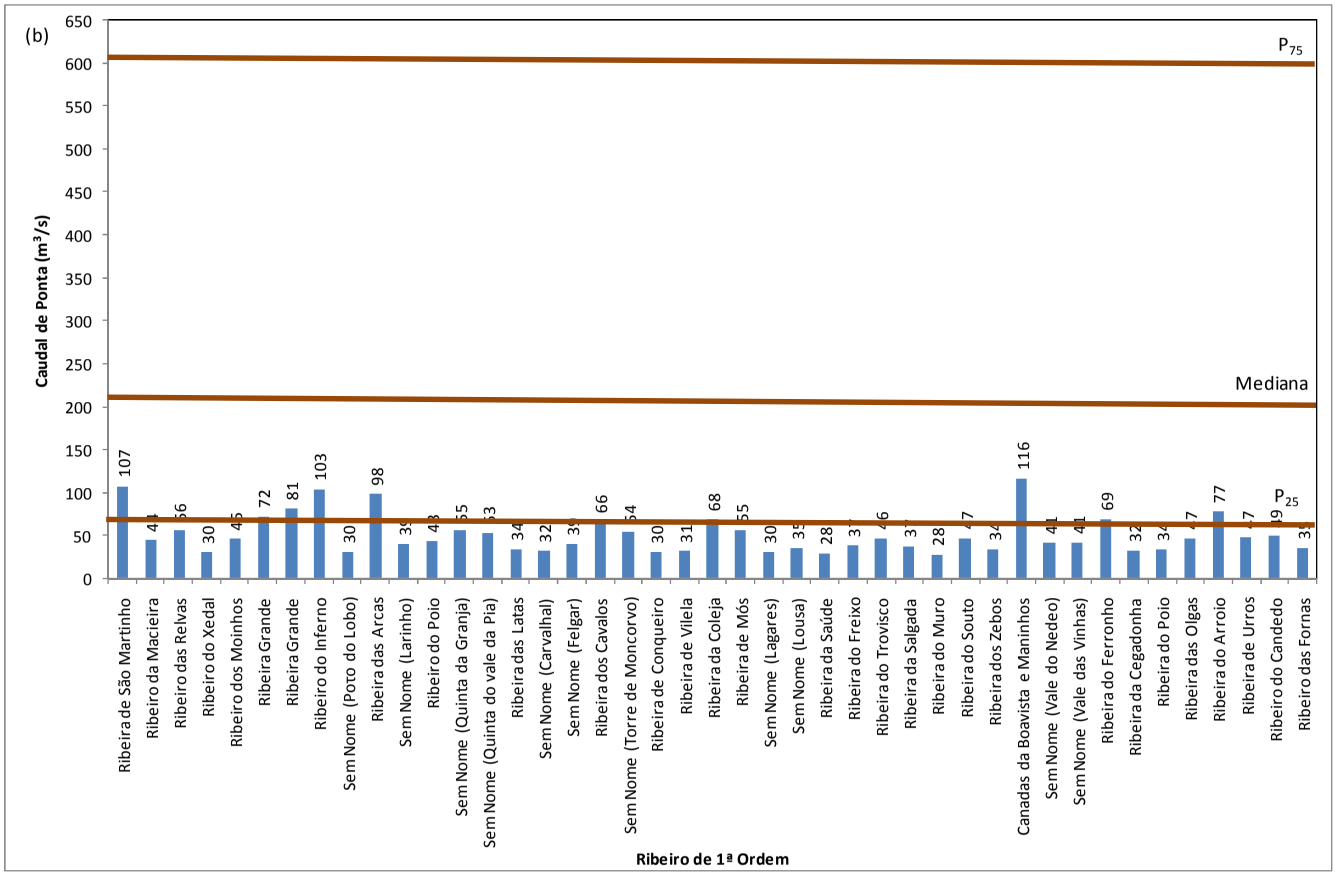
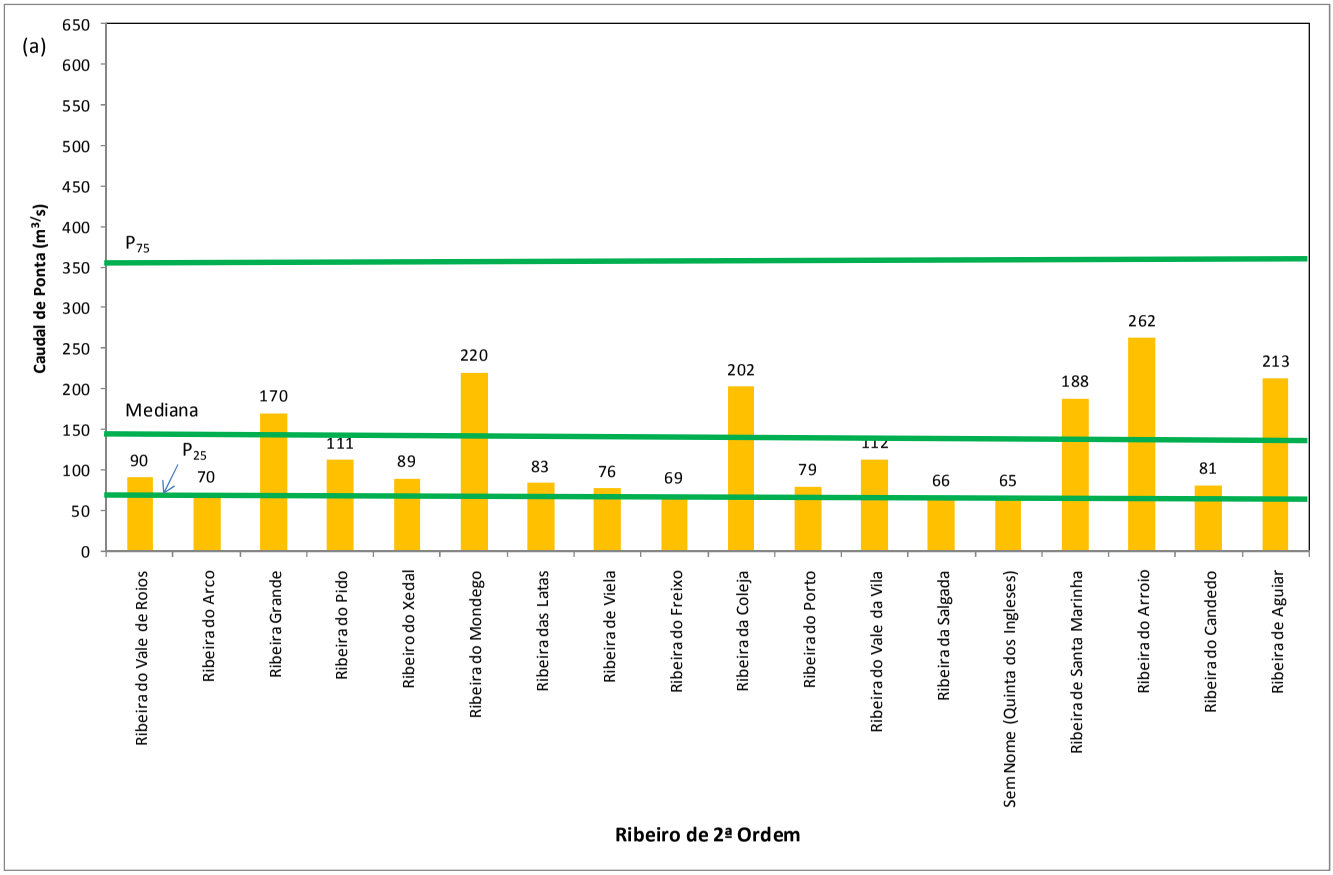


Figura 8. Relação entre os caudais de ponta das bacias de 1.ª ordem e os valores padrão (P_{25} – percentil 25; mediana e P_{75} – percentil 75) de aproveitamentos hídricos específicos: (a) abastecimento; (b) rega.



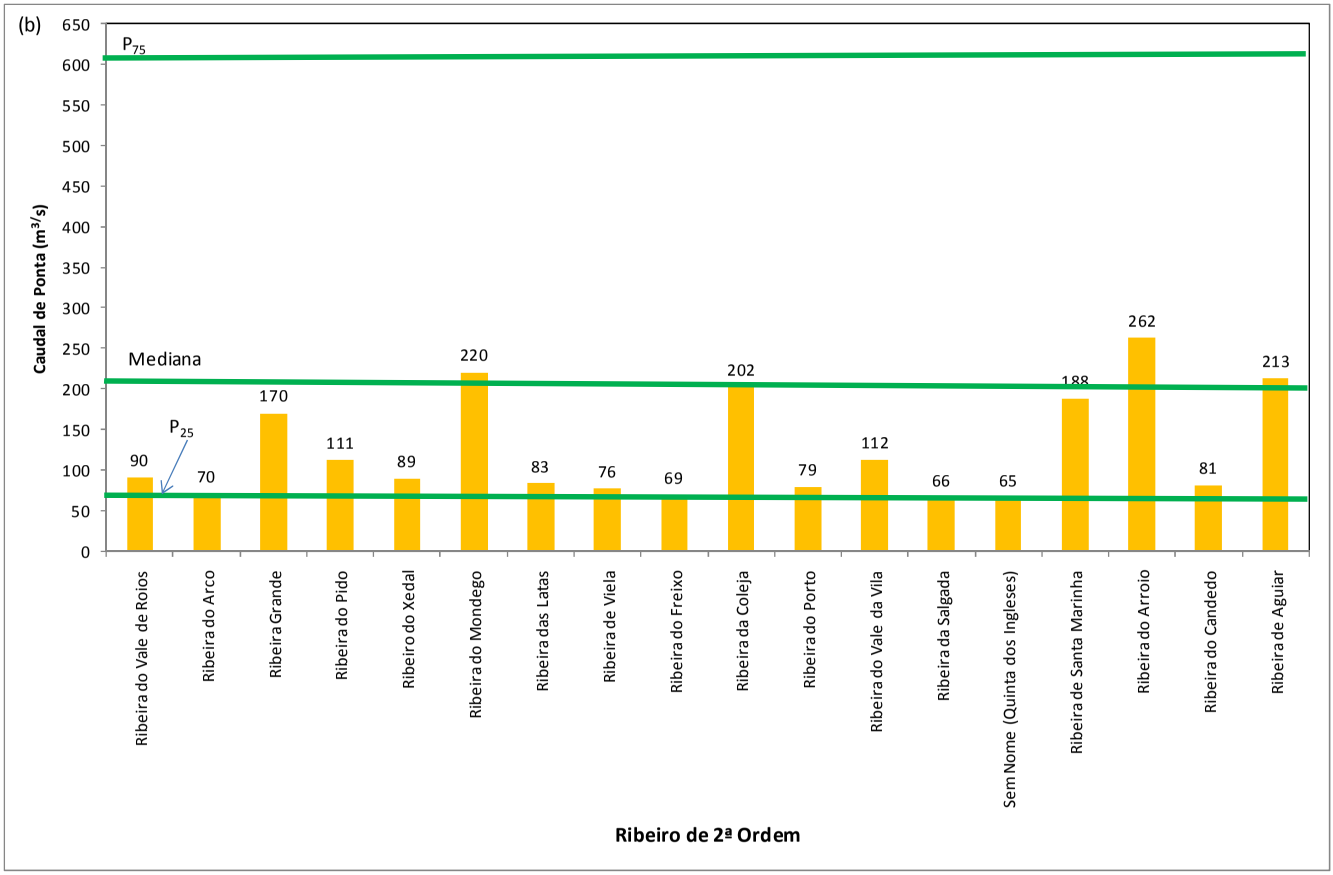


Figura 9. Relação entre os caudais de ponta das bacias de 2.ª ordem e os valores padrão (P_{25} – percentil 25; mediana e P_{75} – percentil 75) de aproveitamentos hídricos específicos: (a) abastecimento; (b) rega.

Quadro 4. Comparação entre os resultados obtidos por Ferreira Lemos (1999) (estudo (a)) e pelo presente estudo (estudo (b)), relativamente aos caudais de ponta (Q_P) calculados para tempos médios de chuvada $t = t_c$ e $t = 2.5t_c$.

Ribeiro	Olgas		Arroio	
Estudo	(a)	(b)	(a)	(b)
Designação da bacia	A	nº 39	B	nº 40
Área (km²)	9.5	9.6	17.2	17.5
Q_P - t_c (m³/s)	46	47	84	77
Q_P - $2.5t_c$ (m³/s)	30	30	55	50

6. Conclusões

A Ferreira Lemos, Lda., em 1999, utilizou o Método Racional com o objectivo de avaliar a potencialidade das ribeiras das Olgas e do Arroio, localizadas no concelho de Torre de Moncorvo, para o fim do abastecimento público de água.

Estudo idêntico foi realizado no presente artigo, tendo o mesmo produzido resultados muito semelhantes aos da Ferreira Lemos, Lda.

A avaliação do potencial hidrológico do concelho de Torre de Moncorvo, conduzido no presente artigo, estendeu-se a um conjunto de bacias de pequena (1.ª ordem) e média (2.ª ordem) dimensão localizadas no interior e vizinhança próxima do concelho. Relativamente às bacias de 1.ª ordem, verificou-se que a grande maioria apresenta caudais de ponta inferiores ao percentil 25 quer dos aproveitamentos para abastecimento (76 m³/s) quer dos aproveitamentos para rega (71 m³/s). As bacias de 2.ª ordem apresentaram caudais de ponta muito próximos ou superiores aos percentis 25 dos aproveitamentos para abastecimento ou rega. Algumas das ribeiras superaram os valores das medianas desses aproveitamentos, que são de 147 e 206 m³/s.

Em relação aos aproveitamentos para abastecimento, as ribeiras com caudais de ponta superiores ao valor mediano padrão são: Arroio, Mondego, Aguiar, Coleja, Santa Marinha e Grande. Relativamente às barragens para rega, verificamos que somente as ribeiras do Arroio, Mondego e Aguiar superam o caudal de ponta mediano.

As bacias de 1.ª e 2.ª ordem delimitadas no interior e na vizinhança do concelho de Torre de Moncorvo apresentam caudais de ponta muito aquém dos percentis 75 dos aproveitamentos para abastecimento ou rega.

As bacias estudadas pela Ferreira Lemos, Lda. situam-se nas posições 6 e 19 relativamente ao conjunto das bacias estudadas no presente estudo, considerando os seus caudais de ponta (77 e 47 m³/s, respectivamente).

Referências

ESRI (2006). ArcMap (version 9.2). New York St., Redlands, USA, 131p.

ESRI (2009). ArcHydro Tools – Tutorial (version 1.3). New York St., Redlands, USA, 131p.

Ferreira Lemos – Engenharia, Lda. (1999). Barragem das Olgas. Projecto de Execução. Volume 3: Estudos Hidrológicos e Hidráulicos. Dono da Obra: Câmara Municipal de Torre de Moncorvo.

http://cnpgb.inag.pt/gr_barragens/gbportugal. Instituto da Água

http://scrif.igeo.pt. Instituto Geográfico Português: Rede de Informação de Sistemas de Emergência.

http://snirh.pt/. Instituto da Água: Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos.

http://support.esri.com

©2009, ISBN 978-972-99991-8-5

A IMPORTÂNCIA DA REDE HIDROGRÁFICA NO PLANEAMENTO DO TERRITÓRIO
The Importance of the River Basin in the Context of Territorial Planning

A. REBELO DA SILVA (1), ROSA R. BARROS (2) & RITA S.F. MACHADO (2)

(1) Eng.º Civil, Presidente do Conselho de Administração
(2) Eng.ª Civil, Vogal do Conselho de Administração
HPN - Consultores de Engenharia SA, Rua Andrade Corvo, n.º 242 – Salas 105 a 107, Edifício Lions, 4700-204 Braga, Portugal
hpn@hpn.pt

Resumo

No contexto estratégico da Política Ambiental a nível comunitário, a Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro - Directiva Quadro da Água, é estabelecido um quadro de acção no domínio da política da água. A sua transposição para o direito nacional – Lei 58/2005, de 29 Dezembro (Lei da Água) – consagra um conjunto de normas essenciais que estabelecem o enquadramento para a gestão sustentável das águas superficiais e subterrâneas.

O ordenamento e planeamento dos recursos hídricos devem, em conformidade, incidir sobre a unidade territorial da bacia hidrográfica ou do conjunto das mesmas e/ou zonas consideradas afins numa óptica de utilização sustentada da água visando "compatibilizar, de forma integrada, a utilização sustentável desses recursos com a sua protecção e valorização".

Neste enquadramento, os casos apresentados reflectem estratégias de planeamento e gestão que visam promover o uso sustentável da água em duas redes hidrográficas do Norte de Portugal, em ambientes distintos – rural e urbano – contemplando-se, por isso, diferentes medidas e acções.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica, ordenamento, utilização sustentável, ambiente rural e urbano.

Abstract

Water resources are vital for human development and therefore water management must involve river basins. Human disturbances and activities on rivers demand rigorous management, in order to achieve environment preservation.

The European Directive 2000/60/EC establishes policies for the sustainable use of superficial and subterranean waters, in the EC, that must be urgently adopted.

The presented cases show planning policies of sustainable use of two rivers, in the North of Portugal, in urban and rural environments.

Keywords: Hydrographic basin, planning, sustainable use, rural and urban environment.

1. Sinopse

Os dois casos apresentados encontram-se relacionados com acções de conservação e valorização da rede hidrográfica e dos recursos hídricos no contexto mais alargado de planeamento do território em ambientes distintos (urbano e rural) e incidindo sobre cursos de água em estado de conservação muito diversa.

2. Aspectos Gerais

O planeamento e a gestão dos recursos hídricos exigem, antes de mais, um conhecimento aprofundado da região e da realidade da bacia hidrográfica, sem prejuízo do necessário enquadramento no contexto das orientações definidas a nível nacional e/ou comunitário.

Estas acções devem privilegiar o ordenamento integrado da bacia hidrográfica e a compatibilização dos interesses sectoriais, no sentido de salvaguardar os recursos em causa e a segurança das populações.

Devem, pois, seguir-se critérios de globalidade (abordagem conjunta de aspectos técnicos, económicos, ambientais e institucionais), racionalidade (optimização da exploração das origens de água, satisfação das necessidades, hierarquização dos usos e adequada aplicação dos recursos financeiros), integração (articulação com o planeamento dos sectores utilizadores com o planeamento regional, o ordenamento do território e a protecção do ambiente), coordenação (definição e satisfação de objectivos de curto, médio e longo prazo) e participação (população e agentes económicos, procurando o alargamento de consensos).

Nos dois casos que se apresentam foram contemplados os princípios enunciados e concretizadas já algumas medidas, com significativo impacto na protecção e valorização do meio hídrico.

2.1. Projecto de Reabilitação do Rio Este – Área Urbana

A dinâmica socioeconómica que caracteriza o Município de Braga constitui um, senão o principal, factor de conflito com o ecossistema ribeirinho do Rio Este e seus afluentes, pela continuada expansão das áreas urbanas, de forma expressiva, ao longo da rede hidrográfica deste curso de água, situação comum a muitas zonas do País onde a ocupação urbanística, a par do aumento da população, sofreu forte incremento, com maior incidência nos últimos 30 anos.

Foi neste contexto, visando a requalificação e ordenamento da bacia hidrográfica do Rio Este na área concelhia, que a Câmara Municipal de Braga solicitou a elaboração do Plano de Reabilitação do Rio Este, o qual contemplou diversas medidas estruturais (recuperação, protecção e valorização do rio e espaços adjacentes), numa estratégia integrada de requalificação ambiental que inverta a situação actual retratada na Figura 1. Foram também consideradas várias medidas não estruturais, que incluem um "Regulamento Normativo" para apoio da actividade do Município na apreciação de futuras intervenções no espaço ribeirinho.

Figura 1. Pormenor de parte da área de intervenção na zona urbana.

O Plano definiu e demarcou diversas Áreas-Plano, com vista a uma intervenção faseada, para as quais se procedeu à elaboração do Programa-Base de cada uma das futuras acções.

No contexto da filosofia de acção adoptada, foi feita a opção de contemplar, como prioritário, o troço mais urbanizado da cidade para o início físico dos trabalhos preconizados para as referidas Áreas-Plano. Consequentemente, após a elaboração do Plano de Reabilitação foi desenvolvido um projecto de execução – **Projecto de Requalificação do Rio Este** – que concretizará as acções preconizadas numa extensão de aproximadamente 2900 m, abrangendo 28 km² da área total da bacia de drenagem.

É expectável que estas acções constituam um elevado contributo pedagógico para a mudança de atitudes e de padrões de comportamento e que conduzam a uma nova cultura de valores da sociedade, designadamente perante diversas questões em torno do uso da água e da preservação e valorização dos recursos hídricos. A elaboração do Projecto de Requalificação teve por base o Plano de Reabilitação e compreendeu duas fases:

- o estudo hidráulico, no âmbito do qual foram determinados os caudais de cheia para vários períodos de retorno, identificadas as zonas sujeitas a cheias, redefinidas as secções de vazão tipo e analisadas soluções de consolidação e revestimento do leito e margens do rio;
- o projecto de execução propriamente dito em que foram concebidas e dimensionadas as intervenções previstas (estruturas e infraestruturas).

2.1.1. Estudo Hidráulico

O estudo hidráulico desenvolvido contemplou:

- a determinação dos caudais de cheia, em vários troços do rio, para vários períodos de retorno e a avaliação da capacidade de vazão das secções existentes;
- a identificação de zonas de expansão das águas em períodos de cheia;
- a redefinição das secções de vazão em vários troços do rio;
- a definição de soluções para minimização do impacto decorrente da escassez de caudais em períodos de estiagem;
- a análise preliminar de soluções de consolidação e revestimento do leito e margens do rio;

e permitiu a concepção de soluções que, de forma sustentada, darão lugar a uma melhoria das condições de escoamento, da qualidade ambiental do meio hídrico e ao usufruto possível dos espaços ribeirinhos pela população.

Nesta fase do estudo procurou-se, também, analisar e definir intervenções que visem minimizar ou resolver alguns dos principais problemas detectados associados ao meio hídrico, nomeadamente:

- o extravasamento do leito em situações de pluviosidade intensa;
- a fraca/má qualidade da água;
- os reduzidos caudais no período estival;
- o confinamento do corredor ribeirinho;
- a existência de materiais de revestimento inadequados.

Assim, procedeu-se à definição do regime de precipitações na bacia hidrográfica do rio Este, tendo em consideração os dados disponíveis respeitantes às amostras de valores registados nos postos de Sameiro, Vilaça e Escudeiros, ao longo de 20 anos (1980/81 até 1999/00).

A precipitação ponderada obtida pelo método de Thiessen para os vários meses do ano é apresentada na Figura 2.

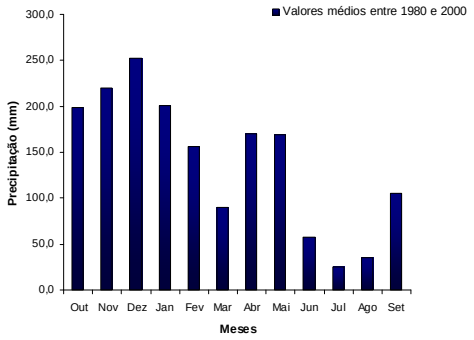


Figura 2. Precipitação ponderada obtida pelo método de Thiessen.

Para determinação dos caudais de cheia recorreu-se aos métodos empíricos e cinemáticos (Isokowski, Regional, Giandotti, Racional), dado não existirem registos de caudais que permitissem a utilização de métodos probabilísticos.

Para a aplicação dos métodos cinemáticos determinaram-se os tempos de concentração, por recurso a várias fórmulas (Giandotti, Kirpich, Chow, Temez, Picking), apresentados no Quadro 1.

Quadro 1. Tempos de concentração determinados.

MÉTODO	DADOS					tc (horas)
	A (km^2)	L (m)	H (m)	Δh (m)	S (m/m)	
Giandotti	82	23900	188,1	425	0,018	6,57
Kirpich						2,41
Chow						9,75
Temez						3,00
Picking						2,80

A- área da bacia hidrográfica
L - comprimento do rio

Conclui-se que os valores mais ajustados à realidade conhecida foram os obtidos pela fórmula de Kirpich.

A aplicação dos vários métodos referidos para a determinação dos caudais de cheia ($Q_{máx.}$), conduziu a valores semelhantes apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Caudais de cheia determinados.

MÉTODO	DADOS												Qmáx (m^3/s)
	A (km2)	T (anos)	K	m	i (mm)	C	α	λ	h (mm)	tc (h)	c	I (l/s/ha)	
Isokowski	82	50	0,4	7,6	2								419,04
Regional						43.5	0,510						411.66
Giandotti								0,346	15	6,57			65,86
Racional											0,47	128,98	497,11

Atendendo aos valores obtidos, optou-se pelo mais elevado, resultante da aplicação do Método Racional.

Em função do caudal de cheia adoptado obtiveram-se, para vários tempos de retorno (10, 20, 50, 100 anos), os caudais para cada secção crítica (Quadro 3).

Foi também analisado o regime de escoamento e a capacidade de vazão de várias secções ao longo da área de intervenção, por aplicação da fórmula de Chézy.

Quadro 3. Caudais máximos afluentes às secções críticas definidas.

				T = 100				
Secção	A (ha)	c	tc (h)	a	b	I (mm/h)	I (l/s/ha)	Q (m^3/s)
S0	1574,34	0,6	1,00	365,620	-0,508	45,65	126,81	**119,79**
S1	1908,78		1,17			42,12	116,99	**133,99**
S2	2209,96		1,23			41,06	114,06	**151,24**
S3	2511,14		1,29			40,14	111,49	**167,98**
S4	2630,60		1,36			39,02	108,38	**171,06**
S5	2734,17		1,46			37,63	104,54	**171,50**
S6	2815,62		1,60			36,02	100,06	**169,04**

Para as várias secções de vazão estudadas foram determinadas as alturas críticas (determinadas pela condição referente ao regime crítico) e as alturas uniformes correspondentes ao caudal de cheia centenário.

Concluiu-se que o escoamento no rio Este no período de cheias, tem regime rápido, exceptuando algumas zonas pontuais e que, o grau de submersibilidade dos terrenos marginais é elevado em vários troços do percurso do rio, sempre que ocorrem maiores caudais, mesmo inferiores aos de máxima cheia.

Em período de cheias, nomeadamente para o caudal centenário estimado, as velocidades de escoamento são da ordem dos 5 a 7 m/s, o que, para além de provocar um maior arrastamento de caudal sólido que pode causar obstruções nas secções de algumas das actuais passagens hidráulicas, potencia a instabilidade dos terrenos nas zonas próximas do rio e favorece a erosão do fundo e das margens.

Algumas secções do leito e das passagens hidráulicas consideradas como secções de referência neste estudo, apresentam-se com estrangulamentos ao normal escoamento das águas, registando-se nessas zonas, com alguma frequência, subidas rápidas dos níveis de água em períodos de maior pluviosidade e as consequentes inundações dos terrenos marginais.

Este estudo permitiu identificar as zonas que, em períodos de ocorrência de caudais mais elevados, são atingidas pelas águas, o que foi registado nas cartas de cheia da área de intervenção.

Os elementos obtidos nesta fase do estudo permitiram definir e estabelecer diversas intervenções a considerar em sede de projecto de execução.

2.1.2. Projecto de Execução

O projecto de execução incidiu sobre a área urbana anteriormente referida e teve em consideração, para além dos elementos decorrentes do estudo hidráulico, a concepção de soluções que, sempre que possível, constituam um contributo para um melhor enquadramento urbanístico e ambiental das intervenções a realizar (renaturalização e ordenamento).

Pretendeu-se que a satisfação simultânea desses interesses permitisse a criação de *espaços verdes* com alguma continuidade, ao longo de uma das áreas mais densamente urbanizadas do Concelho, criando assim condições favoráveis ao seu usufruto pela população.

No âmbito do *projecto de regularização* foram determinadas as cotas que a água poderá vir a atingir, nos terrenos adjacentes ao rio, em períodos de ocorrência de cheia, e definidas as alterações a considerar em algumas secções transversais com o objectivo de melhorar as condições de escoamento em períodos de cheias.

O estabelecimento das condições a nível da secção transversal do rio (da qual se apresentam dois exemplos na Figura 3), em diversos troços, teve presente, também, a necessidade de assegurar caudais de estiagem mais expressivos.

Para atingir esse objectivo foi considerada a criação de pequenos planos de água em locais estrategicamente seleccionados ao longo do percurso do rio, mediante a execução de açudes de pequena altura.

Esses açudes serão dotados de comportas móveis para efeitos de desobstrução e limpeza, comportas essas que, aquando da ocorrência de caudais mais elevados, terão mecanismos que permitirão a sua abertura automática.

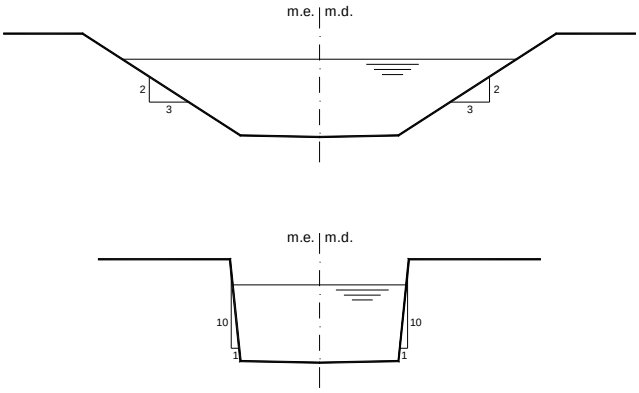


Figura 3. Secções transversais tipo.

Os açudes propostos (ver Figura 4) serão construídos em alvenaria de pedra seca (pedras de granito da região de grandes dimensões, com uma delas com pelo menos 1 m e o peso mínimo de 400 kg), sendo os vazios preenchidos com pedras de menor dimensão e do mesmo material.

A altura dos açudes foi fixada em 0.80 m de modo a não alterar, significativamente, as condições de escoamento locais em situações de cheia.

No corpo central dos açudes foi prevista uma comporta móvel dotada de dispositivo automático para a sua abertura, de forma a não constituir obstáculo à livre circulação das águas sempre que ocorra forte pluviosidade.

A ***renaturalização*** do leito e das margens será assegurada pelo estabelecimento de um processo de recuperação da estrutura e funcionamento do *sistema rio*, nomeadamente dos habitats e das zonas ripícolas.

Nesse sentido será requalificado o "corredor fluvial" – conjunto formado pelo sistema de drenagem superficial, margens e ecossistema adjacente – mediante a reconversão do revestimento do leito e margens e a plantação de vegetação ribeirinha adequada.

Os perfis-tipo definidos (Figura 5) para a maioria dos troços a intervencionar, têm a seguinte configuração e constituição, relativamente aos revestimentos a aplicar no leito do rio:

- fundo: não revestido, mas devidamente regularizado, isento de elementos que obstruam o livre escoamento das águas, com pendentes de cerca de 2,0%, direccionadas para o eixo do rio;
- margens do leito menor: taludes com inclinação de 3/2 (33º), revestidos com enrocamento de pedra, com potencial para a fixação de vegetação e para a criação de um habitat ribeirinho próprio.

No dimensionamento do enrocamento previsto nas margens do Rio Este foi efectuada a verificação das condições críticas de início do transporte sólido. Estas foram verificadas por dois métodos distintos:

- tensão crítica de arrastamento, utilizando o diagrama de Shields;
- velocidade média crítica, utilizando a expressão de Neil.

Através da aplicação dos dois métodos de cálculo e comparando:

- os valores da velocidade média crítica com a velocidade média do escoamento e,
- a tensão máxima de arrastamento nas margens com a tensão de arrastamento crítica,

foram verificadas as dimensões dos elementos médios constituintes do enrocamento, para que não se verifique o seu arrastamento no caso da ocorrência de uma chuvada centenária.

Por questões de segurança foi sempre considerado o maior valor resultante da aplicação dos dois métodos.

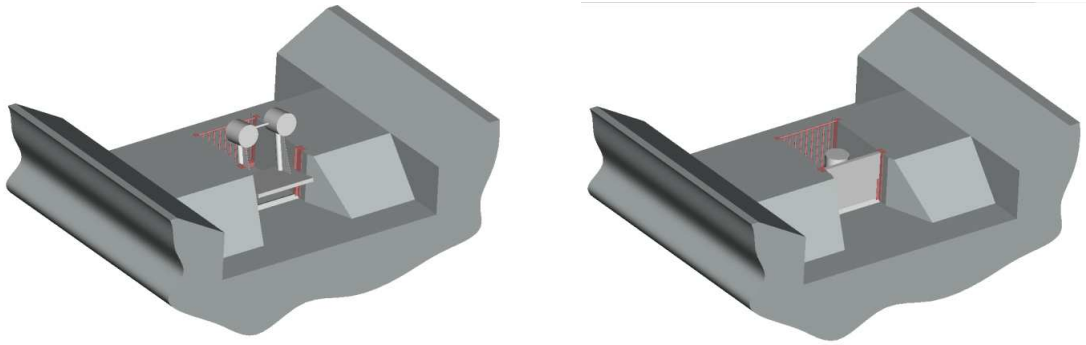


Figura 4. Açude e respectiva comporta, em posição aberta e fechada.

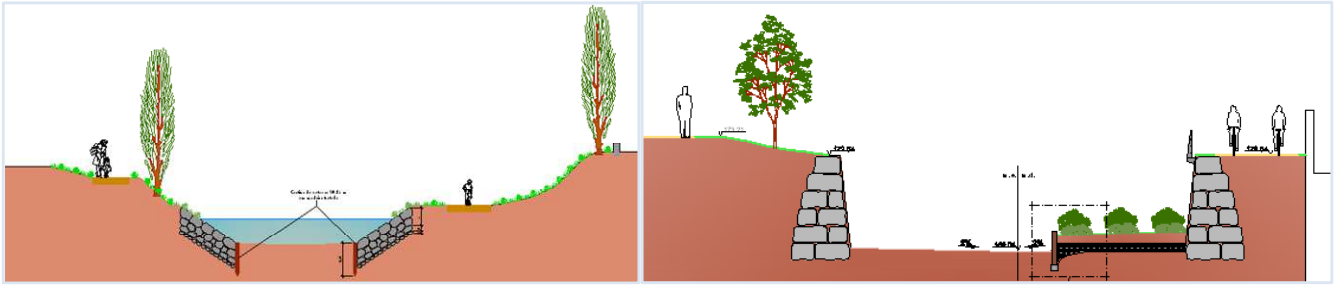


Figura 5. Perfis transversais tipo definidos.

A fim de evitar a sucção dos materiais mais finos que constituem os taludes sobre os quais irão assentar os enrocamentos, está prevista a colocação de filtros, em pedra arrumada à mão, cujas granulometrias foram fixadas em conformidade com as dimensões do enrocamento e das partículas constituintes do talude.

Para o dimensionamento dos filtros foi utilizado o critério do "US Army - Corps of Engineers", o qual se baseia numa condição de estabilidade e em duas condições de permeabilidade, que dependem das dimensões do enrocamento, filtros e base do talude.

A reconversão do actual revestimento do leito e margens, nas zonas onde a secção é trapezoidal, vai favorecer a adaptação de vegetação ribeirinha, pretendendo-se que esta adaptação seja o mais natural possível e impulsionada pelas espécies seleccionadas para a plantação das margens.

No Plano de Plantação foram consideradas várias espécies ribeirinhas, seleccionadas e adaptadas às condições edafo-climáticas do local, procurando ter em linha de conta, tanto quanto possível, a vegetação que existe na área envolvente, (Figura 6).

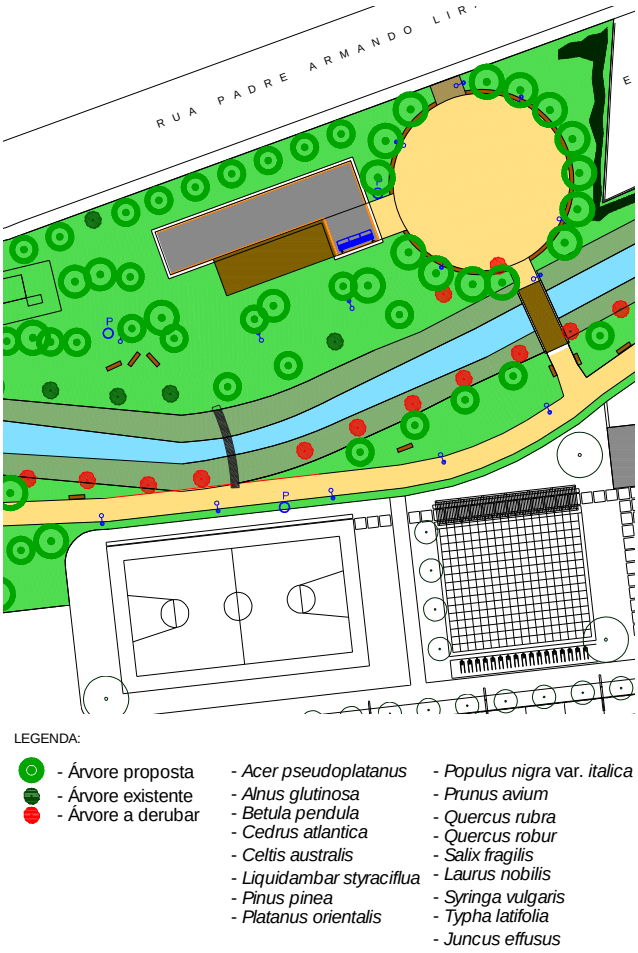


Figura 6. Planta de plantação (extracto).

Atendendo a que a área objecto de intervenção compreende a criação de áreas de lazer, associadas a espaços como por exemplo cafés/esplanadas, quiosques e locais para a prática de desporto, optou-se por espécies ornamentais adaptadas a ambientes urbanos e correntemente utilizadas em parques, jardins e arruamentos.

Na área a intervencionar existem algumas manchas verdes com qualidade, pelo que se teve o cuidado de evitar o derrube de alguns exemplares, e propõe-se que, quando tal não for possível, seja feita a sua transplantação.

No que concerne ao ***ordenamento*** a estratégia concebida assentou em três princípios:

- a interligação dos espaços ao longo do rio, criando condições para que estes sejam percepcionados não como espaços estanques, mas antes como uma sequência contínua de espaços com uma grande diversidade de enquadramentos e factores de interesse, para o que são determinantes os passadiços projectados (Figura 7);
- a criação de condições para o usufruto dos espaços, tornando-os acessíveis a todos, em condições confortáveis e seguras;
- a introdução de elementos de interesse, que respeitando o carácter de áreas verdes, propícias a uma utilização descontraída, que complementem o interesse natural com outras actividades.

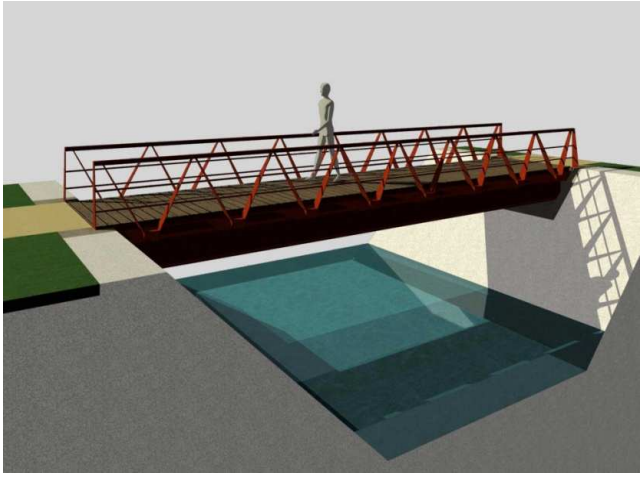


Figura 7. Vista lateral dos passadiços preconizados.

Prevê-se, em conformidade, a criação de um percurso contínuo e claramente identificável que acompanha o rio ao longo de toda a área de intervenção (Figura 8).

Figura 8. Percurso principal (via pedonal ciclável).

Esse percurso poderá, futuramente, ser prolongado como um passeio pedonal com condições para utilização de bicicletas, quer a montante, quer a jusante.

É contemplado o conforto de utilização com a previsão de bancos, papeleiras e pontos de água potável (bebedouros), ao longo dos percursos, em número suficiente.

Como elementos de apoio, valorizadores da intervenção preconizada, foram concebidos dois equipamentos que se destinam a café e quiosque, ambos com esplanada voltada para o rio (Figura 9).

Figura 9. Vista de equipamento de apoio.

Estão previstos, também:

- uma plantação tipo horto, em que predominarão as espécies vegetais ao longo dos percursos devidamente identificadas com placas onde constem os nomes popular e científico;
- uma área de merendas; e:
- um espaço de treino desportivo;

para além de percursos temáticos, de carácter pedagógico, que visam tirar partido da relação entre distância percorrida a pé, ao longo da via principal, para a relacionar com outras distâncias, tais como as do sistema solar ou as percorridas pelos navegadores portugueses.

No conjunto desta intervenção não é descurada a vertente de recolha de dados e monitorização. Preconiza-se a colocação, em pontos estratégicos, de escalas para registo/marcação de cheias e duas estações de monitorização da qualidade da água e de medição de caudais.

Estes dados serão de importância relevante para futuros planos ou projectos que se venham a desenvolver.

2.2. Plano de Requalificação Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Neiva – Área Rural

O Rio Neiva constitui um curso de água ainda bem preservado, que importa manter e potenciar. Pese embora o bom estado geral que se observa, existem situações pontuais que devem ser corrigidas, a curto prazo, sob pena de se assistir à degradação de uma área com uma rede hidrográfica de elevada densidade.

Por este motivo, a Câmara de Vila Verde tomou a iniciativa de providenciar a elaboração de um Plano de Requalificação Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Neiva, tendo como objectivos a preservação, requalificação e ordenamento na área do seu concelho.

A Figura 10 apresenta o enquadramento do concelho de Vila Verde no distrito de Braga.

Figura 10. Concelho de Vila Verde no Mapa do Distrito de Braga.

O Rio Neiva tem a sua origem na freguesia de Godinhaços, no concelho de Vila Verde, num local designado por Ribeiro do Amedo, e a respectiva bacia hidrográfica (Figura 11), incluindo as sub-bacias dos principais afluentes (ribeiros de Rio Mau, da Mó, do Barral, do Souto e do Reirigo), abrange 39 km² na zona NW do concelho (15,5% da área total do concelho e 16% da área total da bacia hidrográfica que é de 242 km²).

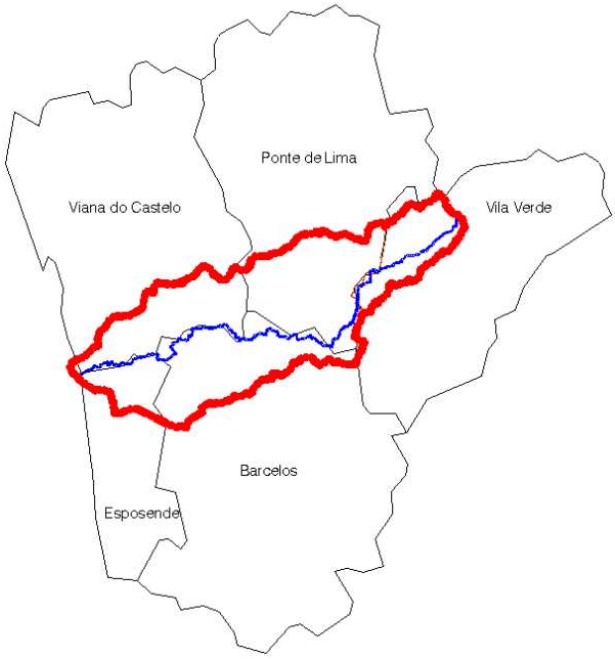


Figura 11. Bacia Hidrográfica do Rio Neiva.

2.2.1. *Âmbito e Faseamento do Plano de Requalificação Ambiental*

O Plano teve como objectivo principal a proposição de um conjunto de *medidas de intervenção* no sentido de se garantir a conservação da rede hidrográfica, nomeadamente quanto a condicionantes existentes com impacto no escoamento e na qualidade da água.

A elaboração do Plano compreendeu três etapas:

- **caracterização** da área de intervenção;
- **diagnóstico** de potencialidades e problemas; e
- **definição de acções** e medidas a concretizar.

A caracterização incidiu sobre as variáveis biofísicas, a componente de humanização, a socioeconomia, o património hidráulico existente, a identificação de zonas de interesse lúdico ou recreativo e o cadastro de focos de poluição.

Nesta fase realizaram-se diversas campanhas de recolha de elementos, junto de várias entidades e no campo, tendo sido compilada toda a informação relevante em "Fichas de Caracterização e Diagnóstico".

Para cada bacia ou sub-bacia foram determinados os coeficientes de compacidade K_c (também designado por índice de Gravellius) e de forma K_f, que permitem relacionar a forma da bacia com o escoamento superficial e aferir da maior ou menor tendência para a ocorrência de cheias numa bacia hidrográfica.

A fase de diagnóstico foi complementada com a identificação e análise de diversos aspectos, nomeadamente:

- *condições de escoamento* (Figuras 12 e 13): condicionantes ao escoamento da água e registo de ocorrência de inundações;
- *sistema ribeirinho*: estado de conservação do leito, margens e galeria ripícola, tipo de vegetação predominante e intervenções realizadas.

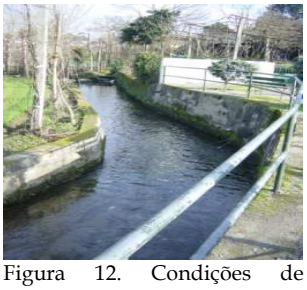


Figura 12. Condições de escoamento – leito e margens artificializados.

Figura 13. Escoamento – leito e margens em estado natural.

- *estado da qualidade da água e principais usos do meio hídrico* (Figuras 14 a 19).

Figura 14. Qualidade da água: boa

Figura 15. Qualidade da água: má

Figura 16. Uso da água: rega.

Figura 17. Uso da água: recreio e lazer.

Figura 18. Uso da água – abastecimento.

Figura 19. Uso da água – recepção de efluentes e de lixos.

- *património hidráulico:* identificação, avaliação do estado de conservação e uso do património construído (Figuras 20 a 23).

Figura 20. Açude.

Figura 21. Azenhas.

Figura 22. Ponte românica (Goães).

Figura 23. Pontão.

- *recursos associados aos valores da paisagem:* identificação dos recursos a potenciar; ao longo das linhas de cumeada, em quase toda a bacia hidrográfica, vislumbram-se extensos panoramas com aglomerados de montanha de grande interesse, que constituem testemunhos vivos de uma cultura agropastoril enraizada, que ainda sobrevive nestes locais (Figuras 24 e 25).

Figura 24. Paisagem.

Figura 25. Paisagem.

2.2.2. *Medidas Propostas*

Decorreu da caracterização e diagnóstico realizados o estabelecimento de um conjunto estruturado de medidas e acções que contribuirão para a valorização e potenciação da área em causa, tipificadas nas seguintes intervenções:

- conservação da rede hidrográfica (despoluição, limpeza e desassoreamento);
- melhoria da qualidade da água (física, química, bacteriológica e biológica) e sua monitorização;

- recuperação de áreas degradadas;
- reabilitação de património e elementos construídos;
- reabilitação da estrutura da galeria ripícola;
- recuperação biofísica e paisagística;
- recuperação ambiental de aglomerados rurais;
- criação de rede de áreas de recreio e lazer;
- definição de percursos temáticos, com trechos de paisagem de elevada qualidade;
- acções de educação ambiental, sensibilizando para a importância da valorização, recuperação e protecção do ecossistema ribeirinho na qualidade de vida e saúde pública.

O conjunto de medidas propostas foi devidamente estruturado, de forma a serem passíveis de enquadramento no Quadro de Referência Estratégico Nacional – ***Programa Operacional da Região Norte – Eixo II (Valorização Económica de Recursos Específicos) e Eixo III – (Valorização e Qualificação Ambiental e Territorial).***

No contexto das acções propostas, foi já elaborado um projecto de execução referente ao sistema de drenagem e tratamento de águas residuais de uma parte da bacia hidrográfica. Esse projecto concretizou-se já em obra permitindo eliminar um dos principais focos de poluição inventariados.

3. Conclusões

Os casos apresentados referem-se a estudos desenvolvidos que têm como objectivos prioritários a melhoria do estado da rede hidrográfica e da qualidade da água, propondo-se para o efeito a implementação de diversas acções de requalificação e renaturalização associadas a medidas de ordenamento e valorização ambiental.

As acções e medidas propostas enquadram-se numa estratégia de planeamento integrado do território em que o planeamento e a gestão dos recursos hídricos se assumem como determinantes na preservação da vida, nas diferentes formas conhecidas.

Essas medidas dizem respeito a:

- conservação e reabilitação da rede hidrográfica;
- despoluição do meio hídrico;
- regularização de caudais;
- controle de cheias e inundações;
- encontrando-se algumas delas já implementadas ou em fase de concretização a curto prazo.
- requalificação do meio hídrico;
- valorização ambiental e paisagística das zonas ribeirinhas;

Espera-se que as mesmas constituam um importante contributo para a sensibilização da população e das diversas entidades com responsabilidades na gestão dos recursos hídricos, tendo em conta a importância que a água assume num quadro de desenvolvimento harmonioso e sustentável do território.

Referências

Agostini, R. & Papetti, A. (1978), A. Revêtements Souples en Matière de Canaux et de Cours d´Eau Canalisés. Tables pour le Dimensionnement des Canaux à Section Trapézoidale, S.p.A. Officine Maccaferri.

Cardoso, A.H. (1998). *Hidráulica Fluvial*, Fundação Calouste Gulbenkian, 314 p.

Direcção Geral do Ambiente. Atlas do Ambiente.

Directiva 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro – Directiva Quadro da Água.

Instituto da Água - Plano Nacional da Água – PNA (2001).

Kangas, P.C. (2004). *Ecological Engineering. Principles and Practice*, Lewis Publishers, 452 p.

Lei 58/2005, de 29 Dezembro - Lei da Água.

Lencastre, A. (1996). *Hidráulica Geral*, Lisboa, 651 p.

Lencastre, A. & Franco, F.M. (2006). *Lições de Hidrologia*, Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 451 p.

Pereira, A.H. (2001). *Requalificação e Limpeza de Linhas de Água*, Instituto da Água, 24 p.

Quintela, A.C. (1985). *Hidráulica*, Fundação Calouste Gulbenkian, 539 p.

Schoklitsch A. (1935). *Tratado de Arquitectura Hidráulica, Tomo Primero*, Gustavo Gili, 583 p.

Tánago, M.G. & Jalón, D.G. (1998). Restauración de ríos y ribeiras, Fundación Conde DEL Valle De Zalazar, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 319 p.

Vários Autores (2004). *Gestão Ambiental de Sistemas Fluviais. Aplicação à Bacia Hidrográfica do Rio Sado*, Moreira, I.; Saraiva, M.G.; Correia, F.N., 574 p.

©2009, ISBN 978-972-99991-8-5

REABILITAÇÃO DO CORREDOR ECOLÓGICO DO RIO UÍMA (SANTA MARIA DA FEIRA)
Ecological Corridor of Uíma River Restoration (Santa Maria da Feira)

EMÍDIO SOUSA (1), MARINA RODRIGUES (1) & PEDRO TEIGA (2)
(1) *Câmara Municipal de Santa Maria da Feira, Pelouro das Obras Municipais, Protecção Civil e Ambiente, Praça da República, 135, 4524-909 Santa Maria da Feira*
marina.rodrigues@cm-feira.pt

(2) *Aluno de Doutoramento, SHRHA, DEC, FEUP, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto*
pteiga@gmail.com

Resumo

O rio Uíma faz parte da Bacia Hidrográfica do rio Douro sendo um dos principais locais de valor paisagístico e ambiental do Concelho de Santa Maria da Feira. O crescimento populacional das últimas décadas e a pressão urbanística e industrial daí resultante têm conduzido a uma ocupação desordenada do solo, abrangendo áreas anteriormente reservadas aos ecossistemas e à dinâmica natural. Praticamente toda a bacia do rio Uíma demonstra claramente a influência e pressão dos factores antrópicos sobre o estado de conservação do ecossistema ribeirinho.

Pretende-se reabilitar o rio Uíma, repondo de forma sustentada e integrada a boa qualidade ambiental e definir um espaço público ribeirinho que crie e/ou revitalize lugares com profundo significado e interesse para as populações e para os visitantes, assegurando a funcionalidade e conectividade dos sistemas naturais e, simultaneamente, conservar e valorizar a biodiversidade e o património natural, paisagístico e cultural local.

Este estudo pretende apresentar a estratégia geral e as principais características de intervenção no rio Uíma como forma de ilustrar as tipologias de intervenção nos recursos hídricos mantendo o objectivo de reabilitar o corredor ecológico. Este projecto pretende ir ao encontro das estratégias e prioridades europeias e nacionais na área da protecção ambiental e sustentabilidade, contribuindo para a implementação da Directiva Quadro da Água e da Lei da Água.

Palavras-chave: Ecossistemas ribeirinhos, recursos hídricos, biodiversidade

Abstract

Uíma river is part of the hydrological basin of the Douro River, being one of the key landscapes and environmental value of Santa Maria da Feira Municipality. The population growth of recent decades, and the following urban and industrial pressure have led to a disorderly occupation of the soil, covering areas previously reserved to the ecosystems. Nearly the entire Uíma river basin reveals clearly the influence and pressure of anthropogenic factors on the conservation state of the river bank ecosystem.

The aim is to restore Uíma river to the highest environmental standards and set a riverside public space to create and/or revitalize places with deep meaning and significance for the people and visitors, ensuring the functionality and connectivity of the natural systems and simultaneously preserve and enhance the biodiversity and the local landscape and cultural heritage.

This study aims to present the general strategy and key features of the Uíma river intervention as a way to illustrate the types of intervention in aquatic systems, endeavors to rehabilitate the ecological corridor. This project aims to meet the European and national strategies and priorities in the field of environmental protection and sustainability, contributing to the implementation of the Water Framework Directive and the National Water Law.

Keywords: Riparian ecosystems, aquatic systems, biodiversity

1. Introdução

O rio Uíma é um afluente da margem esquerda do rio Douro. Nasce no lugar de Duas Igrejas, na freguesia de Romariz, concelho de St.ª Maria da Feira e tem a sua foz em Crestuma, no concelho de Vila Nova de Gaia, ligeiramente a jusante da Barragem de Crestuma-Lever. A bacia do rio Uíma ocupa uma área de cerca de 72 km^2.

Da nascente até à foz percorre, predominantemente de Sul para Norte, as freguesias de Romariz, Pigeiros, Milheiros de Poiares, Escapães, Caldas de São Jorge, Lobão, Fiães, Sanguedo, Vila Maior e Canedo (todas do concelho de St.ª Maria da Feira) Sandim, Lever e Crestuma (do concelho de Vila Nova de Gaia), numa extensão de cerca de 29 km.

Cerca de 16 dos 29 km atravessam St.ª Maria da Feira, tornando-se no principal curso fluvial do concelho.

A Bacia Hidrográfica do rio Uíma é um dos principais locais de valor paisagístico e ambiental do Concelho de Santa Maria da Feira.

Ao longo dos tempos foi destacado o seu valor socioeconómico e cultural, conforme descreveu Arlindo de Sousa, em 1954: "*toda a bacia hidrográfica do Uíma oferece muito interesse, sob o ponto de vista geográfico, histórico, etnográfico, económico, etc.*".

É um rio pouco profundo, não navegável, que se encontrou já despoluído em toda a sua extensão.

No entanto, o crescimento populacional das últimas décadas e a pressão urbanística e industrial daí derivada têm conduzido a uma ocupação desordenada do solo, abrangendo áreas anteriormente reservadas à dinâmica natural.

A evolução da ocupação do solo tem demonstrado um claro abandono das áreas agrícolas e em alguns casos a sua substituição por áreas impermeabilizadas.

Praticamente toda a bacia do rio Uíma demonstra claramente a influência dos factores antrópicos sobre o estado de conservação da vegetação. Além da deposição de resíduos, a silvicultura, a agricultura, as descargas de efluentes domésticos, o crescimento dos núcleos populacionais e o desenvolvimento da rede viária, assumem-se actualmente como factores de perturbação de todo o ecossistema ribeirinho.

A reabilitação do rio Uíma está de acordo com uma estratégia delineada pelo município que contempla a despoluição dos rios e ribeiras do concelho. Com a conclusão dos sistemas de saneamento em 2009, que terá como consequência a melhoria da qualidade da água da bacia do rio Uíma, ficam criadas as condições para se avançar com a sua despoluição e reabilitação.

Assim, a redução das fontes de poluição e a melhoria da qualidade da água superficial contribuirá para a conservação do património natural a par de um conjunto de investimentos que valorizam o território a partir da gestão directa de habitats e espécies com estatuto de conservação, através da introdução de técnicas de bioengenharia que irão assegurar a funcionalidade do sistema natural e a sua conectividade.

Este estudo pretende apresentar a estratégia geral e as principais características de intervenção no rio Uíma de forma a ilustrar as tipologias de intervenção nos recursos hídricos com o objectivo de reabilitar o corredor ecológico.

O projecto de reabilitação do rio Uíma pretende intervir ao nível de várias vertentes da sustentabilidade, tais como a qualidade da água, os ecossistemas ribeirinhos e a regularização das suas margens; a mobilidade urbana com a criação de ciclovias e percursos pedonais e ainda a promoção e a sua dinamização quer patrimonial quer cultural.

Este projecto irá permitir às populações usufruírem de um espaço de grande valor ambiental, paisagístico e de lazer, contribuindo para a melhoria da sua qualidade de vida, promoção do desporto em todas as faixas da população e reabilitação do ecossistema ribeirinho, Figura 1.

Este projecto será desenvolvido em várias fases. Na primeira fase do projecto, a área abrangida corresponde a uma secção da bacia hidrográfica do rio Uíma, que se situa na transição de formas de relevo mais acidentadas a nascente, e de formas onde predominam declives mais suaves a poente, abrangendo as freguesias de Lobão, Fiães e Sanguedo.

Além disso, os investimentos a realizar terão ainda impacto na atractividade daquela zona ribeirinha e na valorização do património natural.

Figura 1. Vista geral do Açude da Preta no rio Uíma (St.ª M. Feira).

Para a valorização das margens do rio Uíma, serão criadas zonas de acolhimento ao longo do percurso que vão permitir a dinamização de uma rede de infra-estruturas, equipamentos e serviços num quadro de aprofundamento da educação para a cultura, de reforço da equidade de acesso e promoção do lazer activo que valoriza a motricidade.

Assim, no âmbito deste projecto será criada uma zona de acolhimento e um percurso pedonal ao longo do rio.

2. Reabilitação: O Conceito

A reabilitação de linhas de água está consagrada na Directiva Quadro da Água (DQA), quando estabelece no seu artigo n.º 4 que: "Os Estados-membros protegerão, melhorarão e recuperarão todas as massas de águas de superfície, … com o objectivo de alcançar um bom estado das águas de superfície, o mais tardar, 15 anos a partir da entrada em vigor da presente directiva…", ou seja, até 2015.

A DQA reformulou a definição dos conceitos de bom estado das águas de superfície e subterrâneas e a obrigação do bom estado ser atingido para todas as massas de água da União Europeia já em 2015.

De entre os novos conceitos salienta-se o de bom estado ecológico das massas de água de superfície, que depende das especificidades da massa de água em si, das condições climáticas, das condições hidrológicas da bacia hidrográfica e também das características hidrogeológicas do meio subterrâneo da bacia hidrográfica, ou seja dos seus sistemas aquíferos.

Conseguir o bom estado ecológico, obriga ao profundo conhecimento das características não só qualitativas e quantitativas dos recursos hídricos, mas também das cargas poluentes produzidas pelas actividades económicas.

Como se pode observar pela Figura 2, e de acordo com alguns autores como Lovett e Edgar (2002), podem destacar-se algumas diferenças entre os conceitos de restauração, reabilitação e remediação.

O conceito de reabilitação aplicado no presente projecto refere-se à obtenção de um ecossistema que, embora se assemelhe às condições originais, apenas são repostas algumas dessas características, criando, no entanto, uma melhoria no sistema degradado.

A restauração implica a reposição das condições originais do rio, incluindo as condições naturais de qualidade da água, sedimentos e regime de cheias, geometria do canal, plantas e animais autóctones e galeria ripícola.

Esta tarefa mostra-se normalmente muito difícil uma vez que na maior parte dos casos é impossível estabelecer quais as condições originais de todo o rio, da nascente até à foz. Para além disto, a forte ligação do rio à sua bacia hidrográfica significa que a restauração teria de ser implementada em toda a extensão da bacia, tornando a tarefa ainda mais difícil.

Assim, seguindo o conceito da reabilitação é possível actuar sem deixar degradar estes ecossistemas aquáticos.

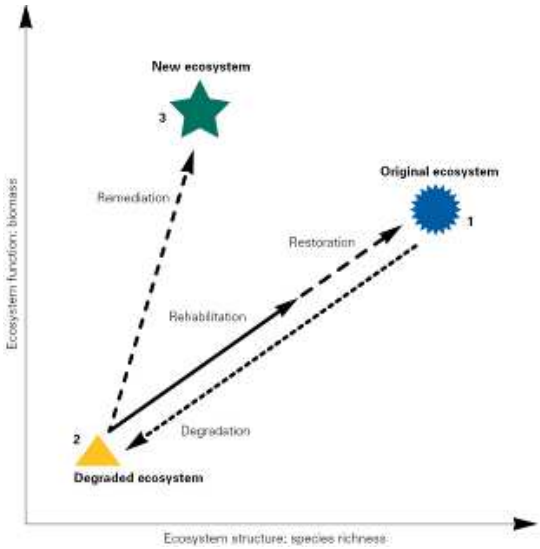


Figura 2. Diferenças entre restauração, reabilitação e remediação (Lovett e Edgar, 2002).

A remediação é a solução última, quando nem a restauração nem a reabilitação são possíveis. Neste caso são promovidas as condições ecológicas do rio, não sendo possível prever as condições finais, onde estas serão certamente afastadas das condições originais.

A reabilitação partilha com a restauração o enfoque fundamental nos ecossistemas históricos pré-existentes como modelos ou referências, mas as duas actividades diferem nas suas metas e estratégias.

A reabilitação enfatiza a reparação dos processos, a produtividade e os serviços de um ecossistema, repondo de uma forma sustentada e integrada, a situação de boa qualidade ambiental que já existiu nesse local e de acordo com os valores culturais presentes, com recurso a medidas não estruturais e estruturais quando necessário (Waal, 1998; Teiga, 2003).

Por outro lado, a reabilitação de linhas de água tem implicações económicas positivas, oferecendo potenciais oportunidades para iniciativas económicas.

Como parte dos retornos económicos associados à reabilitação, pode destacar-se a valorização das zonas ribeirinhas, actividades recreativas e de lazer e a prevenção de cheias, entre outros.

Uma das razões para se desenvolverem projectos de reabilitação de rios é a expectativa de que os benefícios excedam os custos numa perspectiva de bem-estar económico (Rodrigues, 2009).

Os sistemas ribeirinhos respondem a inúmeras necessidades humanas e bióticas, nem sempre compatíveis, o que dificulta a gestão deste limitado e sensível recurso natural, sendo importante implementar uma metodologia geral com aplicabilidade local para a reabilitação destes ecossistemas.

Pretende-se com este projecto contribuir para o cumprimento dos objectivos da DQA e assim para o bom estado da massa de água.

3. Promoção do Corredor Ecológico do Rio Uíma

De acordo com o Plano da Bacia Hidrográfica do rio Douro, a bacia hidrográfica do rio Uíma está incluída nos ecossistemas a recuperar. Por outro lado, a reabilitação do rio utilizando uma metodologia adequada e apoiada cientificamente irá contribuir para a implementação da DQA.

Neste sentido, a promoção do Corredor Ecológico do rio Uíma será operacionalizada por um conjunto de acções para a obtenção de um ecossistema que, embora se assemelhe às condições originais, apenas são repostas algumas dessas características, criando, no entanto, uma melhoria significativa no sistema degradado.

O modo de limpar e requalificar as margens e o leito do rio pretende ser um exemplo positivo de actuação em ecossistemas sensíveis com uma elevada biodiversidade. Assim será favorecida a conectividade longitudinal, transversal e vertical nos troços em projecto para contribuir para uma boa qualidade ecológica.

A limpeza das margens e do leito será realizada em vários troços, preferencialmente de forma manual e selectiva. Serão removidos todos os resíduos sólidos aí depositados (entulhos, sacos plásticos, latas, etc.), bem como a vegetação invasora e árvores caídas, permitindo o livre fluxo da água, redução do efeito de cheia e melhoria da qualidade da água.

Ao favorecimento da função hidráulica seguir-se-á o reforço da função biofísica e paisagística do curso de água, com a reabilitação da galeria ripícola em zonas mais degradadas.

Para isso, recorrer-se-á a podas e plantação de estrutura ripícola, com a plantação de espécies endógenas e prioritárias nos locais seleccionados. Serão utilizadas espécies que se adaptem melhor às situações extremas, como as grandes correntes durante as cheias, sendo sempre evitadas espécies exóticas e que se possam tornar infestantes.

O corte de árvores e arbustos só será completo se tal se justificar, pela afectação negativa do escoamento e a existência de vegetação em mau estado de conservação. Na maior parte dos casos, o corte parcial de ramos será suficiente.

Será feita a reparação de sebes, taludes e muros de suporte sempre que se justifique, utilizando as técnicas que forem mais adequadas em cada troço, constituindo uma perturbação mínima no ecossistema.

Sempre que possível, serão respeitados os períodos de floração e de frutificação, assim como o período de reprodução dos animais mais sensíveis.

As técnicas de bioengenharia em Portugal têm sido pouco aplicadas, quer por desconhecimento técnico, quer por falta de elementos de projecto de construção que permitam a sua maior difusão. Verifica-se que existem poucos lugares onde estas técnicas são aplicadas e, quando existem, são em reduzido número e muito dispersas no espaço e no tempo, o que dificulta a sua adequada comparação na eficácia e sucesso.

Será desenvolvido um projecto-piloto na área de intervenção, com o objectivo de contribuir para o estudo e aplicabilidade de técnicas de bioengenharia e engenharia natural em espaços fluviais no clima temperado com influência mediterrânica.

Este projecto é fundamental para testar e obter valores mais precisos de indicadores e parâmetros de construção, manutenção e durabilidade, face aos objectivos de cada técnica.

De um modo geral, as técnicas de bioengenharia são baseadas em critérios mecânicos, biológicos e ecológicos, que se caracterizam pela utilização conjunta de materiais de construção vivos (plantas) e inertes (madeira, pedra, geotêxteis), utilizadas na estabilização, controlo de erosão em taludes e escarpas e são utilizadas para criar e/ou requalificar um habitat susceptível de ser utilizado por espécies-alvo. Como principais objectivos, podem-se destacar:

- funções técnico-funcionais, na estabilização e controlo de erosão em margens de linhas de água e/ou em taludes instáveis;
- renaturalização e requalificação, quando se pretende repor as condições naturais do local através da implementação de vegetação autóctone;
- paisagísticos, quando se pretende o enquadramento da intervenção com a zona circundante;
- económicos, enquanto estruturas competitivas e alternativas às obras convencionais de engenharia.

Em seguida é apresentada uma breve descrição das principais técnicas de estabilização de taludes seleccionadas para as margens do rio Uíma (CMSMF, 2009; EPA, 2009; Zeh, 2007):

- fachinas – tipo de construção que permite uma certa armação da camada superficial do terreno (Figura 3);
- execução de prumos de madeira – os prumos são estruturas de madeira de pinho tratado, utilizados para estabilizar o solo marginal da linha de água;
- empacotamento vivo – também conhecido por paliçadas com vegetação. O empacotamento vivo utiliza-se essencialmente em linhas de escoamento turbulento temporário e destina-se a travar a velocidade da água e controlar o seu efeito erosivo, possibilitando, através da rugosidade da vegetação, a deposição de materiais e sedimentos transportados e a recuperação da linha de erosão em causa (Figura 4);

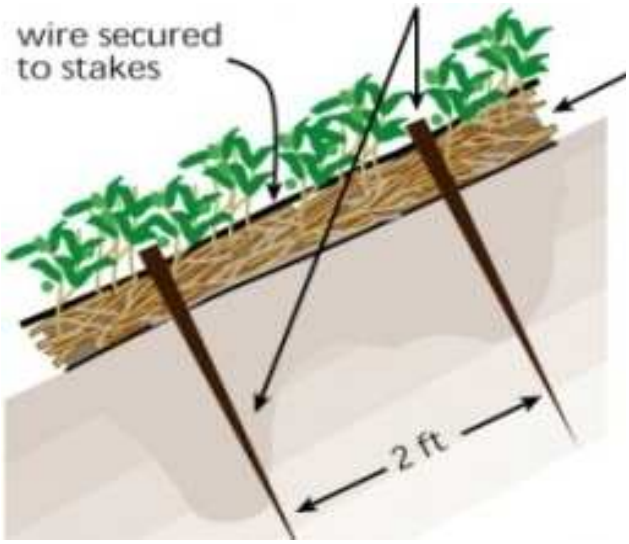


Figura 3. Fachina-viva, técnica de engenharia natural (Zeh, 2007).

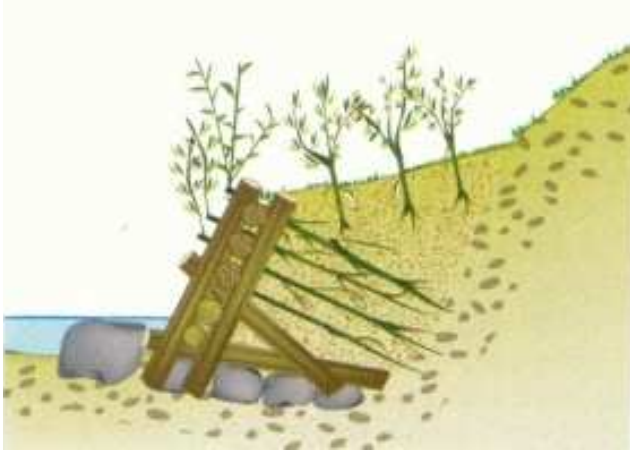


Figura 4. Empacotamento-vivo, técnica de engenharia natural (Zeh, 2007).

- tapete de enrocamento – consiste no fornecimento e execução de uma camada com pedra do local para a estabilização do talude marginal;
- hidrossementeira – é feita com mistura de sementes e substâncias hidrofílicas, de forma a assegurar a humidade necessária à germinação das sementes;
- plantação – plantação de árvores, arbustos e caniços que pode ser feita, em regos ou valados, à cova por torrões ou hastes.

A vegetação utilizada em todas as técnicas será sempre autóctone, de forma a garantir a biodiversidade florística do local e, sempre que possível, serão utilizadas espécies do próprio local das intervenções.

Os resultados obtidos, na aplicação das técnicas de requalificação de margens e leito, serão compilados, estruturados e utilizados como elementos de base para a concepção dos conteúdos de um manual de boas práticas de reabilitação fluvial.

4. Valorização das Margens do Rio Uíma – Zona de Acolhimento e Percurso Pedonal

Com a adesão da Câmara Municipal à *Rede Nacional de Cidades e Vilas com Mobilidade para Todos* em 2002 e com a elaboração do Plano de Acessibilidades para o concelho, pretende-se construir cidades e vilas onde se respeitem os valores fundamentais da solidariedade, da liberdade e da equiparação de oportunidades, quebrando as principais barreiras arquitectónicas e urbanísticas que perturbam a mobilidade a todo e qualquer cidadão.

O projecto de reabilitação do rio Uíma será mais um passo dado pelo município no sentido de intervir na melhoria das condições de acessibilidade, criando condições para que as pessoas com mobilidade condicionada possam desfrutar dos percursos e locais de lazer proposto.

Segundo estudos realizados pela autarquia acerca da procura desportiva no concelho de Santa Maria da Feira: "Desporto em Santa Maria da Feira", "Procura Desportiva no Concelho de Santa Maria da Feira", as ciclovias e percursos pedonais estão no topo das preferências da população Feirense.

Constata-se que os adultos com mais de 50 anos constituem o sector etário da população com maior e mais rápido crescimento e que é possível estimar que em 2030 quatro em cada dez pessoas têm mais de 50 anos de idade (CMSMF, 2009).

A actividade mais recomendada pela classe médica como forma de controlo de peso e incremento da aptidão física é a marcha prolongada, em especial para aquele sector etário.

É frequente observar grandes grupos de caminhantes à noite ou ao fim de semana a realizar percursos de 30 a 60 minutos, três a quatro vezes por semana.

O número de caminhadas realizadas de uma forma organizada com o apoio da Câmara Municipal de Santa Maria da Feira tem tido, ao longo dos anos, um crescimento significativo.

Desta forma torna-se imperativo apetrechar o concelho de Santa Maria da Feira com equipamentos de ar livre dirigidos à população em geral, que permitam também a utilização por grupos populacionais específicos como as pessoas portadoras de deficiência, idosos com mobilidade reduzida entre outros.

Os percursos pedonal e ciclovia terão uma extensão de cerca de 4 km e serão desenhados ao longo das margens do rio Uíma, passando por zonas com carácter bastante rural, onde predominam os terrenos agrícolas, por zonas caracterizadas pela vegetação densa e infestante e por zonas mais urbanas.

Estes percursos serão construídos com recurso a materiais naturais, facilmente integráveis e absorvidos pela natureza, tanto ao nível da cor como das texturas.

Os pavimentos a utilizar serão:

- pavimentos de madeira: ripado de madeira assente sobre estrutura de pinho tratado, para que o pavimento funcione em suspensão;
- calçada à portuguesa de rachão cortado: aplicação de calçada à portuguesa de rachão cortado sobre almofada de pó de pedra após a regularização da sub-base;
- *tout-venant* com saibrão: aplicação de saibrão numa espessura média de 12 cm sobre *tout-venant* com 15 cm de espessura após recalque.

Nas zonas mais rurais optou-se pelos pavimentos em *tout-venant* com saibrão, nas zonas mais urbanas pela calçada à portuguesa de rachão cortado, e nas zonas de leito de cheia, onde os pavimentos não oferecem grandes garantias, é proposta a utilização de passadiços suspensos com estrutura em madeira e pavimento em ripado de madeira de pinho tratado. Estas soluções estão profundamente interligadas com as características naturais dos diferentes locais por onde passam os percursos, obrigando à adopção de soluções diferenciadas.

Os percursos terão uma largura média entre 2 e 4 m, variando em função das condicionantes impostas pelo terreno. Todos os locais terão acesso adequado a pessoas com mobilidade condicionada, incluindo painéis informativos em braille e algum equipamento de manutenção com características adequadas a essas pessoas. Assim, está prevista a criação de guias em todo o percurso, bem como rampas de ligação com inclinação nunca superior a 6%, de forma a garantir a igual mobilidade para todos.

Este projecto servirá também de suporte a outros projectos já em desenvolvimento, relacionados com a homologação de percursos de pequena rota. No sentido da promoção do pedestrianismo e correspondendo aos apelos do Conselho da Europa, para que os países membros promovam o lazer activo e o desporto não competitivo, para todos, este percurso irá também permitir a recuperação de alguns caminhos antigos existentes na região (Figura 5).

Em todas as zonas urbanas e sempre que possível serão criados caminhos de acesso aos percursos, com as mesmas características, contribuindo para a aproximação da população ao rio, o que não acontece neste momento devido à inexistência, na maior parte dos locais, de acesso às zonas ribeirinhas.

O percurso proposto ao longo das margens do rio Uíma será complementado com um local de acolhimento que servirá como ponto de chegada/partida, ponto de informação e local para desenvolvimento de aptidão física.

Neste local serão contemplados os seguintes equipamentos:

- local de informação/sensibilização, onde poderão ser dinamizadas acções em parceria com associações do concelho, escolas, clubes desportivos, escuteiros, entre outros. Neste local existirá um conjunto de painéis informativos sobre os ecossistemas ribeirinhos, o processo operativo da ETAR existente nas proximidades e o percurso pedonal.
- estação de desenvolvimento de aptidão física, composta por um parque geriátrico, campo de Boccia e uma área aberta que poderá ser utilizada para diversas actividades desportivas, recreativas e de lazer.

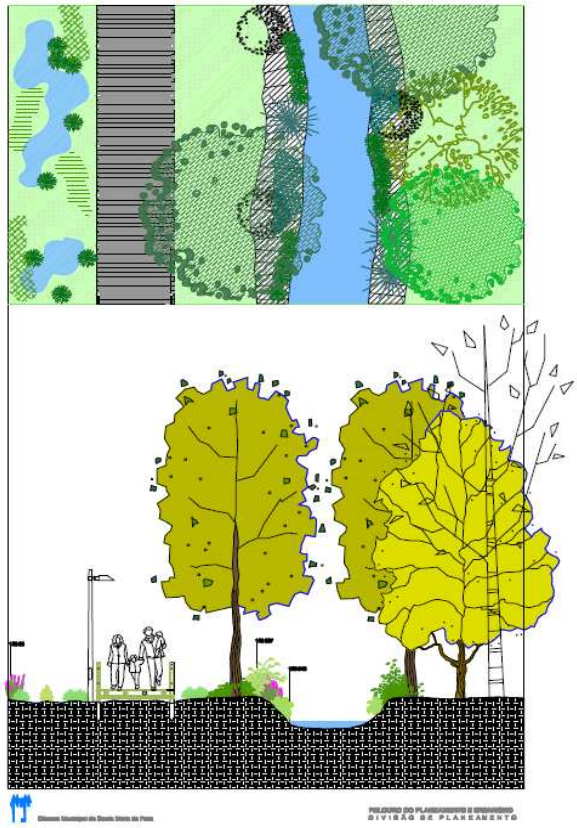


Figura 5. Corte-tipo do projecto de execução no rio Uíma.

A reabilitação será tanto mais eficaz quanto maior for a participação da comunidade na manutenção e gestão deste espaço, pelo que a dinamização terá um papel importante na sustentabilidade do projecto.

Por outro lado, a natureza transversal do projecto permitirá atingir um conjunto de objectivos que parecendo à partida distantes uns dos outros, complementam-se e valorizam-se mutuamente.

Esta articulação intersectorial será o pilar de desenvolvimento de múltiplas acções e actividades que serão disponibilizadas às populações.

5. Manutenção e monitorização

A ausência de manutenção, ou o desenvolvimento de uma manutenção desajustada poderá levar a um desequilíbrio no sistema, nomeadamente a nível do desenvolvimento da galeria ripícola, reiniciando-se o processo de degradação.

O estabelecimento do equilíbrio dinâmico será sempre um objectivo a alcançar de forma continuada. Contudo, a monitorização e as intervenções de manutenção poderão ser mínimas se tiverem em conta a dinâmica e evolução dos processos naturais (CMSMF, 2009).

A conceptualização é simples e baseada no conhecimento de como o sistema voltará ao equilíbrio. Há situações que podem ser mais rápidas, como o estabelecimento da qualidade da água, e outras mais lentas, nomeadamente o restabelecimento da vegetação ripícola.

Quando se utilizam as técnicas construtivas de engenharia natural, assim como as plantas adequadas, é normalmente necessária a realização de trabalhos de manutenção.

Em locais com condições extremas, com pouco espaço de intervenção ou com agressões sistemáticas as manutenções devem ser mais frequentes.

Os trabalhos necessários à conservação da vegetação estabelecida assim como da sua eficácia técnica e ecológica podem incluir as seguintes actividades:

- prevenção dos danos causados pela fauna selvagem ou pelo gado;
- ceifa e transporte do material cortado;
- rega;
- retancha;
- manutenções após eventos de cheias.

A manutenção do local será assegurada pelo Município e pelas Juntas de Freguesia abrangidas, através da constituição de equipas de trabalho, que terão como função a fiscalização de descargas clandestina de efluentes líquidos para a linha de água e a limpeza e manutenção das zonas ribeirinhas associadas ao projecto.

Por outro lado, a implementação de uma rede de ***monitorização*** da qualidade da água irá permitir, para além do controlo da qualidade da água com parâmetros físicos, químicos e biológicos, controlar o estado trófico da água, monitorizar a integridade do sistema ecológico dos habitats dulçaquícolas e a implementação de medidas de protecção e fiscalização ambiental.

Na escolha das soluções técnicas apresentadas, foram tidos em consideração os aspectos de manutenção, nomeadamente tipo de vegetação, materiais e equipamento utilizados.

Também a questão da monitorização da qualidade da água do rio e a manutenção da biodiversidade são aspectos que serão tidos em consideração.

Assim, pretende-se adquirir uma sonda multiparamétrica para fazer a monitorização da qualidade da água, que servirá também para efectuar o controlo e detecção de descargas ilegais de efluentes líquidos no rio e para suportar cientificamente algumas acções de sensibilização a realizar.

A utilização de sonda multiparamétrica na monitorização da qualidade da água do rio tem inúmeras vantagens, das quais se podem destacar as seguintes:

- recolha num único momento de vários parâmetros físico-químicos;
- diminuição do número de amostras a transportar para análise em laboratório;
- boa opção para monitorização em continuo;
- facilidade de recolha de dados em campo, uma vez que não é necessário mais do que um operador;
- baixos custos de manutenção;
- possibilidade de realizar múltiplas medições no mesmo local ou ao longo de um traçado;
- calibração expedita;
- detecção rápida de descargas ilegais.

6. Sensibilização e Educação Ambiental

"A preservação e qualidade ambiental não dependem só da natureza do(s) sistema(s) ecológico(s) mas, por outro lado, das motivações, comportamentos e práticas sociais das populações" (PO Norte, 2000).

A Associação Internacional para a Participação Pública (IAP2) define a participação pública como "qualquer processo que envolva o público na resolução de problemas e na tomada de decisão e que utilize os contributos do público para melhorar as decisões".

As três dimensões fundamentais na análise deste envolvimento, e em função das quais se pode avaliar o grau de participação pública num determinado domínio de actividade são a informação, consulta e envolvimento activo.

Não obstante a legislação existente, perduram lacunas relevantes para um pleno acesso dos cidadãos a informação de cariz ambiental com relevância para a sua qualidade de vida ou para o bem comum.

A participação pública é considerada como um ponto vital para os processos de decisão e tem vindo a ser encorajada por legislação que considera procedimentos que pretendem incluir as sugestões do público nas decisões, por oposição aos processos tradicionais.

No entanto, os formatos de participação mais usados em Portugal continuam a ser passivos. É necessário que a participação pública seja mais efectiva e inclusiva dos cidadãos e das suas sugestões, pois só assim se poderão avaliar as várias vertentes e opiniões. Há assim a necessidade de capacitação dos cidadãos para uma cidadania activa e reflectida. Para tal é preciso operacionalizar o acesso à informação com partilha de experiência nos vários domínios do conhecimento (Teiga, 2006).

Neste projecto, o processo de informação, consulta e envolvimento activo estão muito ligados à educação ambiental, que tem evoluído consideravelmente nos últimos anos. Anteriormente a educação ambiental tinha um carácter naturalista que integrava a defesa do regresso ao passado e a recusa do desenvolvimento e do progresso. Actualmente, assume um carácter tendencialmente realista, o qual assenta na existência de um equilíbrio entre o meio natural e o homem, com vista à construção de um futuro pensado e vivido numa lógica de desenvolvimento e progresso das sociedades.

Neste contexto, a educação ambiental é aceite, cada vez mais, como sinónimo de educação para o desenvolvimento sustentável ou de educação para a sustentabilidade.

A educação ambiental surge como uma componente essencial no processo de formação permanente individual e colectiva, com uma abordagem vocacionada para a resolução de problemas, contribuindo para o envolvimento activo do público, tornando o sistema educativo mais relevante e realista, estabelecendo uma maior interdependência entre estes sistemas e o seu ambiente natural e social, com o objectivo de um crescente bem-estar das comunidades humanas.

No grupo etário mais jovem, a educação ambiental no âmbito da participação pública em projectos de reabilitação pode ser um instrumento para o processo de alteração dos valores, mentalidades e atitudes de modo a criar uma consciencialização profunda e duradoura na sociedade relativa aos problemas associados às questões ambientais e, especificamente, à reabilitação de rios.

Esta concepção pressupõe como tarefa prioritária a sensibilização dos vários sectores da organização social e educacional na co-responsabilização de assumir parte da formação individual de cada cidadão, na defesa dos valores do património humano e natural, tal como são construídos, na consciencialização e dos conceitos éticos, económicos, estéticos, de saúde e até políticos.

7. Conclusões

Este estudo enquadra-se na procura de uma metodologia geral de intervenção em rios e ribeiras com vista a sua reabilitação. A estratégia geral apresentada integra componentes de engenharia civil, engenharia natural e de participação pública.

As tipologias de intervenção apresentadas reflectem o conceito de reabilitação; a promoção do corredor ecológico; a valorização das margens – zona de acolhimento e percurso pedonal; a manutenção e monitorização; a sensibilização e educação ambiental relativamente ao rio Uíma. Para a concretização destas tipologias no projecto de execução realizou-se o trabalho em equipa multidisciplinar.

As soluções técnicas adoptadas no projecto de reabilitação do rio Uíma serão testadas e acompanhadas a fim de avaliar a sua eficiência e eficácia. O projecto será implementado na época ecologicamente mais favorável e respeitado o cronograma estabelecido.

Os processos de reabilitação de rios são um exemplo concreto e local que poderá assumir uma dimensão contínua e continuada de educação com vocação interdisciplinar, cada vez mais com o compromisso efectivo, por parte dos poderes locais, e culturais, na interligação do método científico na formação escolar com as realidades locais.

Referências

CMSMF (2009). *Gestão Activa do Corredor Ecológico do Rio Uíma*. Candidatura da Câmara Municipal de Santa Maria da Feira ao Instrumento de Política "*Gestão Activa de Espaços Protegidos e Classificados*", inscrito no Eixo III do Programa Operacional Regional do Norte.

EPA, U.S. Environmental Protection Agency, (2009). (www.epa.gov).

Lovett, S. & Edgar, B. (2002). *Planning for new restoration*. Fact Sheet 9. Land & Water Australia. Canberra.

PO Norte (2000). *Programa Operacional Regional do Norte 2000-2006*. Aprovado pela Comissão em 28 de Julho de 2000.

Rodrigues, M.A. (2009). *Avaliação dos benefícios da reabilitação de rios – potencial para aplicação da Transferência de Benefícios*. Tese de Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais. Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL.

Teiga, P.M. (2003). *Reabilitação de ribeiras em zonas edificadas*. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia do Porto.

Teiga, P.M. & Veloso-Gomes, F. (2006). *Recuperação de um troço da ribeira de Chacim (Macedo de Cavaleiros)*. Comunicações do 8.º Congresso da Água. Figueira da Foz.

Waal, L.C.; Large, A.R.G. & Wade, P.M. (1998). *Rehabilitation of Rivers: Principles and implementation*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.

Zeh, H. (2007). *Soil Bioengineering, construction type manual*. European Federation for soil bioengineering.

©2009, ISBN 978-972-99991-8-5

GESTÃO PARTICIPADA E POLÍTICAS DE GESTÃO DAS ÁGUAS: PORTUGAL E BRASIL
Participatory Management Policies and Management of Water: Portugal and Brazil

HENRIQUE SOUTO (1), VALMIR DE FRANÇA (2) & ANA ADÉLIA BATISTA (3)

(1) *Doutor em Geografia e Planeamento Regional, Universidade Nova de Lisboa (FCSH-UNL)*
Avenida de Berna, 26-C - 1069-061 Lisboa
hn.souto@fcsh.unl.pt

(2) *Doutor em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais*
Universidade Estadual de Londrina (UEL). Rodovia Celso Garcia Cid – Pr 445 Km 380 – CEP: 86051-990 Londrina – Brasil
defranca@uel.br

(3) *Mestranda em Gestão do Território, Ambiente e Recursos Naturais*
Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa (FCSH-UNL), Avenida de Berna, 26-C - 1069-061 Lisboa
anadegeofcsh@gmail.com

Resumo

A manutenção da vida é uma preocupação recente face à degradação global dos recursos naturais. As tentativas de promover o uso racional dos recursos ambientais e a sustentabilidade são insuficientes por falta de políticas públicas necessárias para gerir a natureza. Entre os problemas ambientais mais urgentes estão os desafios da terrível insegurança que envolve um elemento essencial à vida: a água. A utilização racional dos recursos hídricos é uma condição para poupar a humanidade da exaustão das fontes hídricas e o uso sustentável da água é o interminável desafio aos planeadores em todos os países. O Brasil, apesar da grande disponibilidade de água, enfrenta sérios problemas e conflitos devido à desigual distribuição deste recurso no seu território. Portugal carece de uma gestão sustentável da água e a participação da população ainda não acontece conforme as leis portuguesas e orientações europeias. No Brasil a participação pública ocorre através dos Comités de Bacia Hidrográfica, apesar das críticas ao processo. A contribuição dos cidadãos nas decisões de gestão de bacias hidrográficas é fundamental, pois a água é essencial à vida, é um direito público e de grande interesse económico.

Palavras-chave: Gestão de bacias hidrográficas, participação pública, Itajaí, Mondego.

Abstract

The maintenance of life is a recent concern in the face of global degradation of natural resources. Attempts to promote the rational use of resources and environmental sustainability are insufficient for lack of public policies necessary to manage nature. Among the most urgent environmental problems are the challenges of terrible uncertainty that involves an element essential to life: water. The rational use of water resources is a condition to save humanity from the exhaustion of water sources and sustainable use of water the endless challenge to planners in all countries. Brazil, despite the wide availability of water, faces serious problems and conflicts due to uneven distribution in its territory. Portugal needs sustainable water management and the participation of the population still does not happen as the Portuguese laws and European guidelines. In Brazil, public participation is at the level of the River Basin Committees, despite criticism of the process. The contribution of citizens in decisions affecting the management of watersheds is essential because water is a key issue to life and of great economic interest.

Keywords: Watershed management, public participation, Itajaí, Mondego.

1. Introdução

Actualmente vive-se num tempo marcado, globalmente, por inúmeros problemas relacionados com a água de um lado e de outro pela busca de maior eficácia no uso dos recursos hídricos. Em 1992, por ocasião do evento também conhecido como "Cúpula da Terra", a Agenda 21 foi elaborada para propor metas e programas na busca do ambiente mais sustentável para o século XXI. O Capítulo XVIII trata da sustentabilidade no uso da água, que constitui um grande desafio aos planeadores dos sectores ligados à gestão da água.

As decisões devem ser relevantes e precedidas por avaliações que levam em conta as consequências e a busca de soluções para os problemas existentes evitando os vindouros.

As políticas devem ser adequadas para o uso da terra e a regulamentação de directrizes para o planeamento e a gestão, especialmente voltadas para proteger as regiões, cujos sistemas hídricos são mais propensos à degradação resultante das actividades humanas.

Embora as Leis contemplem as necessidades ambientais, estão demorando a serem aplicadas por falta de cumprimento da legislação e de políticas públicas mais eficazes.

As políticas públicas, leis e regulamentações integradas e aplicáveis fundamentadas em princípios sociais, ecológicos, económicos e científicos, terão como resultado um ambiente mais equilibrado e sustentável.

Um tema complexo e importante a ser considerado é o da participação pública, pois esta contribuirá para o desenvolvimento de acções para o conhecimento e a observância das leis, regulamentações e normas adoptadas que terão influência directa sobre as mudanças necessárias.

Por conseguinte, o interesse deste artigo é: discutir a política e a legislação ambiental para as águas em Portugal e no Brasil, em particular uma observação sobre a realidade do rio Mondego e do rio Itajaí, respectivamente; considerar se os objectivos das políticas ambientais e de gestão para aquelas bacias hidrográficas diferem ou não entre os sectores, ou se são tratados de forma integrada, com enfoque holístico e sistémico; verificar como a participação pública contribui ou tem contribuído na gestão das águas.

A atenção volta-se para a região Sul do Brasil, mais precisamente, o Vale do Itajaí, onde os municípios de Blumenau, Itajaí, Rio do Sul e Brusque constituem pólos importantes de desenvolvimento na economia regional. A importância desta região constata-se pelas informações da bacia do Itajaí que ocupa apenas 16% da área do Estado e detém 20,8% da sua população, mas consome 26% da energia demandada no Estado e contribui com 28% para o PIB de Santa Catarina (Bohn e Frank, 2000 *apud* Mais, 2003).

2. Contexto Hidrogeográfico Brasileiro

Água e vida são termos indissociáveis. Neste contexto, o Brasil detém uma posição privilegiada com 11,8% da água não oceânica planetária, mas com uma distribuição geográfica irregular. A Região Norte, contemplada pela bacia Amazónica, tem um potencial hídrico de 3.968,3 $km^3.ano^{-1}$, que disponibiliza socialmente 512.016 $m^3.hab^{-1}.ano^{-1}$, uma fracção de apenas 7,0% da população brasileira. Muito diferente é a Região Nordeste, onde predomina o clima semi-árido, abriga 29,0% da população, tem potencial hídrico de 186,2 $km^3.ano^{-1}$ e representa apenas 3,2% na escala nacional, traduzida na disponibilidade hídrica de 4.243 $m^3.hab^{-1}.ano^{-1}$, cerca de 120,6 vezes menor do que na Região Norte (Tundizi, 2003). Os contrastes regionais relacionados com a disponibilidade hídrica, as singularidades ecossistémicas e respectivas demandas dos diferentes tipos de utilizadores, são factos desafiadores para a gestão descentralizada e participativa das águas. Com base na definição de bacia hidrográfica, como unidade territorial para estudo, planeamento e gestão, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) instituiu a Divisão Hidrográfica Nacional em Regiões Hidrográficas[1] (ANA, 2007).

Conceitualmente, uma região geográfica constitui o espaço territorial compreendido por uma bacia, grupos de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas, com características naturais, sociais e económicas homogéneas ou similares, com vistas a orientar o planeamento e o gerenciamento dos recursos hídricos (MMA/ANA, 2007).

As características hidrogeográficas determinaram a criação de 12 Regiões Hidrográficas Brasileiras, Quadro 1, as quais tiveram como finalidade orientar, fundamentar, e incrementar o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que é um documento estratégico, participativo, descentralizado, com horizonte temporal até 2020, com abrangência nacional que apresenta metas, directrizes e programas que possibilitam alcançar um cenário pactuado entre o governo, utilizadores e sociedade (MMA-SRH, 2006).

Quadro 1. Disponibilidade Hídrica do Brasil.

Regiões Hidrográficas	Área (1.000 km^2)	Vazão média ($m^3.s^{-1}$)	Disponibilidade Hídrica ($m^3.s^{-1}$)	Estiagem – Q_{95} ($m^3.s^{-1}$)
Amazónica	3.870	132.145	73.748	73.748
Tocantins-Araguaia	922	13.799	5.447	2.696
Atlântico Nordeste Ocidental	274	2.608	320	320
Parnaíba	333	767	379	294
São Francisco	639	2.846	1.886	852
Atlântico Leste	388	1.484	305	252
Atlântico Sudeste	215	3.162	1.109	986
Atlântico Sul	188	4.055	647	647
Paraná	880	11.414	5.792	3.901
Uruguai	175	4.103	565	394
Paraguai	363	2.359	782	782
Brasil	8.533	179.516	91.071	84.904

Fonte: Tundizi (2003)

Bem servido de água, conforme o Quadro 1 acima apresentado, as desigualdades regionais estão associadas a eventos extremos, tais como as áreas de inundação e de seca (Veyret, 2007).

Estes contrastes exigem um profundo conhecimento dos fenómenos hidroclimáticos para subsidiar os Planos de Bacia, ferramenta eficaz para as tomadas de decisões no processo da gestão participada das bacias hidrográficas.

A Região Hidrográfica do São Francisco recebe forte pressão de demandas, ressente os períodos prolongados de estiagens, como tem ocorrido nas últimas décadas nas bacias dos rios Paraná e Uruguai, compostas por rios de planalto.

Este conjunto de factores põe em risco a geração de hidroelectricidade do Anel Sul de distribuição de energia eléctrica, uma vez que a energia hidráulica predomina com 85,4% da Matriz de Energia Eléctrica Brasileira.

[1] Conforme a Resolução n.º 32, de 15 de Outubro de 2003. Pode-se conferir mais detalhes nos dados do Quadro 1.

Outras demandas dos recursos hídricos no Brasil têm na agricultura a fracção majoritária de 46%, seguindo, em ordem decrescente, uso doméstico urbano 27%, industrial 18%, animal 7% e doméstico rural 3% (ANA, 2009).

Outro facto desafiador para uma gestão adequada é o registo dos volumes de água desperdiçados diariamente. Este volume chega ao patamar de 5.519.624 $m^3.dia^{-1}$ no Brasil.

A Região Sudeste é a detentora do maior volume desperdiçado, com 3.136.788 $m^3.dia^{-1}$, com o consumo médio de 0,205 $m^3.hab^{-1}.dia^{-1}$; enquanto a Região Sul regista o menor desperdício, com 283.449 $m^3.dia^{-1}$ e um consumo médio de 0,133 $m^3.hab^{-1}.dia^{-1}$. O menor consumo médio é na Região Nordeste, com 0,113 $m^3.hab^{-1}.dia^{-1}$ (Costa, 2003 *apud* Macedo, 2007).

A condição na dimensão da Saúde Ambiental relaciona-se directamente com as condições de uso da água em Saneamento Ambiental. Segundo a Organização Mundial (OMS), perto de 80% das doenças que afectam os países emergentes provêm da água de má qualidade (Macedo, 2007).

O Quadro 2 (Tundizi, 2003) apresenta o déficit em saneamento no Brasil, que justifica a intervenção urgente do governo por meio de políticas públicas adequadas.

Quadro 2. *Déficit* do sector de Saneamento Básico por região geográfica brasileira.

Serviço	Déficit (%)					
	Brasil	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro Oeste
Água	24,07	32,53	21,74	6,47	9,38	20,29
Esgoto	62,17	98,28	86,78	29,55	82,15	66,73

Fonte: Tundizi (2003)

A água é vida, mas também serve como vector de transmissão de uma variedade de doenças causadas por microrganismos, resultantes da ingestão de água contaminada ou do uso de água poluída para irrigação, pesca e recreação.

Além dos microrganismos entéricos, outros patógenos responsáveis por doenças de pele, ouvidos e garganta são importantes quando a água se destina a actividades que envolvem o contacto corporal (Leitão, Hagler *et al.*, 1988 *apud* Macedo, 2007).

A ausência em 24,07% de água tratada no Brasil, aliada a 62,17% da falta de sistema de colecta de esgoto são traduzidos em populações em situações de riscos.

As Regiões Norte e Nordeste apresentam um estado crítico em saneamento ambiental em relação ao acesso à água tratada e sistema de colecta de esgoto o que se pode observar no Quadro 2 apresentado acima.

Este déficit será reduzido com a implantação dos Planos Municipais e Regionais de Saneamento Básico Participativo[2].

[2] Esta é uma exigência prevista na Lei Federal n.º 11.445 de 5 de Janeiro de 2007.

No cálculo do PNRH, seguindo uma escala em nível regional, tem-se os fundamentos que dão suporte à Segurança Alimentar, em forma de directrizes para a implantação dos Planos de Bacias, um dos instrumentos essenciais para a gestão integrada de bacias hidrográficas.

Dessa forma, a projecção de cenários futuros deve considerar as demandas de água virtual, que é o volume de água demandada para produção de determinada *commodity,* ou seja, o volume em metros cúbicos de água necessários para a produção de certa quantidade, em toneladas ou quilos, de soja, arroz, açúcar, de carne bovina, de aves, etc., (Carmo *et al.*, 2006).

A estimativa de água virtual consumida na cadeia de produção de produtos agropecuários é a seguinte: para 1 kg de soja usa-se 2.000 L de água; 1 kg de arroz precisa de 1.600 L de água; a produção de 1 kg de carne bovina necessita de 43.000 L de água; 1 kg de carne de ovelha consome 51 L de água, etc., (Pimentel, 2004 *apud* Carmo *et al.*, 2006).

Estudos realizados pelo "*Virtual Water Trade Research Programme/UNESCO*" salientaram a relação entre nações de "reservatórios" mundiais de água doce e suas capacidades de geração de divisas. Uma gestão inadequada de recursos hídricos em certas regiões com disponibilidade hídrica considerável poderá levar ao *stress* hídrico (Carmo *et al.*, 2006).

Nas discussões para elaboração do Plano de Bacia numa determinada região, por exemplo, deve ser considerada a produção primária como os grãos, o açúcar e álcool, ou mesmo de produtos semifacturados como cortes de carne bovina, de carne suína, aves, etc., com projecções de cenários quantitativos futuros relacionados à demanda de água para o sector primário de produção.

3. Política Brasileira de Recursos Hídricos

Pode-se afirmar que no Brasil a preocupação legal teve início com o Decreto n.º 24.643 - 10/07/1934, o Código de Águas, e na altura era de competência do Ministério da Agricultura, quando a população predominante ocupava a área rural.

Em 1997 a Lei n.º 9.433 (08/01) institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Cria o Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (SNGRH).

Lei n.º 9.748 de 30/11/1994, dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina. A Lei n.º 9.984/2000 cria a Agência Nacional de Águas.

A Resolução 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), dispõe sobre a classificação de corpos de água e directrizes ambientais para o seu enquadramento; estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes.

O Decreto n.º 5.440 de 04/05/2005 estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água (sistemas de abastecimento e mecanismos de informação ao consumidor sobre a qualidade da água).

Deve-se ressaltar que a Lei Federal 9.433/1997, conhecida como a Lei das Águas, tem como fundamento que a água é um bem de uso público, um recurso natural limitado, dotado de valor económico.

A novidade desta lei é que a gestão deve proporcionar o uso múltiplo e deve ser descentralizada. Neste sistema a BH é a unidade de implementação da Política Brasileira de Recursos Hídricos (PNRH).

Os instrumentos da PNRH são planos de RH, cobrança pelo uso, compensação a municípios[3] e sistema de informações sobre recursos hídricos.

O SNGRH tem como objectivos coordenar a gestão integrada, arbitrar administrativamente os conflitos, implementar a PNRH, planear, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos e promover a cobrança pelo uso. Integra o SNGRH o Conselho Nacional de RH, os Conselhos Estaduais de RH, os Comités de BH, os Órgãos dos poderes públicos cujas competências se relacionem com a gestão dos RH e as Agências de Água.

Os Comités de BH são Colegiados instituídos por Lei pelo Sistema Nacional e Estadual de RH (SNERH) e sua base é a gestão participada e integrada. Os Comités têm papel deliberativo e são compostos por representantes do poder público, sociedade organizada e utilizadores de água. Aos Comités é atribuído o poder de arbitrar os conflitos entre utilizadores, aprovar e executar os Planos de RH e regulamentar a outorga e cobrança pelo uso da água.

A Lei n.º 9.433 introduziu mudanças na concepção de gestão ambiental e estabeleceu a BH como unidade de planeamento, rompeu com o conceito de gestão calcado na divisão político-administrativa do território.

São amplos os amparos legais para gerir a água no País. É interessante observar que nos últimos anos, apesar das críticas pertinentes, nota-se um crescente envolvimento da sociedade e participação dos cidadãos no processo da criação e estruturação da gestão nas bacias hidrográficas.

4. Bacia Hidrográfica do Itajaí

O hidrossistema Itajaí é o curso de água mais importante da Região Hidrográfica do Atlântico Sul e, no contexto do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina, corresponde à 7.ª Região Hidrográfica (7.ª RH).

A Região Hidrográfica do Atlântico Sul tem como característica climática uma elevada pluviosidade, sazonalmente no período de Maio a Setembro, prolongando-se às vezes até ao início do Verão, devido à ocorrência de formação de frentes estacionais que provocam chuvas frontais com valores de precipitação superiores à média histórica (Monteiro, 1969 *apud* França, 1993).

Outra causa do aumento considerável das vazões da hidrografia regional é o fenómeno El Niño Oscilação Sul ou Meridional (ENOS), responsável pelas inundações catastróficas em toda a Região Sul do Brasil (França, 1993).

O clima da BH do Itajaí é Mesotérmico Úmido (grupo climático Cfa Subtropical Úmido) de acordo com o Método de Classificação Climática de Koppen[4].

Apresenta uma distribuição quase uniforme das chuvas por todos os meses, devido à superposição de três regimes pluviométricos que se confrontam na região Sul do Brasil: o tropical, com máximas no Verão, provenientes das continuidades tropicais; o de frente polar de percurso oceânico, apresentando máximas no Outono e, o da frente polar de percurso continental, provocando as chuvas de Inverno e de Primavera (Comité do Itajaí, 2005).

A 7.ª Região Hidrográfica ocupa a maior área da vertente atlântica de Santa Catarina, situando-se na unidade fisiográfica Litoral e Encostas de Santa Catarina, Figura 1.

Figura 1. Localização da BH do rio Itajaí.
(Fonte: http://www.comiteitajai.org.br/hp/index.php).

Seus domínios territoriais abrangem uma área de 15.000 km², equivalente a 16,15% do estado catarinense e 0,6% do território nacional.

A BH do Itajaí abriga 53 municípios, dos quais 47 têm as suas sedes dentro dos limites da bacia, com o contingente populacional estimado num milhão de habitantes e uma taxa de 76% de urbanização.

A ocupação humana no Vale do Itajaí começou com a instalação da Colônia Blumenau[5]. Os colonizadores alemães sofreram o impacto da primeira cheia do rio Itajaí em 1852, que inundou totalmente as suas lavouras e a pequena vila à beira do rio.

As três maiores inundações em Blumenau ocorreram entre 1852 e 1911, dentre elas a de maior cota 17,10 m em 1880.

No período seguinte, de 1911 até 1982, não ocorreu nenhuma cheia acima da cota 12,90 m, o que levou a população a esquecer os eventos extremos e assim ocupar as planícies inundáveis.

Nos anos de 1983 e 1984 ocorreram cheias que atingiram cotas superiores a 12,90 m, com as máximas de 15,34 m e 15,46 m, respectivamente.

Os prejuízos tangíveis calculados na bacia do Itajaí corresponderam a 8% do produto Interno Bruto (PIB) de Santa Catarina, equivalente a U$$ 1,1 bilião (Casagrande Júnior, 2008; Tucci, 2003; Frank, 1995).

[3] Pode-se conferir a respeito deste assunto: "ANEEL. *Compensação financeira pela utilização de recursos hídricos para geração de energia elétrica.* Agência Nacional de Energia Elétrica. Cadernos Temáticos 2. Brasília: ANEEL, 2005".

[4] Cfa: clima temperado húmido com Verão quente.

[5] Fundada pelo Dr. Otto Blumenau em 1850.

A história de Blumenau é acompanhada pelos registos das 71 inundações extremas ocorridas com frequência a partir de 1852 até 2008. A atipicidade pluviométrica no mês de Novembro de 2008 em Blumenau foi causada pelo acumulado de 982 mm, quando a média histórica para aquele mês é de 113 mm, não justificando a dimensão da tragédia socioambiental.

Os deslizamentos de fragmentos florestais não ocorreram somente devido às chuvas intensas, mas pela ocupação não planeada e pelo uso inadequado do solo, das vertentes íngremes, ao longo da bacia hidrográfica do Itajaí, como em todas as bacias hidrográficas do Atlântico Sudeste (Tucci, 2008).

As vazões ou escoamento das águas no leito dos rios integram o sistema de drenagem das bacias, que exprimem as variações de precipitação, são policíclicas e sensíveis às interferências antrópicas.

Quando o pulso de cheia do rio Itajaí atingiu o seu máximo em Novembro de 2008, com 11,29 m, sua vazão foi equivalente a 3.768 $m^3 . s^{-1}$, no entanto, na cheia ocorrida em 1880, a lâmina de água chegou a 17,10 m, com a vazão estimada em 7.893 $m^3.s^{-1}$, duas vezes maior.

As cheias na BH do Itajaí são naturais e cíclicas. Esta informação seria suficiente para impedir a ocupação das suas várzeas e o uso do solo de forma insustentável neste frágil ecossistema, Figura 2, a Mata Atlântica (Tucci, 2008; Frank, 1995).

Figura 2. Deslizamento de terras.
(Fonte: Regis reginaldorepres@yahoo.com.br)

Os eventos hidrológicos atípicos mereceram as atenções de estudiosos e do gestor público, justificando as intervenções técnicas e socioambientais desta BH catarinense, com a criação do Comité de BH do Itajaí e da respectiva Agência de Bacia.

Os espaços representativos das comunidades locais, os gestores e utilizadores em um fórum permanente de discussões sustentam o planeamento e a gestão participativa desta bacia.

4.1. Características socioeconómicas

A BH do Itajaí teve como base da economia a vegetação durante décadas e a ela se deve toda a colonização para o interior. O Estado sofreu grandes alterações nas últimas décadas em função da intensa desflorestação.

A dinâmica do rio Itajaí e tributários foi alterada mediante rectificações, alargamentos, aterros e assoreamentos, diminuindo drasticamente a extensão dos cursos de água. Essas mudanças alteram o equilíbrio da natureza e o dinamismo harmonioso em evolução estável e contínua (Sevegnani & Santos, 2000 *apud* Porath, 2004).

Na BH do rio Itajaí os processos de exploração madeireira, de palmito, de óleo sassafrás, de lenha e o derrube da floresta para desenvolver pastagens, agricultura, cidades e rodovias, trouxeram muitos impactos ao ecossistema.

"A população do Vale do Itajaí tem noções claras sobre alguns dos efeitos da degradação ambiental que elas mesmas provocam. Mas este conhecimento por si só não acarreta mudanças. São necessários estímulos, exemplos, incentivos enfim, um amplo elenco de actividades inseridas num processo educativo indutor dessas mudanças. A relação homem-natureza precisa de ser transformada" (Caubet & Frank, 1993, *apud* Porath, 2004).

A BH mais expressiva é a do Itajaí devido à sua extensão e importância socioeconómica. Os principais centros urbanos localizados nesta bacia são: Rio do Sul; Ibirama; Timbó; Indaial; Gaspar; Blumenau; Brusque e Itajaí.

Estas cidades concentram a maior parte do complexo urbano-industrial do Vale, composto por mais de três mil unidades industriais: 90% pequenas, 8% médias e 2% grandes, que correspondem a 25% do valor da transformação industrial do Estado. Assim, a produção industrial destaca-se como actividade económica principal, na maioria, fábricas de tecidos, calçados e vestuário, reconhecidas em todo Brasil. O complexo industrial do Itajaí é significativo para a economia do estado; no ano de 1995 foi responsável por 13,6% das exportações catarinenses (360 milhões de dólares).

A produção agro-pecuária é expressiva, com destaque especial para o arroz, tabaco, leite e produtos da suinocultura. Merece ainda ser citada a actividade pesqueira aí desenvolvida. O relevo regional predominante é o ondulado e fortemente-ondulado com cerca de 45% da área da bacia, os terrenos de topografia plana ou suavemente ondulada, junto à planície costeira, ocupam em torno de 30% da área, a parte montanhosa, praticamente inacessível, 25%.

De todas as regiões hidrográficas do Estado, esta é a que ainda apresenta a maior cobertura vegetal original e/ou pouco modificada, principalmente nas áreas íngremes da parte serrana.

A topografia da região, com os inúmeros cursos de água, expõe a bacia do Itajaí a frequentes inundações e a grandes prejuízos, Figura 3, pois somente no município de Blumenau, do ano de 1852 a 1997, foram registadas 67 cheias.

A rede telemétrica integra o sistema de alerta desde 1990; as estações enfrentam problemas de manutenção devido à inconstância no repasse de recursos.

Actualmente, a manutenção das estações é feita pela Agência Nacional de Energia Eléctrica (ANEEL) e pelo Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina (CLIMERH).

Nesta Região Hidrográfica existem três associações de municípios: Associação dos Municípios do Médio Vale do Itajaí (AMMVI); Associação dos Municípios do Alto Vale do Itajaí (AMAVI) e Associação dos Municípios da Foz do Rio Itajaí (AMFRI).

Figura 3. Bacia Hidrográfica do Itajaí.
(Fonte: Refosco, 2003. Elaboração: Soraia L. Porath, 2004)

Tais entidades exprimem a capacidade de organização dos moradores, inclusive da população rural, que soma 25% do total de moradores de todo o Vale do Itajaí.

4.2. Gestão participada da bacia hidrográfica do Itajaí

A BH do Itajaí sempre teve de enfrentar os problemas relacionados com as cheias.

No decorrer de uma história de prejuízos económicos e humanos, foram construídas na região barragens para que a água fosse retida em reservatórios, abandonadas em seguida pelo poder público o sistema para a contenção das cheias.

Porém, foram surgindo iniciativas como a criação do Comité de BH do rio Itajaí pelo Decreto Estadual n.º 2109, 5/08/1997, com os seguintes objectivos: promover a gestão descentralizada, participativa e integrada dos RH; promover acções integradas contra os riscos à população; reconhecer o RH como um bem público de valor económico; combater e prevenir: poluição, inundações, estiagens, erosão e assoreamento.

O Vale do Itajaí tem sido impactado por inundações que amedrontam a população pelas suas proporções, levando as entidades organizadas a mobilizarem-se e a criarem comités para gerir a bacia hidrográfica.

A gestão das bacias hidrográficas pela organização dos Comités e Agências de Bacia é uma ideia inovadora, pois permite a participação da comunidade na formulação de propostas para a gestão da água.

A acção determinada pelo Comité do Itajaí foi a recuperação da mata ciliar. Sendo a meta principal a recuperação das matas ciliares em toda a bacia do Itajaí, o que virá a alterar a paisagem: o relevo, os solos, o clima e a cobertura vegetal.

No processo de gestão compartilhada, o Estado e a sociedade procuram estabelecer uma relação participativa e descentralizada através da mobilização dos diversos actores sociais da bacia.

Os problemas identificados são similares aos da realidade nacional, sendo a questão sanitária um dos grandes problemas urbanos do país e também da bacia do Itajaí.

O uso e ocupação do solo, aliado ao processo de desflorestação executado sem planeamento, torna ainda mais complexa a questão.

5. Política de Recursos Hídricos em Portugal

A história remete-nos ao ano de 1892 quando foi instituída a administração hidráulica em Portugal pelo "Regulamento dos Serviços Hidráulicos"[6].

Era o início da regulamentação do domínio hídrico. Passaram quase três décadas e foi criada a Lei da Água n.º 913 em 29/11/1919 que estabelece distinção entre águas públicas e privadas, introduzindo o conceito de licença e concessão. O Decreto-Lei n.º 45 de 22/02/94 determina o planeamento de recursos hídricos[7].

A gestão da água em Portugal tem como orientação a Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23/10, num quadro de acção comunitária no domínio da política da água que estabelece que "a água não é um produto comercial como outro qualquer, mas um património que deve ser protegido, defendido" (Matos, 2003).

Inicialmente o quadro de política da água era distinto do actual, o qual privilegiava as obras hidráulicas e subalternizava as preocupações ambientais, somente consideradas nos Planos de Bacias Hidrográficas (PBH) deixando para trás as decisões que levavam a água a ser encarada sectorialmente, quando as obras visavam o desenvolvimento de grandes sectores económicos como o agrícola e o energético.

6. Participação nos Planos de Bacia Hidrográfica

A participação pública preconizada na Directiva Quadro da Água (DQA) e na Lei da Água (LA) é que o Estado deve incentivar a participação do público na aplicação da directiva e na execução da lei, nomeadamente no processo de elaboração dos Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) e nas sucessivas revisões e actualizações.

A participação do público contribuirá para os processos de tomada de decisão mais sustentados; maior entendimento dos problemas ambientais; diminuição de eventuais conflitos por desconhecimento; aumento da probabilidade de sucesso de implementação da DQA.

A informação deve proporcionar o acesso ao público, para efeitos de consulta e envio de comentários escritos nos programas de trabalhos para a elaboração do plano e síntese das questões relativas à gestão da água.

---

[6] Decreto n.º 8 de 1º de Dezembro de 1892. "*Regulamento dos Serviços Hidráulicos*". O Art. 1.º determina "cada bacia hidrográfica principal constituirá uma região hidrográfica, designada pelo nome do rio principal que nela corre". Este Decreto sofreu as primeiras alterações em 1º de Janeiro de 1897.

[7] Do Decreto-Lei n.º 45/94, destaca-se o Art. 2.º, inciso 2 – O planeamento de recursos hídricos tem por objectivos gerais a valorização, a protecção e a gestão equilibrada dos recursos hídricos nacionais, assegurando a sua harmonização com o desenvolvimento regional e sectorial através da economia do seu emprego e racionalização dos seus usos.

7. Bacia Hidrográfica do Rio Mondego

O rio Mondego é o quinto maior rio e o maior exclusivamente português, nasce na Serra da Estrela a 1.525 m de altitude, percorre 258 km e desagua na Figueira da Foz.

A BH é a segunda maior inteiramente nacional. Situa-se na região central do país, Figura 4, abrange uma área de 6.645 km² e inclui as bacias das ribeiras de Figueira da Foz (25 km²) e de Pombal (32 km²).

O Plano de Bacia engloba 6.702 km².

Figura 4. Localização da BH do rio Mondego.
(Fonte: www.inag.pt)

O Instituto da Água (INAG) realizou um estudo relativo ao sistema de organização, tarifário e de gestão do aproveitamento hidráulico do Mondego.

A realização deste estudo reveste-se de grande importância pelo facto de abordar a componente económica da operação e manutenção dos empreendimentos, numa óptica de gestão sustentável dos mesmos (INAG, 2001).

Os principais utilizadores de água na BH do Mondego estão distribuídos em vários sectores com a seguinte proporção: para a rega 83%, para a indústria 9%, para o abastecimento público 8% e para a pecuária o consumo é inferior a 1% do total.

As unidades da pasta de papel e do papel correspondem a cerca de 95% dos consumos das necessidades de água para a indústria.

Apesar da pouca eficiência das políticas para gerir o sector hídrico, foram muitas as iniciativas para amenizar os problemas, inclusive das cheias no rio Mondego que ocorrem desde o século XIV, afectando uma das principais cidades de Portugal, a cidade de Coimbra, Figura 5.

A Universidade de Coimbra regista as cheias mais importantes dos anos: 1331, 1788, 1821, 1842, 1852, 1860, 1872, 1900, 1915, 1962, 1969 e 1979. Inicialmente o período de retorno era de 50 anos, nos dois últimos séculos, de 20 anos.

Figura 5. Vista parcial da cidade de Coimbra.
(Fonte: Google Earth, 26 de Junho de 2007)

7.1. Situação Socioeconómica da BH do Mondego

A BH do Mondego integra 36 concelhos com uma população de 676.605 habitantes (1995); a maior parte concentra-se em Coimbra, Viseu e Figueira da Foz. Houve um elevado acréscimo populacional nos anos 70 e actualmente há forte tendência de decréscimo, excepto Coimbra, Viseu e Figueira da Foz.

A actividade económica distribui-se desigualmente pelos seguintes sectores: terciário (50% da população activa); secundário (34%) e primário (16%). Segundo os estudos do INAG (1999), a tendência é de diminuição da percentagem no sector primário; aumento no sector terciário (maior no litoral e menor no interior). A concentração maior está em Coimbra, Figueira da Foz, Pombal e Viseu (cerca de 50% das actividades).

8. Considerações Finais

Conforme o acordo das partes envolvidas na Agenda 21, até ao ano de 2000 a meta era alcançar padrões sustentáveis de utilização dos recursos hídricos.

Os países deveriam planear e iniciar programas de acção nacionais com custos e metas determinados, estabelecer estruturas institucionais e instrumentos jurídicos apropriados e por fim, desenvolver programas eficientes de uso da água. Até ao ano de 2005 deveriam atingir as metas subsectoriais de todas as áreas de programas sobre recursos de água doce.

Assim os Estados, através das políticas de gestão, deveriam definir programas que garantissem a protecção dos recursos hídricos contra o seu esgotamento, poluição e degradação.

A legislação de ambos os países possui cronologia e princípios semelhantes, bem como os problemas: ocupação humana das margens dos rios e as inundações.

O rio Mondego apresentava inicialmente um período de retorno de cheias de 50 anos e nos dois últimos séculos de 20 anos.

A gestão da BH continua a ser um desafio. Tal como acontece na maioria dos rios portugueses, no rio Mondego, a construção de algumas barragens, açudes e do canal de regularização do leito e dos caudais, entre outras obras, modificaram a hidrodinâmica fluvial.

As cheias do rio Itajaí apresentam um período de retorno médio de 5 anos (de 1850 a 1899); 2,5 (de 1900 a 1949); 1 (de 1950 a 1990) e 3 (de 1991 a 2005). Em 2008 a grande tragédia da intensa precipitação matou quase duas centenas de pessoas e deixou um prejuízo de milhões de dólares.

No Brasil a gestão pública integrada e participativa ocorre através da criação de entes públicos em cada bacia como os "Comités de Bacia Hidrográfica" e as "Agências de Bacia". Os Comités contam com a participação do poder público, utilizadores e sociedade civil, tendo nas Agências o órgão executivo, o apoio técnico e administrativo.

A participação pública é defendida pelos princípios da cidadania e da democracia. Rendem muitas críticas devido ao facto de estas organizações estarem ligadas aos financiamentos internacionais. Assim, as organizações das bacias estariam dando suporte aos ideais das instituições financeiras (Dagnino, 2004).

No entanto, a participação pública é o anseio dos cidadãos desde que se iniciou uma batalha contra a gestão centralizadora do poder. Mas ainda está longe do ideal para concretizar a participação de forma a contribuir efectivamente com as decisões em torno da gestão das águas porque o cidadão informado, activo e participativo está em minoria.

Sendo assim, será mais difícil constituir uma base sólida de participação pública.

A nossa sociedade tem dificuldade em formar a opinião pública sobre as opções políticas que afectam a nossa cidadania, isso requer tempo para reeducar a mente de uma cultura arraigada.

A informação não é suficiente, pois é necessária a adesão e compreensão das pessoas. Na Europa ainda é notável o problema do desinteresse dos cidadãos na política[8].

A compreensão torna-se mais difícil para a sociedade civil quando os problemas em torno da gestão da água são mais complexos.

É preciso considerar a parcela de cidadãos com opinião formada e interesse em participar no processo de planeamento e forma activa.

Os cidadãos que estão dispostos a consumir tempo neste empenho muito contribuem para desenvolver e amadurecer o processo de gestão participativa e a superar as deficiências.

Ao desenvolver a temática ambiental, pretende-se contribuir com a compreensão da descentralização e participação para a gestão ambiental. Apontando para uma política que seja, desde o seu encaminhamento, focada na perspectiva da construção de uma sociedade sustentável, na qual todos são responsáveis pela qualidade ambiental.

Apesar das controvérsias em torno das organizações para a gestão da água, ao menos teoricamente esta é mais democrática.

Ainda não se conhece um modelo ideal para gerir os problemas relacionados com a qualidade e quantidade da água no mundo.

Porém, em nossa avaliação podem-se alcançar melhores orientações com a contribuição dos cidadãos. As experiências da participação pública para a gestão das águas têm sido positivas pelo facto dos cidadãos se envolverem no processo e terem maior interesse em colocar em prática as medidas.

Referências

Agência Nacional de Águas (ANA) (2007). *Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil.* Cadernos de Recursos Hídricos, 2. ANA, Brasília, DF, 126p.

ARH Centro, INAG (2009). *Questões significativas da gestão da água na região hidrográfica do Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste. Documento de apoio à participação pública.* Janeiro, 2009.

Carmo, Roberto Luiz do; Ojima, Andréa Leda Ramos de Oliveira; Ojima, Ricardo & Nascimento, Thais Tartalha do (2006). *Água virtual, conflitos internacionais, escassez e gestão: o papel do Brasil.* III Encontro da ANPPAS. Brasília, DF. Acesso Abril de 2008 em http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro3/GT1.html.

Casagrande Júnior, Eloy (2008). *Homepage de Responsabilidade Social.* Acesso Março de 2009 em http://www.responsabilidadesocial.com/article/article_view.php?id=763

Comité do Itajaí (2005). *Comitê do Itajaí – Agência de Bacia. Disponibilidade.* 28 de Outubro de 2005. URL [http://www.comiteitajai.org.br/hp/index. php]. Acesso em 12 de Março de 2009.

Dagnino, Evelina (2004). *Construção democrática, neoliberalismo e participação: os dilemas da confluência perversa.* Política &Sociedade. Out/ 2004. N.º 5. p. 139–164. Acesso Maio de 2009 em http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/politica/article/view/1983/1732

França, Valmir de (1993). *Caracterização de uma área crítica através da análise de freqüência das inundações na bacia hidrográfica do médio Iguaçu.* Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita". Presidente Prudente, São Paulo. 308p.

Frank, Beate (1995). *Uma abordagem para o gerenciamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Itajaí, com ênfase no problema das enchentes.* Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Beat Frank, Florianópolis, SC, 326p.

INAG (1999). *Síntese da Análise e Diagnóstico da Situação Actual: Diagnóstico.* Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Mondego. 1.ª Fase. Volume II – Enquadramento. 08 de Novembro de 1999.

[8] O tema foi colocado em evidência na Comissão das Comunidades Europeias. Governança Europeia. Um Livro Branco. Bruxelas (2001), citado por SERENO, Amparo (s/d). *Participação pública e o paradoxo do interesse desinteressado.* AdP - Águas de Portugal Serviços Ambientais, SA. Acesso a Março de 2009 em www.ualg.pt/5cigpa/comunicacoes/Asereno.doc

INAG (2001). *Plano de bacia hidrográfica do Rio Mondego.* 6.ª Fase. Regulamento. 2001. Acesso a 14 de Novembro de 2008 em www.ccdrc.pt/regiao/bacias-hidrograficas/mondego/fase6-m.pdf

Macêdo, Jorge Antônio Barros de (2007). *Águas & águas*. 3ª. Edição. Editor Jorge Antônio Barros de Macêdo, Belo Horizonte, MG. 1.027p. ISBN – 10: 85-90156-89-0 e 13 – 978-85-90156-89-5.

Mais, Ivanir Luzia (2003). *A bacia do rio Itajaí, Santa Catarina –2001.* Projeto Marcas d'Água – relatórios preliminares 2001. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 18p.

Matos, Rosa (coord.) (2003). *Marco Legal e Institucional da Participação Pública nas Bacias Hidrográficas*. Lisboa, EURONATURA e IDIMA. Iberaqua. Vol. 2.

Ministério do Meio Ambiente (MMA), Agência Nacional de Águas (ANA) (2007). *GEO Brasil: recursos hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil*. Brasília, DF, 264p. ISBN: 978-85-89629-19-5.

Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) (2006). Plano nacional de recursos hídricos - Síntese executiva. MMA – SRH, Brasília, DF. 135p. ISBN – 85-7738-013-0.

Moreira, Ilídio e outros (2002). *Ecossistemas aquáticos e ribeirinhos. Ecologia, gestão e conservação*. Instituto da Água.

Observatório do Desenvolvimento Regional (2005). Clima regional, 2p. Acesso Abril de 2009 em http://www.furb.br/especiais/interna.php?secao=378

Paiva, Isabel M.R. & Silva, Delta S.(s/d). *Risco de cheia, vulnerabilidade e vias de mitigação. O baixo Mondego e as cheias de 2000/01 enquanto caso de estudo.* Universidade de Coimbra. LNEC. Acesso a 30/03/2009 em www.ualg.pt/5cigpa/comunicacoes/artigo_final.doc

Porath, Soraia Loechelt (2004). *A paisagem de rios urbanos. A presença do rio Itajaí-Açu na cidade de Blumenau.* Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 150p.

RMV & Associados – Sociedade de Advogados (2008). Água. Colecção Ambiente. Legislação-Jurisprudência. Porto Editora.

Rodrigues, Rui; Brandão, Cláudia & Costa, Joaquim Pinto da. *Hidrologia das cheias do Mondego de 26 e 27 de Janeiro de 2001*. INAG.

Saraiva, Maria da Graça Amaral Neto (1998). *O rio como paisagem. Gestão de corredores fluviais no quadro do ordenamento do território.* Textos universitários de ciências sociais e humanas. Fundação Calouste Gulbenkian.

Silva, Demétrius David da & Pruski, Fernando, Falco. *Gestão dos recursos hídricos: aspectos legais, económicos, e sociais*. Viçosa, MG: UFV; Porto Alegre, RS: ABRH.

Tucci, Carlos E.M. 28 de novembro de (2008). *Inundações em Santa Catarina.* Homepage de Blog do Tucci. Acesso Dezembro de 2008 em http://blog.rhama.net/2008/11/

Tucci, Carlos E.M. & Bertoni, Juan Carlos (2003). *Inundações urbanas na América do Sul*, Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), Porto Alegre, RS, 156p. ISBN – 85-88686-07-4.

Tundizi, José Galizia (2003). *Água no Século XXI: enfrentando a escassez.* Editora RIMA, São Carlos, SP. 248p. ISBN – 85-86552-51-8.

Veyretet, Yvette (Org.) (2007). *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente;* [tradutor Dilson Ferreira da Cruz]. Editora Contexto, São Saulo, SP. 320p. ISBN - 978-85-7244-354-8.

©2009, ISBN 978-972-99991-8-5

PROJECTO AQUASTRESS: UMA ABORDAGEM PARA A GESTÃO PARTICIPATIVA DOS RECURSOS HÍDRICOS
The AquaStress Project: a Participative Approach towards Water Resources Management

RODRIGO OLIVEIRA MAIA
Professor Associado, SHRHA, DEC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto
rmaia@fe.up.pt

Resumo

A participação pública na gestão dos recursos hídricos assume um papel fundamental no contexto da Directiva–Quadro da Água. Neste sentido, e no âmbito do Projecto AquaStress (integrado no 6.º Programa-Quadro da UE), foram desenvolvidos vários casos de estudo em diferentes países para a determinação de soluções integradas para a mitigação do stress hídrico. A concepção dos vários casos de estudo envolveu, desde o seu início, a inclusão e participação das principais instituições e organizações envolvidas na gestão da água a nível local e nacional. Assim, no âmbito do caso de estudo português, focado na região da margem esquerda do rio Guadiana, foram desenvolvidas várias actividades em parceria com os representantes das instituições e organizações participantes, no sentido de se identificarem, seleccionarem e implementarem opções de mitigação dos problemas de escassez de água que caracterizam esta região, particularmente vocacionada para a agricultura. Este trabalho pretende descrever o papel e importância dos stakeholders envolvidos no desenvolvimento do projecto e nos seus resultados, em particular no caso de estudo português.

Palavras-chave: Escassez hídrica, opções de mitigação, participação pública, rio Guadiana, gestão dos recursos hídricos.

Abstract

According to the Water Framework Directive, public participation assumes a fundamental role in water resources management. Under the AquaStress Project (integrated in the 6th EU Framework Programme), several case studies were developed in various countries, in order to elaborate integrated solutions towards water stress mitigation. Since its very early stages, the AquaStress project was designed to involve and to work with the main local and national water resources management institutions and organizations. The portuguese case-study was developed in the Guadiana river left margin, where agriculture is the main economic sector. In this region, several activities were jointly developed with the representatives of the aforementioned institutions and organizations envisaging the identification, selection and implementation of water stress mitigation options. This work describes both the general development process of the case studies, as well as the role and importance of the stakeholders in the achieved results, especially in the portuguese case study.

Keywords: Water stress, mitigation options, public participation, Guadiana river, water resources management.

1. Introdução

No âmbito do Projecto Europeu AquaStress, integrado no 6.º Programa-Quadro da UE, foram desenvolvidos oito casos de estudo com base em diferentes actividades, formuladas de acordo com as necessidades e interesses manifestados pelas instituições e organizações envolvidas em cada um desses casos de estudo.

Neste contexto, uma equipa de investigação da FEUP, responsável pelo caso de estudo Português (inserido na bacia hidrográfica do Guadiana), desenvolveu em colaboração com outros parceiros do projecto, abordagens integradas e multissectoriais para a análise e mitigação do stress hídrico, no quadro da gestão integrada dos recursos hídricos, de acordo com os princípios base da DQA (Directiva Quadro da Água).

Este trabalho começará por uma sintética descrição geral do projecto, sendo destacadas as assumpções globais assim como a metodologia aplicada na sua concepção.

Seguir-se-á a descrição do caso de estudo português (doravante referenciado por CEG), nomeadamente a sua formulação e a estruturação e definição das diferentes actividades desenvolvidas.

Será descrita, de forma breve, a metodologia seguida, nas várias fases do projecto, para o envolvimento das instituições e organizações que aceitaram colaborar, demonstrando o seu papel específico nas diferentes etapas dos quatro anos de investigação, nomeadamente através de reuniões e workshops realizados nas diferentes fases do trabalho.

Será ainda referido o trabalho específico desenvolvido no envolvimento dos *stakeholders* e, nomeadamente, o trabalho destes no acompanhamento do trabalho de campo e na avaliação e integração dos resultados do CEG. Entre outras, essas actividades incluíram sessões de participação pública e de envolvimento directo, nomeadamente, de agricultores, numa actividade de "benchmarking" da rega do olival que também será objecto de referência.

2. Descrição Geral do Projecto AquaStress

O Projecto AquaStress, integrado no 6.º Programa-Quadro, teve como objectivo global desenvolver abordagens integradas e multissectoriais para o diagnóstico, prognóstico e mitigação do stress hídrico, em acordo com os agentes envolvidos e/ou afectados ("stakeholders").

De facto, uma das grandes novidades deste projecto reside na metodologia desse tipo de abordagem, muito direccionada para (e pelos) principais stakeholders envolvidos nas diferentes fases do trabalho. Em termos de objectivos específicos, o projecto visou (AquaStress, 2005):

1. Fornecer aos stakeholders envolvidos uma visão global das opções de mitigação do stress hídrico, dotando-os de uma base de conhecimento integrada e extensiva, para suportar soluções relevantes e sustentáveis para os problemas identificados;
2. Formular novas abordagens para integrar as preocupações dos stakeholders na gestão dos recursos hídricos e em opções de escala europeia, de forma a tornar possível uma comparação entre os diferentes casos de estudo com características semelhantes;
3. Desenvolver e fomentar o uso de novas formas de conhecimento e de ferramentas de gestão dos recursos hídricos, com o apoio dos stakeholders;
4. Desenvolver directrizes ("guidelines") para a implementação integrada de opções de mitigação do stress hídrico a diferentes escalas (local, regional e europeia); e
5. Promover uma "mudança de cultura" nas abordagens das situações de stress hídrico, ao nível das instituições competentes e da sociedade em geral, através do efectivo envolvimento e consciencialização dos stakeholders.

O Projecto AquaStress contemplou, assim, como inovação específica:

a) uma abordagem abrangente de diferentes opções de mitigação do stress hídrico baseadas num conhecimento integrado e extensivo que permitisse definir soluções relevantes e sustentáveis para os problemas identificados;
b) o envolvimento efectivo das diferentes instituições e organizações com um papel efectivo na gestão de recursos hídricos.

De facto, com este tipo de abordagem participativa dos problemas de mitigação do stress hídrico, visou-se atingir objectivos e resultados realistas que tivessem também em conta a importância das políticas sociais, económicas, ambientais e institucionais relativas à água, no âmbito dos princípios-base da DQA.

O Projecto integrou como parceiros, 33 organizações de 17 países, cada uma com diferentes valências, sendo: 14 universidades; 14 instituições de investigação; e 5 pequenas e médias empresas.

O Projecto recorreu, assim, às vertentes académica e profissional para gerar conhecimento nas áreas da gestão operacional e tecnológica, ambiental e socioeconómica e na elaboração de políticas de gestão dos recursos hídricos.

Esses parceiros integraram grupos de trabalho (Work Blocks, WB's), cada um destes correspondente a uma área e/ou valência de investigação e a tarefas específicas a atingir com o projecto (Quadro 1).

O trabalho das referidas organizações foi focado e testado mediante Casos de Estudo (CE), em sintonia e com o envolvimento e colaboração de stakeholders regionais e locais, permitindo encarar a gestão das situações de stress hídrico através de uma abordagem abrangente, participativa e ao mesmo tempo realista na resolução de problemas, que tenha em conta a importância das políticas sociais, económicas, ambientais e institucionais relativas à água. Esses CE foram formulados logo na fase de formatação da proposta do projecto e incidiram sobre oito regiões da Europa e Norte de África com problemas de escassez de água: Flumendosa-Mulargia (Itália), Vecht/ Bacia de Zwarte (Holanda), Przemsza (Polónia), Iskar (Bulgária), Limassol (Chipre), Vale Merguellil (Tunísia), Tadla (Marrocos) e Guadiana (Portugal).

Quadro 1. Grupos de trabalho e respectivos temas de investigação/objectivos.

GRUPO DE TRABALHO	TEMA CENTRAL DE INVESTIGAÇÃO/OBJECTIVOS
WB1	Coordenação de actividades de campo e do Fórum com Instituições envolvidas
WB2	Caracterização do stress hídrico
WB3	Opções de mitigação do stress hídrico
WB4	Infra-estrutura para suportar o processo de implementação de soluções
WB5	Implementação, teste e avaliação das soluções identificadas
WB6	Disseminação
WB7	Gestão de Projecto

Dado o nível necessário da integração da actividade dos *stakeholders*, foram criados vários órgãos que asseguraram a sua inclusão, no decurso das actividades do projecto, a várias escalas, a saber: o Grupo Conselheiro (GC); o Fórum de Representantes (FR); o Fórum Regional de Stakeholders (FRS); e Fórum Público Regional de Stakeholders (FPRS). Os dois primeiros (GC e FR) para intervenções no âmbito geral do projecto e os seguintes (FRS e FPRS) para acções no âmbito dos CE.

O GC integrou cinco individualidades de reconhecido prestígio internacional, constituindo um órgão com existência permanente ao longo de todo o projecto, e que presidia às sessões realizadas – Assembleias Conjuntas (AC) –, a nível global do projecto, para acompanhamento e coordenação do mesmo. O FR era constituído por representantes (não fixos) dos stakeholders de cada uma das regiões em estudo e que participava nas AC (que corporizam reuniões dos stakeholders e dos parceiros do projecto). O FR integrava cada um dos parceiros responsáveis pela coordenação das actividades do projecto de cada uma das (8) regiões em estudo – Parceiro Regional (PR) –, e representantes dos principais stakeholders de cada uma dessas regiões, escolhidos conforme a evolução do projecto e as necessidades do mesmo.

Quanto aos órgãos de âmbito local (dos CE): o FRS era constituído pelos principais stakeholders da região (envolvidos através de protocolo), sendo coordenado pelo respectivo PR; o FPRS envolvia todos os elementos do FRS e os restantes stakeholders regionais e sectoriais envolvidos.

O faseamento do Projecto, desenvolvido em 4 anos, Figura 1, traduz a lógica da estrutura corrente em casos de estudo, e naturalmente da abordagem participativa levada a cabo.

De facto, a abordagem participativa começou logo no primeiro ano do projecto com a divulgação dos seus propósitos e objectivos junto de numerosas instituições de âmbito local, regional e nacional, e onde se procedeu à caracterização da problemática da escassez hídrica.

Figura 1. Faseamento do projecto AquaStress.

Ainda no 1.º ano do projecto (Figura 1), e após formalização da participação dos stakeholders que integraram o FRS, foi feita uma análise com estes problemas existentes e dos potenciais objectivos a atingir. No segundo ano do projecto, após a definição, através da intervenção dos stakeholders, da área e objectivos específicos dos CE a desenvolver, procedeu-se à formulação do CE e à consequente formação da equipa multidisciplinar de investigadores ("Joint Working Team" – JWT), correspondente aos diferentes parceiros do Projecto que ficaram agregados ao desenvolvimento do mesmo, de acordo com o refinamento do âmbito dos trabalhos definido.

O 3.º ano do projecto correspondeu à fase de implementação e monitorização das diferentes opções de mitigação planeadas para cada uma das regiões estudadas, para o que se procurou promover um desenvolvimento dinâmico do mesmo, tentando adaptar e integrar as diferentes actividades de acordo com os problemas e necessidades reais da região em estudo, através do envolvimento das instituições e organizações locais e regionais envolvidas.

No último ano do projecto procedeu-se à avaliação do trabalho efectuado e realização de uma síntese crítica e construtiva do processo, procurando extrapolar recomendações e conclusões de dimensão europeia relevante, com base nos resultados obtidos ao nível das diferentes regiões estudadas.

O processo e metodologia para o envolvimento dos Stakeholders seguidos nos Casos de Estudo encontram-se descritos com maior detalhe em Maia (2009a e 2009b).

3. O Caso de Estudo Português

3.1 Descrição Geral

O CEG visou a análise de medidas e cenários que permitissem a racionalização e optimização dos recursos hídricos na margem esquerda da bacia do rio Guadiana, a jusante da barragem do Alqueva, incluindo por isso os concelhos de Moura, Serpa e Mértola, Figura 2.

Figura 2. Localização do Caso de Estudo Português.

A escolha desta região, para além dos frequentes casos de escassez de água e pobre qualidade da mesma, prendeu-se com a futura entrada em funcionamento do subsistema do Ardila que irá permitir beneficiar a margem esquerda com a água do Alqueva, possibilitando um aumento potencial de 30.000 ha de regadio nesta zona, tipicamente caracterizada pela agricultura de sequeiro.

Neste sentido, e de acordo com a opinião das instituições e organizações convidadas e que aceitaram colaborar com o Projecto, foi definido o objectivo central do estudo a desenvolver, sintetizado na seguinte proposta: "Como utilizar correctamente e partilhar os recursos hídricos nos vários sectores agrícola, urbano e ambiental de forma a maximizar o benefício ambiental, económico e social?"

A margem esquerda do Rio Guadiana é bastante sujeita a fenómenos de seca, o que, no caso de Mértola, por exemplo, ocorre em média de 3 em 3 anos, segundo o Instituto da Água (INAG, 2001). Por outro lado, esta região apresenta fortes evidências de um crescimento da área de regadio, em especial do olival, principalmente nos concelhos de Serpa e Moura, onde é esperado um forte aumento na procura de água, sendo esta actualmente proveniente, de forma quase exclusiva, de fontes de água subterrâneas. Este efeito far-se-á sentir tanto na economia local, como nos impactos ambientais e paisagísticos desta região (CEG), de uma forma duradoura, dadas as características perenes, por exemplo do olival, assim como o tempo necessário para a recuperação dos investimentos realizados, nomeadamente com a instalação dos sistemas de rega.

Como foi referido, a escolha da região do CEG resultou de um processo analítico em que foram sendo envolvidos os stakeholders, que haviam integrado (através de protocolo) o FRS, formado ainda no primeiro ano do projecto. Essa escolha que culminou o referido processo, foi efectuada, aliás, com base na sugestão dos membros do FRS, transmitida em reunião havida em Beja (Maio de 2006), e só após a qual se passou à fase específica de formulação do CEG.

De acordo com os interesses e expectativas manifestados pelos stakeholders envolvidos, e na perspectiva de contribuir para o desenvolvimento sustentável da região, foram então definidos dois eixos temáticos para o desenvolvimento do CEG: (A) a racionalização e optimização do uso dos recursos hídricos, e (B) a implementação de melhores práticas de gestão da rega. Foram também agregados ao desenvolvimento do CEG os parceiros do projecto cujas valências se mostraram adequadas para contribuírem nesses dois eixos de acção, e que formaram o JWT do CEG.

Após a formulação mais detalhada dos objectivos e do planeamento do CEG, decorrentes também de várias reuniões entre o PR e alguns dos stakeholders entretanto envolvidos, veio o mesmo a ser apresentado e discutido publicamente, após prévia aprovação pela coordenação do projecto, em sessão também realizada em Beja (Dezembro de 2006 – final do segundo ano do projecto), e que constituem a primeira reunião alargada com os membros do FPRS. A composição dos correspondentes órgãos encontra-se representada no Quadro 2. O processo de selecção dos stakeholders e a definição do seu envolvimento encontram-se descritos com detalhe em Maia (2009b).

Em termos do JWT, e para o desenvolvimento das opções técnicas propostas e desenvolvidas para a gestão mais adequada dos recursos hídricos da região foram também envolvidos: a UCL (University College de Londres), nos estudos económicos da utilização da água; a HIDROMOD (Modelação em Engenharia, Lda), na modelação e melhoria da qualidade de águas superficiais; a Universidade de Hannover, na optimização da gestão operativa de albufeiras (reservatórios); o CNR/IRSA (Consiglio Nazionali delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque), na modelação das águas subterrâneas visando a sua protecção e melhoria da sua qualidade; a Universidade de Barcelona, na (potencial) reutilização das águas residuais para rega; a Cemagref (Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural des Eaux et des Forêts), na análise das melhores práticas e ocupação agrícola do solo; e a FEUP, com (i) estudo de indicadores de performance da rega do olival (com o apoio do COTR) e também (ii) realizando a comparação sistemática e integrada das diferentes opções do CE, para diferentes cenários hidrológicos e de desenvolvimento social e regional, através da aplicação de um sistema de suporte à decisão (Maia, 2009a)).

Para além destes parceiros, o JWT do CEG contou ainda, com a participação da USF (Universidade de Osnabruck), Cemagref e CNR/IRSA como responsáveis pelo envolvimento dos stakeholders, nomeadamente no teste e validação da implementação das opções técnicas referidas. O Quadro 3 resume os problemas focados e a abordagem seguida no desenvolvimento dessas opções técnicas.

Uma descrição mais detalhada das actividades desenvolvidas no âmbito das opções técnicas levadas a cabo no CEG pode ser encontrada em Costa e Maia (2009), Correia *et al.* (2008, 2009), AquaStress (2008, 2009).

Durante o período de implementação e monitorização das opções de mitigação (3.º ano do projecto) realizaram-se três reuniões "gerais", isto é, envolvendo todos os parceiros integrantes do JWT e os membros do FPRS, procurando-se que cada uma delas fosse realizada numa das sedes dos três concelhos envolvidos (o que, no caso de Moura, não foi conseguido, por dificuldades logísticas, tendo a correspondente reunião ocorrido em Beja).

O objectivo geral destas sessões de trabalho permitiu estabelecer uma linha de trabalho contínua entre o JWT e os stakeholders, com o objectivo final de proceder ao acompanhamento e monitorização das actividades, à integração das opções técnicas e, finalmente, à avaliação das mesmas, individualmente e de forma integrada.

3.2 Papel dos Stakeholders no Caso de Estudo Português

O envolvimento dos diferentes actores envolvidos na (ou afectados pela) gestão dos recursos hídricos, nos diferentes níveis da tomada de decisão ilustra como o projecto ambicionou, desde sempre, ir mais além na problemática associada à gestão dos recursos hídricos do que a simples proposta de linhas de orientação para a implementação de opções técnicas de gestão integrada desses recursos durante o período de duração do projecto.

A participação dos stakeholders no decorrer do projecto ocorreu de várias formas e a várias escalas:

i) como órgão consultivo ao nível da concepção do CEG – através do Fórum de Representantes (FR), a nível global do projecto e através do FRS e FPRS, a nível regional; e

ii) como avaliadores e "consultores" do progresso e resultados das actividades desenvolvidas dentro de cada CE pelos membros do JWT. Neste subcapítulo será focada e descrita esta última forma de intervenção dos stakeholders no CEG.

Quadro 2. Composição dos órgãos de stakeholders envolvidos no CEG.

Órgão	Escala de representação	Stakeholders envolvidos
Forum Regional de Stakeholders (FRS)	Nacional, Regional	Administrações de Região Hidrográfica do Alentejo e do Algarve (ex-Comissões de Coordenação e do Desenvolvimento Regional); Águas do Centro Alentejano; Águas do Algarve; Empresa Desenvolvimento de Infra-estruturas de Alqueva; Centro Operativo e Tecnologia de Regadio; Federação das Associações de Agricultores do Baixo Alentejo; Comissão de Acompanhamento de Impactos Ambientais (INAG); Direcção Geral da Agricultura e Desenvolvimento Regional (ex-IDRHa); Liga para a Protecção da Natureza; EuroNatura.
Fórum Regional Público de Stakeholders (FPRS)	Regional, Local	Membros do FRS; Câmaras Municipais de Serpa, Moura e Mértola; Cooperativa Agrícola de Brinches e Moura-Barrancos; Associação de Agricultores Moura e Serpa; Associação de Beneficiários da Vigia e Lucefecit; Federação Nacional de Associações de Regantes; Universidade de Évora; Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação; Escolas Profissionais de Serpa e Moura; Estação Agronómica Nacional; Parque Natural do Vale do Guadiana; Associação dos Beneficiários do Enxoé; Associação dos Municípios Alentejanos para a Gestão do Ambiente.

Quadro 3. Descrição das opções técnicas e actividades desenvolvidas pelos membros da JWT do Caso de Estudo Português (Maia, 2009b).

Parceiro	Opção	Problema focado no âmbito do caso de estudo	Abordagem considerada
A. Racionalização e optimização dos recursos hídricos			
Hidromod	Controlo das águas superficiais	Eutrofização das águas superficiais e recursos hídricos a jusante	Percepção e alteração das emissões de nutrientes e deterioração da qualidade da água
U.Hann	Gestão de reservatórios	Eutrofização de reservatórios e interrupção de abastecimento de água com qualidade	Adaptação do modo de operação dos reservatórios de acordo com a poluição entrada e o volume de água armazenado
CNR/IRSA	Controlo das águas subterrâneas	Poluição e diminuição dos recursos subterrâneos	Diminuição da sobre-exploração dos aquíferos e uso de fertilizantes
UCL	Política de preços	Uso não económico dos recursos hídricos	Identificação da potencial eficiência de instrumentos económicos
UB	Reutilização de águas residuais na agricultura	Descarga de poluentes de fontes de poluição localizadas em massas de água sensíveis	Identificação de usos alternativos para as águas residuais domésticas (fins agrícolas)
FEUP	Integração de opções	Gestão integrada dos recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura	Simulação de diferentes cenários de desenvolvimento urbano e agrícola
B. Gestão do abastecimento à agricultura			
FEUP	Boas práticas de gestão do olival	Perdas de água na agricultura, sobre-exploração dos aquíferos	Redução das perdas de água
Cemagref + FEUP	Mudança de culturas e uso do solo	Selecção de culturas não sustentável, disponibilidade hídrica reduzida, erosão e emissões de nutrientes	Selecção de culturas com vista à minimização dos consumos de água

O envolvimento específico dos stakeholders ao nível das actividades do CE ocorreu em três áreas complementares: j) na definição de um quadro de avaliação das opções; jj) através da sua participação activa no desenvolvimento e implementação das opções de mitigação, seja pela sua avaliação específica, seja pelo acompanhamento das actividades de campo inerentes às opções de mitigação; e jjj) na integração espacial das opções de mitigação de escassez hídrica, que foi focalizada em duas zonas específicas (bacia drenante da barragem do Enxoé e área correspondente ao aquífero de Moura-Ficalho), e, também, na totalidade das zonas de desenvolvimento agrícola do CEG (através da aplicação do WSM-DSS).

O acompanhamento específico das actividades ocorreu de forma contínua ao longo do período de implementação das opções técnicas. Paralelamente a este acompanhamento, foi também desenvolvido o quadro de avaliação das opções (formulado no âmbito de workshops, realizados por ocasião e em sequência das sessões de trabalho de apresentação do progresso das actividades, aproveitando a presença dos membros do FPRS), o que permitiu a avaliação individual das opções no final daquele período, aquando da obtenção dos resultados. Logicamente, a integração das opções ocorreu após a avaliação individual das mesmas.

3.2.1. Definição do quadro de avaliação

No processo de desenvolvimento do CEG foi estruturado um eixo de actividades correspondente à "*Implementação, teste e avaliação das soluções identificadas*" inserido e enquadrado no WB5 (ver Quadro 1), especificamente para o acompanhamento e envolvimento dos Stakeholders durante o projecto. Nesse âmbito foram estruturados exercícios de teste e validação da potencial implementação das diferentes opções propostas para a região, através da organização conjunta com o PR, de diferentes reuniões e workshops (Maia, 2009a e 2009b).

Desta forma seria possível não só incluir os principais "actores" nacionais e regionais nas principais decisões do projecto, mas também permitir que os resultados obtidos fossem avaliados e discutidos entre eles e os investigadores responsáveis pelo desenvolvimento das opções.

No entanto, e relativamente a esta interacção, deve referir-se que os investigadores e peritos externos contemplam muitas vezes variáveis e factores que os stakeholders não consideram fundamentais. Neste contexto, um processo de tomada de decisão que integre ambas as perspectivas pode tornar-se bastante complexo se não mediado ou acompanhado devidamente.

No caso do projecto, este contexto foi previsto desde cedo e, como tal, posto em curso um processo de enquadramento da actividade conjunta entre investigadores e stakeholders, que contemplou a definição de um quadro de avaliação do trabalho desenvolvido pelos primeiros.

Este processo pretendeu assim "harmonizar" os esforços dos membros da JWT com as expectativas e necessidades da região.

Assim, e no final do segundo ano do projecto, depois de definido o CEG e assim como todos os órgãos envolvidos (FRS, FPRS e JWT), foi elaborado um inquérito genérico relativo à escassez hídrica que foi respondido pelos stakeholders e membros da JWT.

Esta fase permitiu recolher um primeiro conjunto de perspectivas, numa lógica de "pensamento divergente" ou seja, sem ter um consenso em vista nem uma estrutura rígida. De facto, relativamente à escassez hídrica e, à sua mitigação, puderam assim ser desde logo compilados um conjunto de objectivos e obstáculos por parte dos stakeholders assim como acções que permitissem ultrapassar os obstáculos visando os objectivos elencados.

Com base nos resultados dos inquéritos, foi então elaborada uma primeira sessão de trabalho em Serpa (Abril de 2007) onde se criaram vários grupos de trabalho mistos (stakeholders e membros da JWT) e se procedeu à identificação e selecção dos objectivos/acções e obstáculos mais preponderantes de entre aqueles recolhidos anteriormente, visando um primeiro consenso entre os discutidos/avaliados tecnicamente pelas diferentes partes envolvidas relativamente aos objectivos/acções mais relevantes.

Na mesma sessão estabeleceram-se as relações causais entre os itens consensuais do processo de debate e foi desenvolvido para cada grupo de discussão um mapa de relações entre objectivos, acções e obstáculos.

Para tal foram utilizados mapas cognitivos por grupo, que foram posteriormente agrupados em Mapas Cognitivos Integrados, Figura 3. Esta representação, assim se espera, traduz a visão comum sobre o problema da escassez hídrica e das formas de o combater.

Numa segunda sessão de trabalho realizada em Beja (Outubro de 2007), numa lógica de refinar o número de elementos criados, determinaram-se os objectivos centrais das opções de mitigação através de selecção e redução dos objectivos inicialmente propostos tendo em vista também a coerência com os objectivos recomendados pela DQA.

Sequencialmente foram também seleccionadas as acções (ver Figura 3), desta vez através de grupos de discussão entre os membros do JWT e Stakeholders.

Com a priorização destes elementos foram definidos indicadores que expressassem a eficácia e a mensurabilidade das acções seleccionadas. O Quadro 4 ilustra algumas das acções seleccionadas, a sua preponderância para a mitigação da escassez hídrica no CEG, assim como os indicadores sugeridos para a sua avaliação.

3.2.2. Avaliação individual e integrada das opções

A avaliação das opções mitigadoras de escassez hídrica representa um dos aspectos fundamentais de todo o projecto. Esta actividade levou a que houvesse uma intensificação dos contactos do PR e dos membros do JWT com as instituições e organizações envolvidas (membros do FRS e FPRS), nomeadamente através da realização de reuniões e sessões de trabalho específicas com alguns dos stakeholders, mais directamente relacionados com as diferentes opções técnicas.

Desta forma, os resultados obtidos no âmbito da implementação de cada uma das opções técnicas, puderam ser discutidas e avaliadas tecnicamente pelos diferentes stakeholders directamente envolvidos e com responsabilidades nas áreas visadas por cada uma dessas opções. Estas reuniões e sessões de trabalho permitiram que as opções técnicas fossem sendo adaptadas de forma a irem de encontro às suas expectativas. O correspondente envolvimento dos stakeholders nas actividades específicas de cada opção serão adiante exemplificadas (Ponto 3.2.3) através de duas das opções técnicas desenvolvidas.

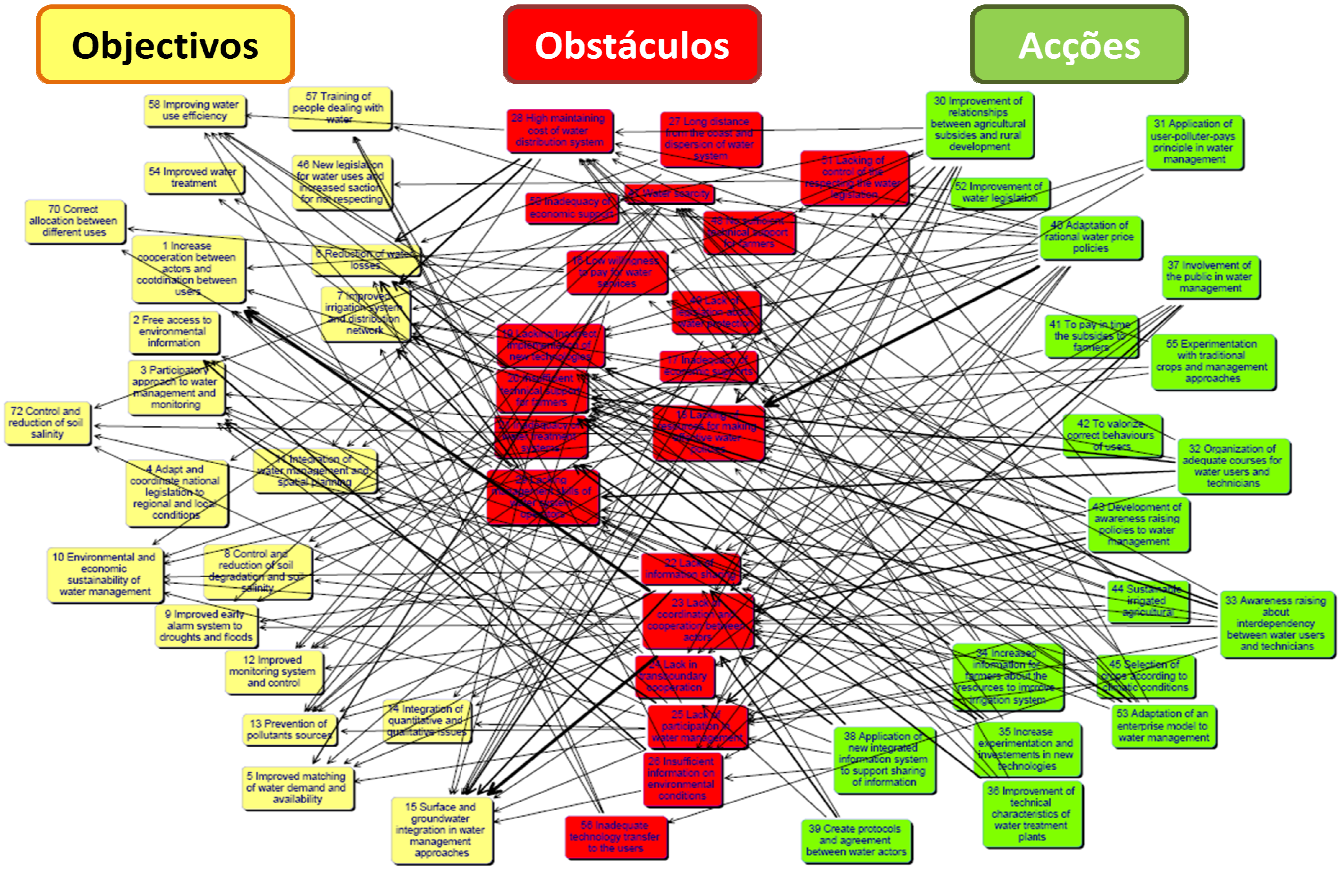


Figura 3. Ilustração do Mapa Cognitivo Integrado (MCA) para a representação dos factores envolvidos na problemática da escassez hídrica e acções para a sua mitigação.

Quadro 4. Exemplos de acções para a mitigação da escassez hídrica seleccionadas pelos stakeholders e membros da JWT.

Acção	Importância	Indicadores sugeridos
Consciencialização dos utilizadores para o uso correcto da água	Importante	Redução do consumo de água (procura) Parâmetros de qualidade da água e volumes consumidos Redução de tarifação da água aos agricultores
Agricultura de regadio sustentável	Moderadamente Importante	Rácio (Área efectivamente regada / Área beneficiada) Rácio (Produção total da cultura / Água consumida)
Envolvimento do público em gestão da água	Importante	N.º de iniciativas de participação pública Grau de participação (N.º participantes) Grau de satisfação dos participantes N.º iniciativas de participação WEB N.º de acessos aos portais WEB
Celebração de protocolos e acordos entre entidades gestoras e/ou utilizadoras dos recursos hídricos	Importante	N.º de entidades envolvidas na gestão dos recursos hídricos N.º de adesões a protocolos de cooperação N.º de entidades aderentes com trabalho efectivo N.º de parcerias entre entidades com resultados efectivos

Quadro 5. Resultados para Albufeira do Enxoé.

Opção de mitigação	Avaliação
Alteração das culturas praticadas	Com utilidade, mas de viabilidade condicionada, devido à inexistência de sistemas de rega eficientes. Ter-se-ão que considerar as práticas agrícolas actuais e os possíveis impactos na pecuária
Melhoria da gestão das práticas agrícolas	Muito útil, com a viabilidade dependente da disponibilidade de incentivos económicos (subsídios). Opção deverá ser integrada com programas de: planeamento do território; sensibilização dos agricultores; e regime legal de subsidiação
Optimização das estratégias de gestão de reservatórios	Útil, sendo necessária a coordenação com outras opções de redução de emissões poluentes. A viabilidade dos vários cenários apresentados foi discutida e aceite anteriormente
Redução das fontes de poluição pontual	Muito útil devendo ser integrada com outras opções para redução de fontes difusas de poluição. A viabilidade está muito dependente dos restantes resultados da investigação dos restantes parceiros da JWT.

Quadro 6. Resultados para o aquífero de Moura-Ficalho.

Opção de mitigação	Avaliação
Aplicação adequada de Azoto	De grande utilidade se for precedida de uma análise de solos e acompanhada pela classificação das culturas com base nas suas necessidades de azoto. Opção considerada viável tendo como única limitação a manutenção dos hábitos de fertilização actuais dos agricultores
Definição de standards Europeus para utilização de factores de produção	De grande utilidade para a definição de outras acções a nível da EU que visem o melhoramento da qualidade das águas subterrâneas
Alteração de culturas visando menor necessidades de azoto	De grande utilidade mas de baixa viabilidade de acordo com o contexto actual. Dependência dos regimes de subsidiação actuais a nível da EU.
Recarga artificial dos aquíferos	De grande utilidade. Viabilidade dependente da análise de custo-benefício. Um pré-requisito fundamental para a realização desta opção é a realização de um estudo sobre "Valorização dos recursos hídricos disponíveis".
Alteração do preço da água	Os stakeholders regionais (FRS e FPRS) consideraram a opção viável se for criada, previamente, uma estrutura de apoio ao agricultor para estimar os seus custos associados à rega.

Na decorrência deste processo, foi sugerida pelo JWT uma análise de carácter local que permitisse a integração das opções dentro do seu âmbito específico de aplicação, que se traduziu na escolha de zonas dentro do CEG que apresentassem características/problemas onde fosse possível a implementação de várias opções técnicas (acções) simultaneamente, e consequentemente, potenciar os resultados individuais através do desenvolvimento de sinergias entre as valências dos vários parceiros do JWT.

Para o efeito procedeu-se à avaliação e teste das opções de acordo com duas abordagens integradoras, a nível espacial, uma considerando as regiões do aquífero de Moura-Ficalho e outra a bacia drenante para a albufeira do Enxoé, tendo sido apresentados e discutidos os seus resultados face à utilidade e viabilidade no âmbito dessas áreas.

Esta discussão ocorreu no último encontro conjunto de trabalho com os stakeholders em Mértola (Janeiro de 2008), após uma primeira parte dessa sessão onde foram inicialmente apresentados e discutidos os resultados das várias opções especificamente desenvolvidas por cada um dos parceiros do JWT. Para a segunda parte desse encontro, foram então criados dois grupos de trabalho que envolveram os membros do JWT e stakeholders relativos às duas áreas de integração. No caso da região da albufeira do Enxoé foram analisados os resultados obtidos pela Universidade de Hannover, pela HIDROMOD, e pelo Cemagref, enquadrando a problemática da quantidade/qualidade das águas superficiais, considerando várias alternativas de operação da albufeira do Enxoé, tendo em conta a afluência de poluentes à albufeira e a alteração das culturas agrícolas na zona drenante correspondente.

No caso da região do aquífero de Moura-Ficalho foram agregados os resultados obtidos pelo IRSA, UCL e Universidade de Barcelona, por forma a abordar os efeitos da fertilização agrícola na degradação dos recursos hídricos subterrâneos, derivada da intensificação do olival nesta zona, considerando o aumento do preço da água e a possibilidade de reutilização de águas residuais para rega. Em ambos os casos foram desenvolvidos esquemas relacionais (à semelhança dos Mapas Cognitivos) que relacionaram as opções mitigadoras de escassez hídrica – em especial as acções necessárias, e os obstáculos à sua implementação.

Este processo foi desenvolvido tendo em conta os objectivos particulares a atingir nas duas regiões consideradas.

De acordo com a discussão do contexto actual das situações referidas, dos resultados e propostas adiantadas pelos membros do JWT para as várias opções, foram retirados, adaptados e introduzidos os aspectos finais que à luz das circunstâncias técnicas e institucionais poderiam potenciar o efeito das várias opções apresentadas (Quadros 5 e 6).

Para além da integração de opções a esta escala local foi ainda desenvolvido uma terceira abordagem integradora a nível regional, para a totalidade das zonas de desenvolvimento agrícola, através do uso de um Sistema de Apoio à Decisão – WSM-DSS, a cargo da FEUP, integrando as componentes hidro-metereológicas e de desenvolvimento social.

A sua utilização permitiu perspectivar a integração de diferentes opções de mitigação, nomeadamente ao nível do sector agrícola em toda a área do CEG. Os resultados da aplicação deste modelo podem ser consultadas em Costa (2008) e Costa e Maia (2009).

3.2.3. Exemplos concretos de participação pública nas opções de mitigação da escassez hídrica

A. Teste e avaliação das opções técnicas: Gestão e operação de reservatórios.

Uma das opções apresentadas na Quadro 3, referentes à gestão das disponibilidades de água diz respeito à gestão e operação da albufeira da barragem do Enxoé, já relatada (em 3.2.2,) como tendo um papel fundamental na integração espacial das actividades realizadas.

O objectivo geral dessa opção técnica consiste no estudo e na proposta de (melhores) regras de operação e de gestão dos volumes armazenados em albufeiras (Universidade de Hannover) em função das cargas poluentes afluentes e retidas nas mesmas.

A albufeira do Enxoé não tem permitido obviar, desde a construção da correspondente barragem, os graves problemas de escassez hídrica a que era suposto atender, mesmo em condições normais de pluviosidade, sendo atingidas situações particularmente graves em períodos mais secos. Esta albufeira foi construída para garantir o abastecimento de Mértola e Serpa, no entanto a água não apresenta condições para essa utilização, devido à falta de qualidade. Esta, por sua vez, é devida à poluição causada pelo uso agro-industrial e agrícola da área da bacia do Enxoé, resultando em elevados níveis de nitratos, sulfatos e outros poluentes que são responsáveis pela eutrofização da água na albufeira.

Esta situação é agravada pela frequente ocorrência de situações de seca e pela falta de fontes de água alternativas e de estratégias institucionais de gestão de recursos hídricos para o combate à seca.

As soluções apresentadas dizem respeito a propostas para gestão do volume da albufeira tendo em conta os limites viáveis de qualidade para consumo e rega. Estas propostas foram desenvolvidas através da combinação de modelos hidrológicos e de fluxo que simularam a afluência de poluentes à albufeira, permitindo assim estipular as suas regras de operação que melhor impedem a acumulação de poluentes no reservatório a níveis que tornam a água imprópria.

Como foi referido anteriormente, foi realizada uma sessão de trabalho para apresentação dos resultados da opção técnica referida, onde participaram, não só os responsáveis da barragem e albufeira, mas também os representantes das Câmaras Municipais dos concelhos de Serpa e Moura, da EDIA e da Associação de Beneficiários do Enxoé.

A sessão serviu para a implementação virtual dos resultados e também para a avaliação e discussão dos resultados com os stakeholders. As soluções apresentadas encontram-se ilustradas na Figura 4.

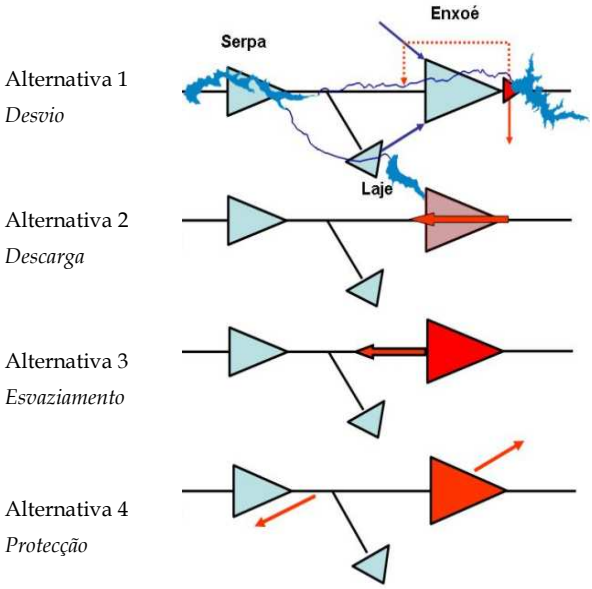


Figura 4. Esquemas das alternativas apresentadas para a operação da albufeira do Enxoé.

A primeira solução corresponde ao desvio das águas poluídas que afluem à albufeira e que seriam armazenadas numa pré-barragem, como aliás já acontece actualmente. Nesta situação, a possível falta de água na Albufeira do Enxoé seria compensada por transvases das albufeiras de Laje e Alqueva.

A segunda alternativa faria uso de uma descarga de fundo que permitiria o escoamento das primeiras chuvadas através do reservatório.

A terceira alternativa consistiria em esvaziar o reservatório, em situações onde o "bloom" de algas fosse grave ao ponto de impedir a sua bombagem.

A última alternativa discutida consiste na utilização da albufeira do Enxoé como protecção da albufeira de Serpa – a jusante da primeira.

Da discussão destas alternativas com os stakeholders, foi feito um ranking das mesmas tendo em conta a consistência destas soluções com a qualidade desejada e objectivos para a própria albufeira.

A terceira alternativa – "esvaziamento da albufeira" – foi considerada como sendo a mais viável, especialmente se realizada no final do Verão onde o volume armazenado é muito reduzido. De forma semelhante à primeira alternativa, a perda de água (devido ao esvaziamento forçado da albufeira) seria compensada por transferências das albufeiras da Laje e Alqueva.

B. Acompanhamento do trabalho de campo: Melhores práticas de rega no Olival.

Para a elaboração desta opção foram desenvolvidas pela FEUP com apoio do COTR, várias actividades que permitiram a quantificação dos principais componentes dos sistemas produtivos de 28 olivicultores dos concelhos referidos.

Esta actividade permitiu elaborar uma análise comparativa do grupo de duas formas complementares:

(i) sob a forma de um "Benchmarking" da rega e práticas agrícolas, tendo como critérios de comparação vários indicadores técnico-económicos, calculados com base na informação recolhida;

(ii) sob a forma de uma comparação entre subgrupos de agricultores criados de acordo com os seus resultados de produção final, utilizando os valores médios dos indicadores utilizados anteriormente (Correia *et al.*, 2008 e 2009; Correia, Maia *et al.*, 2008).

Os benefícios do "Benchmarking" para os agricultores, serão a potencial melhoria dos seus níveis de desempenho, que poderá ser quantificado através dos seus "outputs", assim como assegurar aos agricultores uma percepção mais realista acerca da utilização dos seus recursos produtivos, levando a um uso mais eficiente destes, Figura 5.

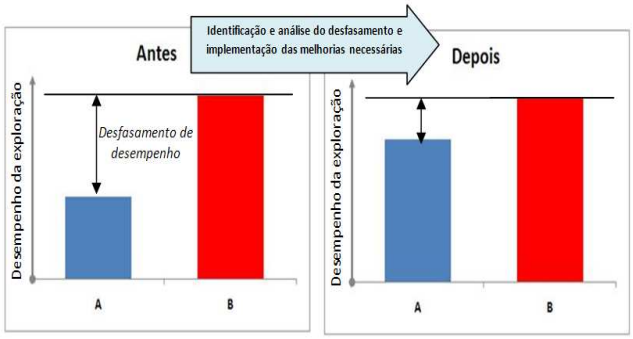


Figura 5. Representação dos efeitos da aplicação do Benchmarking da rega e práticas agrícolas.

Este aspecto assume particular relevância na medida que diz respeito à transferência de tecnologia para os agricultores, muitas vezes "divorciados" de métodos e práticas que técnicos, peritos e académicos desenvolvem (Correia *et al.*, 2009). Esta metodologia, inicialmente proposta por Malano e Burton (2001) e já aplicada em Portugal pelo COTR (2007) e mais recentemente por Correia *et al.* (2008, 2009), baseia-se num processo sistemático que assegura uma melhoria contínua através da comparação de variáveis relevantes, quantificadas de acordo com normas e standards reconhecidos.

(i) Este processo conta idealmente com quatro componentes fundamentais, a saber:

(ii) monitorização das actividades do agricultor e recolha de informação;

(iii) elaboração de indicadores de desempenho e a sua comparação;

(iv) envolvimento de instituições públicas e privadas; e

(v) estabelecimento e disseminação de um quadro de medidas reguladoras.

No caso em estudo, de forma a criar uma perspectiva comum acerca do sistema de produção de olival de regadio, foram organizadas três sessões de participação pública: a primeira para os diferentes stakeholders e as duas seguintes especificamente para os agricultores.

A primeira sessão teve o objectivo de recolher a perspectiva de vários técnicos pertencentes a organizações locais com actividades de extensão rural (Associação de Jovens Agricultores de Moura; Cooperativa Agrícola de Brinches e COTR) face aos principais aspectos envolvidos no processo, definido em Correia *et al.* (2008, 2009), nomeadamente

(i) a preparação da sessão com os agricultores e

(ii) a avaliação e discussão dos métodos de condução das sessões utilizadas.

A segunda sessão foi realizada com os agricultores, com o objectivo de criar um modelo conceptual do sistema de produção de olival de regadio (definido em Correia *et al.*, 2008 e 2009) visando: a criação de consenso e debate entre os agricultores; a hierarquização (por pontuação, Pts) dos aspectos mais relevantes para os componentes do sistema – a priorização dos objectivos da produção de olival de regadio, a várias escalas, Quadro 7, e definição dos principais critérios a utilizar na actividade (Correia *et al.*, 2008).

Quadro 7. Principais objectivos identificados e pontuados pelos agricultores a escalas diferentes (resultados da sessão de trabalho com os agricultores).

Objectivos e classificação					
Agricultores	**Pts**	**Exploração**	**Pts**	**Região**	**Pts**
Aumento de rendimento	6	Aumento da produção	3	Desenvolvimento socioeconómico	7
Optimização /aumento da produção	2	Viabilidade	2	Aumento dos preços dos produtos agrícolas	1
		Diversidade cultural	1		
		Retorno de investimentos	1		
		Racionalização dos factores de produção	1		

A terceira sessão, também realizada com agricultores, serviu para a apresentação de resultados da fase de recolha de informação e principalmente da fase de Benchmarking. Esta última sessão serviu igualmente para recolher a apreciação dos agricultores face à fiabilidade e validação dos dados apresentados, o que permitiu o avanço para a fase seguinte de análise de resultados.

Com base nos resultados da produção os agricultores foram agregados em grupos: L5 – os 5 agricultores menos produtivos; Av – média de todo o grupo de agricultores; e T5 – grupo dos 5 agricultores mais produtivos (Correia *et al.*, 2008). Os indicadores calculados permitiram determinar os principais aspectos diferenciadores para os vários grupos.

A Figura 6 evidencia um dos resultados mais significativos, relativamente às estratégias de rega seguidas, sendo que os agricultores menos produtivos optam em média por regar mais frequentemente com menor intensidade, enquanto que o grupo T5 opta por uma estratégia oposta com regas mais intensas e de menor frequência.

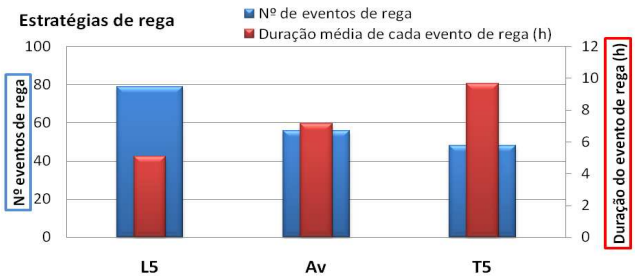


Figura 6. Análise comparativa das estratégias de rega dos vários grupos de agricultores.

A realização de sessões de trabalho com agricultores e stakeholders permitiu ainda a co-construção de uma visão consensual acerca do sistema de produção do olival de regadio, focando a necessidade de responsabilização dos intervenientes sobre o desenvolvimento da actividade.

Com as sessões de participação pública e a inclusão das perspectivas dos stakeholders e agricultores no tipo de informação a recolher, foi possível estabelecer um conjunto de critérios de comparação, que permitiram a prossecução dos objectivos desta opção.

4. Conclusões

De uma forma geral, o Projecto AquaStress conseguiu implementar com sucesso um processo inovador baseado, desde a sua concepção, no envolvimento dos principais stakeholders, representantes das principais instituições e entidades responsáveis pela gestão dos recursos hídricos, tanto a nível local como nacional.

Estes, influenciaram e colaboraram em todas as fases do projecto, desde a formulação do caso de estudo, teste das opções de mitigação até à validação dos resultados, contribuindo assim para uma colaboração mais próxima entre investigadores e gestores e técnicos dos recursos hídricos.

Esta mais valia assume um papel de destaque na medida em que contribuiu activamente para a prossecução dos objectivos ditados pela Directiva-Quadro da Água, no que concerne à responsabilização da comunidade civil para a gestão dos recursos hídricos ao nível regional.

No âmbito dos vários casos de estudo, foram postas em prática várias opções que visaram a racionalização da procura hídrica nos principais sectores consumidores: agricultura, abastecimento urbano e indústria.

No caso de estudo português (CEG), onde o sector agrícola é o mais preponderante, o projecto contribuiu, nomeadamente, para implementar alguns processos locais de transferência de tecnologia relacionada com a melhoria das técnicas de rega, visando a diminuição da procura hídrica para fins agrícolas.

Da mesma forma foram discutidas várias opções técnicas que contribuíram para um aumento das disponibilidades hídricas a nível quantitativo e qualitativo, nomeadamente através dos estudos desenvolvidos na albufeira do Enxoé.

Os resultados das várias opções envolvidas no CEG foram debatidas e adaptadas de acordo com o "know-how" dos stakeholders participantes tendo sido integradas a nível local através do estudo de duas zonas de particular sensibilidade à escassez hídrica – o aquífero de Moura-Ficalho e a albufeira do Enxoé.

A integração das zonas de desenvolvimento agrícola foi também analisada através de um modelo de apoio à decisão.

A sistematização que assistiu ao desenvolvimento e implementação dos casos de estudo permitiu ainda uma integração horizontal dos resultados dos vários Casos de Estudo, contribuindo activamente para a elaboração de políticas europeias relativas à gestão dos recursos hídricos, em especial para os sectores agrícola, industrial e urbano (AquaStress, 2008).

Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento providenciado pela Comissão Europeia, através do Projecto AquaStress, contracto n.º 511231-2 – 6.º Programa Quadro.

Referências

AquaStress Consortium (2005). Anexo 1 – Description of Work. Documento do Projecto Integrado AquaStress, Contrato nº 511231-2.

AquaStress Consortium (2008). Water saving in agriculture, industry and economic instruments.

AquaStress Consortium (2009). Water Stress Mitigation: The AquaStress Case Studies.

Correia, L.; Oliveira, I. & Maia, R. (2008), Contribuição do Projecto AquaStress para uma Agricultura Sustentável: O Caso de Estudo Português, 2ªs Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, FEUP, 75-83, ISBN: 978-989-95557-1-6, 31 Outubro, 2007.

Correia, L.; Oliveira, I.; Maia, R.; Molle, B. & El Ahmadi, A. (2008), Best Olive Irrigation Practices – Guadiana Case Study Report. AquaStress Project, Porto, Portugal, 2008.

Correia, L.; Oliveira, I.; Maia, R.; Molle, B. & El Ahmadi, A. (2009), Identificação das Melhores Práticas de Rega no Caso de Estudo Português do Projecto AquaStress, 3ªs Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, FEUP, Porto, Portugal, 31 Outubro, 2008 (Em impressão).

Costa, D. (2008), Analysis of Water Management Strategies for the Left Margin of the Guadiana River Basin, Dissertação para Grau de Mestre, FEUP, Porto, Portugal.

Costa, D. & Maia, R. (2009), Contribuição para o Estudo de Opções e Estratégias de Gestão dos Recursos Hídricos Através da Utilização de um Modelo de Apoio à Decisão: O Caso de Estudo da Margem Esquerda do Rio Guadiana, 3as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, FEUP, Porto, Portugal, 31 Outubro, 2008 (Em impressão).

COTR (2007). Relatório do projecto "Benchmarking" na rega e boas práticas de gestão da rega da cultura da Vinha. Programa Operacional Regional do Alentejo – Desenvolvimento Integrado da Zona do Alqueva – Eixo IV, Portaria 632/2001. Beja, Portugal.

DQA (2000). Directiva-Quadro da Água, 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2000.

INAG, 2001. Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Guadiana. Relatório Final – Partes I, II e III, Instituto da Água, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa.

Maia, R. (2009a), O Projecto AquaStress e o Caso de Estudo Português. Contribuição da FEUP, 3.as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, FEUP, Porto, Portugal, 31 Outubro, 2008 (Em impressão).

Maia, R. (2009b), Mitigação do Stress Hídrico no Contexto da Directiva-Quadro da Água: Uma Abordagem. 6.º Congresso Ibérico sobre Gestão e Planeamento da Água, Vitoria, Espanha, 4-7 Dezembro, 2008 (Em impressão).

Malano H. & Burton, M. (2001). Guidelines for Benchmarking performance in the irrigation and drainage sector. IPTRID-FAO, ISBN: 92-5-104618-2. Roma, Itália.

WaterStrategyMan Consortium. (2004). The WaterStrategyMan DSS, ProGEA, Itália.

©2009, ISBN 978-972-99991-8-5

PERSPECTIVAS DE INTERFERÊNCIA NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS PELO COMÉRCIO DA ÁGUA
Perspectives for Interference in Water Resources Management for Water Trade

NISETE A. AMIGO
Aluna de Doutoramento
Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento, 3810-193 Aveiro
naamigo@.ua.pt
Professora, CEFET-RJ
Departamento de Educação Superior, Av. Maracanã 229, Rio de Janeiro, Brasil
amigo@cefet-rj

Resumo

A água é considerada hoje como um recurso em escassez no mundo. O gerenciamento de forma estratégica é importante para garantir a oferta desse bem essencial. Decisões e acções devem estar em consonância com a conservação dos recursos naturais, considerando não só oferta e demanda, mas também factores económico-financeiros, dentre outros. Uma possibilidade de lograr a eficácia desse actual modelo de gestão, é a perspectiva do comércio de água vir a ser uma forma de oferta. É preciso regulamentação específica para sua comercialização. Para a melhoria da gestão dos recursos hídricos, aspectos até então não plenamente considerados tornam-se merecedores de atenção especial. É preciso que estejamos preparados para que as incertezas do futuro não sejam desastrosas. Um estudo de cenários envolvendo esses novos factores interferentes, a partir das experiências vivenciadas pela União Europeia e pela América Latina, por exemplo, que trazem respostas de realidades diferenciadas, poderá apontar à eficácia desse modelo, ou à necessidade de inclusão de outros factores interferentes a serem controlados, para que a realidade futura seja a de acesso universal à água.

Palavras-chave: Cenários, escassez, eficácia na gestão, União Europeia, América Latina.

Abstract

The water is considered today as a scarce resource in the world. Its strategical management is important to guarantee the offer of this essential resource. Decisions and actions must be in accordance with the conservation of the natural resources, considering not only offer and demand, but also economic and financial factors, amongst others. One of the possibilities of failure to achieve effectiveness of the current management model is the perspective of trade water become an option of supply. Specific regulation for its commercialization is needed. To improve the management of hydrics resources, is necessary to pay attention to new aspects. It needs to be prepared for the uncertainties of a not disastrous future. A study of scenarios involving these new interfering factors, considering the experiences by the European Union and Latin America, for example, brings responses from different realities, and may indicate the effectiveness of this model, or the need for including of the other interfering factors to be controlled, for to ensure that the future reality will be the universal access to water.

Keywords: Scenarios, scarcity, effectiveness of management, European Union, Latin America.

1. Introdução

Diante de um quadro actual de acelerado consumo de água, má distribuição e poluição, quer a nível pontual ou não, a água passou a ser considerada como um recurso em escassez no mundo, a ser cuidado e gerenciado de forma estratégica de modo a garantir a oferta desse bem à população, permitindo a manutenção da vida no planeta. Essa gestão, envolvendo decisões e acções em consonância com as directrizes mundiais para a conservação dos recursos naturais, deve procurar compartilhar não só oferta e demanda, mas também aspectos económico-financeiros, uma vez que a água veio a ser instituída internacionalmente como mercadoria, negociada livremente, e com apoio de organismos internacionais.

É preciso então cuidar em detalhes, para que a gestão dos recursos hídricos se torne eficaz na conservação e distribuição da água e não se transforme num empecilho ao desenvolvimento sustentável, pois sem água não há vida. Portanto a oferta e a demanda devem ocorrer em consonância com os recursos naturais, considerando aspectos económico-financeiros, sociais, ambientais e de governança – "Os danos ambientais e a poluição aumentam com o crescimento da actividade económica. As políticas ambientais nacionais não são muito eficazes ao lidar com problemas ambientais globais devido às diferenças entre os países, relativamente ao desenvolvimento económico, às escolhas políticas e ao passado cultural.

Existe hoje uma rede de tratados ambientais, o que é uma evolução positiva. A experiência ensina que os países conseguem melhorar políticas ambientais quando actual em contextos transfronteiriços, especialmente em contextos regionais. Isto é assim, porque os próprios problemas do ambiente são frequentemente transfronteiriços. Existe uma preocupação abrangente em relação ao fato de uma fraca gestão da água constituir um dos principais factores de limitação do desenvolvimento sustentável durante as próximas décadas." (OCDE, 2002).

Um dos aspectos, que denota possibilidade de lograr a eficácia de gestão dos recursos hídricos, é o da expansão do comércio de água, uma vez que o crescimento económico tem sido factor de impacte para o meio ambiente, e a água tratada como qualquer outro produto comercial, fica sujeita às leis de mercado de oferta e procura se não houver regulamentação específica para essa comercialização, principalmente se o quadro de escassez não vier a ser controlado. Analistas de mercado de água têm expectativas de que a exportação e importação de água é um mercado que deve crescer em função da distribuição política da água. Na verdade a retirada do Estado da economia, na década de 90, abre portas para o aumento das privatizações e negócios envolvendo serviços de água, incluídos até mesmo em acordos comerciais. Portanto não são apenas os serviços de água que estão envolvidos nos negócios com a água. É preciso que a gestão dos recursos hídricos seja pautada numa nova concepção da água na ordem mundial actual, para que não busque soluções regionais e locais dissociadas do contexto mundial, para que no futuro não fique refém do poder económico de insustentabilidade planetária. Nesse sentido, a comparação de experiências vivenciadas em relação à metodologia de gestão que vem sendo aplicada nos países, de acordo com suas respectivas legislações de gestão de bacias hidrográficas, traz sinalizações importantes para a gestão e governança, diante da problemática actual de garantir oferta, qualidade e controle do consumo da água.

Um estudo de cenários que analise a interferência do comércio de água na gestão de recursos hídricos mostra-se um instrumento importante diante da necessidade de melhoria da eficiência na gestão da água, tendo como alerta uma perspectiva optimista apontada em Kyoto (Unesco & WWAP, 2003) de que faltará água para 2 bilhões de pessoas em 2050.

2. O Comércio da Água

A água ao ser instituída internacionalmente como mercadoria, negociada livremente, e com apoio de organismos internacionais, exige cada vez mais cuidados na sua gestão, que deve ocorrer em consonância não só com os recursos naturais, considerando aspectos económico-financeiros, sociais, ambientais, mas mais do que nunca de governança.

A água tratada como qualquer outro produto comercial, fica sujeita às leis de mercado de oferta e procura se não houver regulamentação específica para essa comercialização, principalmente se o quadro de escassez não vier a ser controlado.

A perspectiva de interferência na gestão de recursos hídricos pelo comércio internacional de água se consubstancia na questão desse comércio ser mais um dos aspectos da crise de água no planeta, se por hipótese uma das formas de aumentar a oferta de água se der através do comércio. A tendência então é a crise aumentar por falta de uma gestão de recursos hídricos adequada a tal conjuntura. É preciso criar estratégias impeditivas a essa mercantilização da água, que ocorre na ausência de um acordo internacional que regulamente o acesso universal a esse bem.

Segundo (Ribeiro, 2008) "Analistas de mercado de água têm expectativas de que a exportação de água é um mercado que deve crescer em função da distribuição política da água. A água engarrafada, envolvendo grandes empresas internacionais, com movimentação estimada em torno de bilhões de dólares por ano, foi colocada no mercado como alternativa ao consumo de refrigerantes, e hoje já é importada como "água". Navios tanques transportando água, aquedutos, pipelines, são novos negócios internacionais de água que se descortinam em função da mercantilização da água, diante da escassez."

Em contraposição a essa expectativa de crescimento do comércio directo de água, vem o comércio de água virtual, que considera a água absorvida e comercializada entre nações através de seus produtos como uma realidade bem mais expressiva na actualidade. Esse comércio identifica e divide o que produzir, e onde, segundo a quantidade de água disponível e a quantidade necessária para a produção.

É preciso trazer à discussão essa questão sobre o comércio directo de água ser ou não provável de ocorrer. Rotular esse comércio como improvável sem que se faça um estudo prospectivo com base nos estudos já existentes sobre escassez de água, é desconsiderar todo um histórico da formação dos mercados económicos.

A denominada água virtual, traz embutida um novo aspecto de comércio de água instituído, e pode ser mais um factor de risco para o êxito na governança da água, diante do comércio internacional.

Dados da UNESCO (WWC, 2004) dão conta que o comércio global de água virtual movimenta um volume anual da ordem de 1.000 a 1.340 km³, sendo: 67% relacionados com o comércio de produtos agrícolas; 23% com o comércio de produtos animais e 10% com produtos industriais.

O Brasil é citado como o 10.º exportador de água virtual, atrás de Estados Unidos, Canadá, Tailândia, Argentina, Índia, Austrália, Vietname, França e Guatemala.

Os maiores importadores são: Sri Lanka, Japão, Holanda, Coreia, China, Indonésia, Espanha, Egipto, Alemanha e Itália. A Figura 1 mostra os fluxos de água virtual no planeta.

Neste mesmo documento de 2003, o Brasil e outros países da América Latina e da África são citados como países com excedente hídrico, o mesmo não acontecendo com a Europa ou Estados Unidos. O Brasil, portanto, pode se tornar um fornecedor de água doce, ainda que já o faça indirectamente, pela exportação de produtos agrícolas.

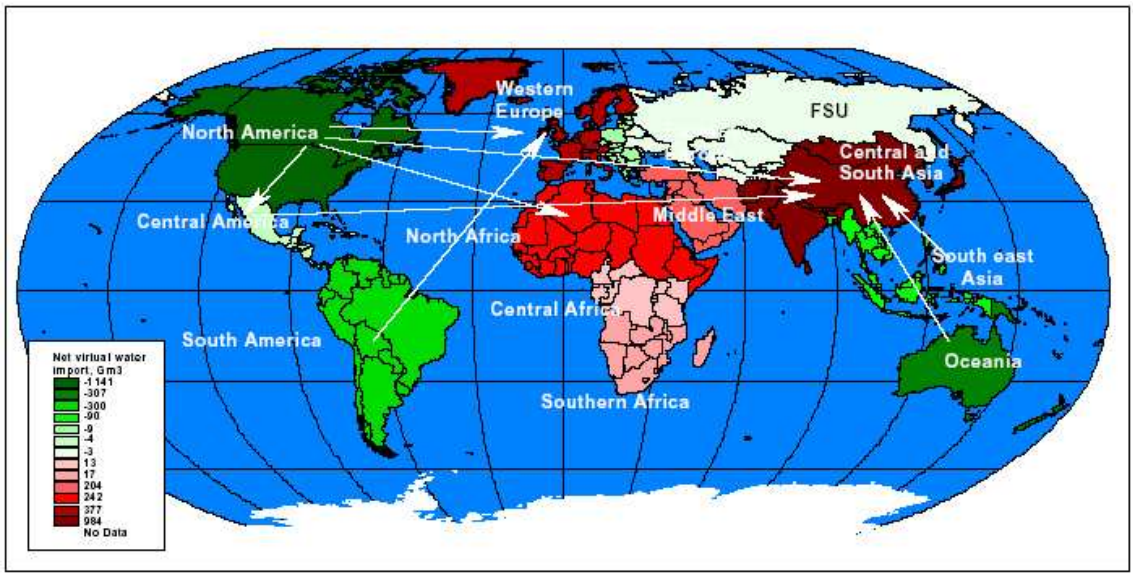


Figura 1. Fluxos de água virtual como consequência do comércio de alimento no período de 1995-1999 – setas mostram volumes > 100 Gm3. (Hoekstra *et al.*, 2003), UNESCO-WWC (2004).

Para reduzir as chances de que o comércio venha a ser uma das formas de oferta de água é preciso criar estratégias impeditivas à sua mercantilização, que ocorre: i) na ausência de um acordo internacional que regulamente o acesso a água como um bem – que deve ser distribuído de modo equitativo para a sociedade planetária de um modo geral; ii) na ausência de uma gestão estratégica para a água diante da escassez, e da própria oferta que é insuficiente por formas convencionais. Requer ainda cuidados com a qualidade, controle do consumo, ou crescimento da demanda. Nesse sentido, a construção de cenários para comércio internacional de água tem sua importância em alertar para a perspectiva de interferência desse comércio na gestão de recursos hídricos, dando suporte aos planos governamentais.

3. Desafios à Gestão dos Recursos Hídricos

"Os danos ambientais e a poluição aumentam com o crescimento da actividade económica. As políticas ambientais nacionais não são muito eficazes ao lidar com problemas ambientais globais devido às diferenças entre os países, relativamente ao desenvolvimento económico, às escolhas políticas e ao passado cultural. Existe hoje uma rede de tratados ambientais, o que é uma evolução positiva. A experiência ensina que os países conseguem melhorar políticas ambientais quando actuam em contextos transfronteiriços, especialmente em contextos regionais. Isto é assim porque os próprios problemas do ambiente são frequentemente transfronteiriços. Existe uma preocupação abrangente em relação ao fato de uma fraca gestão da água constituir um dos principais factores de limitação do desenvolvimento sustentável durante as próximas décadas." (OCDE, 2002).

Um dos aspectos que denota possibilidade de lograr a eficácia de gestão dos recursos hídricos é o da expansão do comércio de água, uma vez que o crescimento económico tem sido factor de impacte para o meio ambiente, e a água considerada como qualquer outro produto comercial, fica sujeita às leis de mercado de oferta e procura se não houver regulamentação específica para essa comercialização, principalmente se o quadro de escassez não vier a ser controlado.

Perspectivas de controle de novos factores interferentes à eficácia no processo de gestão do recurso água em função do aumento da escassez, dentre eles o do comércio da água, devem portanto ser consideradas para que o modelo de gestão dos recursos hídricos atenda a uma complexidade cada vez maior do *modus vivendi* a que a sociedade humana foi conduzida.

Então para a melhoria da gestão dos recursos hídricos, esses aspectos até então desconsiderados, tornam-se merecedores de atenção especial por representarem risco crescente ao actual estágio de vida no planeta. É preciso que estejamos preparados para que as incertezas do futuro não sejam desastrosas.

Um estudo de cenários envolvendo esses novos factores interferentes, poderá nos alertar para os graus de incerteza envolvidos, uma vez que para a construção de cenários, parte-se de um modelo mental que interpreta as variáveis centrais e as interacções entre elas como uma redução da complexidade da realidade.

Segundo Van Der Heijden, apud in (Buarque, 2003) "Como os cenários são descrições do futuro com base em jogos coerentes de hipóteses sobre comportamentos plausíveis e prováveis das incertezas, a essência da metodologia reside na delimitação e no tratamento dos processos e dos eventos incertos.

Desse modo, simplificando o processo, pode-se dizer que o grande segredo da metodologia de cenários reside no reconhecimento e na classificação dos eventos em graus diferentes de incerteza. (...) O principal objectivo dos cenários não é prever os futuros e sim aumentar a capacidade da organização na observação do ambiente por meio do desenvolvimento de uma postura estratégica e antecipatória não apenas episodicamente durante o estudo de cenários, mas durante todo o planeamento."

Considerando-se que o principal objectivo da gestão de recursos hídricos é garantir a oferta desse bem essencial à vida, a melhoria na gestão dos recursos hídricos integrando meio ambiente e economia deve ser construída dentro de uma nova ética na ordem ambiental internacional.

Utilizar então uma metodologia de construção de cenário normativo, usando como método de definição do "futuro desejado" uma consulta à sociedade directamente interessada no assunto é o esperado, para que a partir da qual seja gerada uma visão colectiva e convergente dos interesses dos atores sociais. Os cenários funcionam, portanto, como um estímulo para que a sociedade reflicta sobre a realidade e suas possibilidades.

O cenário normativo (desejado) é uma descrição da realidade futura e compõe um determinado jogo de hipóteses plausíveis e consistentes que converge, fortemente, para os desejos da sociedade em relação ao seu futuro, Figura 2. A metodologia de construção de cenário normativo começa com a formulação de um futuro desejado, ainda atemporal (sem definição do horizonte) e livre de restrições – uma utopia ou um sonho de futuro (sem preocupação ainda com a plausibilidade) – que servirá de referencial para a descrição do cenário normativo. O futuro desejado só se transforma efectivamente em um cenário se e quando for demonstrada a sua plausibilidade, o que normalmente leva a uma nova descrição do futuro que a sociedade almeja; futuro este, que de fato pode alcançar.

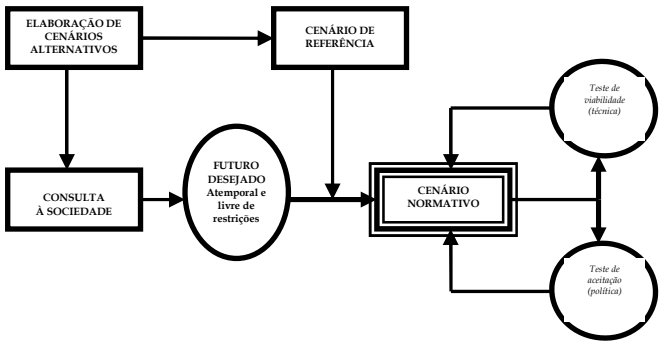


Figura 2. Processo de construção de cenário normativo, Buarque (2003).

Definido o futuro desejado, o passo seguinte da metodologia de construção do cenário normativo consiste no confronto dos desejos com as condições concretas da realidade estudada para calibrar as expectativas, ajustando-as às possibilidades efectivas. Esse confronto dos desejos com as possibilidades pode ser feito numa relação directa do futuro esperado com a realidade actual.

Essa metodologia (Buarque, 2003) pode, em princípio, ser aplicada a diversos sistemas – país, região, segmento económico, etc., – cujo futuro se deseja antecipar como forma de apoio à tomada de decisões e à definição de estratégias.

Considerando o excedente hídrico na América Latina em contraposição à Europa, a escolha de uma realidade actual a ser estudada pode ser a dos modelos de gestão de recursos hídricos que vem sendo praticado no Brasil e em Portugal.

Relacionar experiências da União Europeia às da América Latina, buscando identificar aspectos de relevância quanto à eficácia desse modelo de gestão de recursos hídricos, que se reportem à possibilidade de melhorias na gestão da água em face de tendência à escassez, pode servir como um bom indicador quanto à eficácia dos modelos de gestão que vêm sendo praticados.

Portugal e Brasil representam realidades diferentes, quer político-económicas, geográficas, e de consumo, portanto trazem respostas de realidades diferenciadas que apresentarão suas acções exitosas ou não. Respostas diferentes ou comuns a ambas as realidades, mas que apontarão a eficácia, ou a necessidade da observância de novos parâmetros na (re)formulação do modelo de gestão. É preciso que esse modelo atenda a uma complexidade de inter-relações de cunho planetário a que a água nos submete directa ou indirectamente, haja vista ser ela elemento vital, circulante no planeta como um todo.

Esses países já vivenciam ou vivenciaram a crise da água através dos factores que a sustentam, como escassez, consumo ou comércio, dentro de um cenário de ausência de um acordo internacional que regulamente o acesso à água. Buscar um detalhamento das práticas actuais, para desenvolver novos mecanismos mais eficientes de ajustes técnicos, político-sociais e económicos, vai permitir formar um modelo da realidade desejada que conjugue intersecções e diferenças encontradas nessas práticas, e outras a serem incorporadas, na expectativa de alcançar a realidade desejada - a oferta de água, tratada como um bem comum.

O diagnóstico dessa realidade actual dos modelos de gestão utilizados pelos dois países em questão, se fará por comparação de legislação, os instrumentos de gestão de recursos hídricos utilizados, e os resultados que vêm sendo alcançados numa bacia/região hidrográfica a ser escolhida, preferencialmente transfronteiriça, onde a complexidade de gestão se acentua, e a gama de parâmetros envolvidos é, portanto, mais abrangente, mais universal, justificando um estudo de cenários a partir dessa realidade.

Segundo a Agência Nacional de Águas do Brasil, as bacias transfronteiriças no mundo se distribuem conforme mostra a Figura 3. Abrangem quase metade da superfície terrestre da Terra, sendo que 73 se localizam na Europa e 61 na América Latina e Caribe, regiões de interesse de estudo.

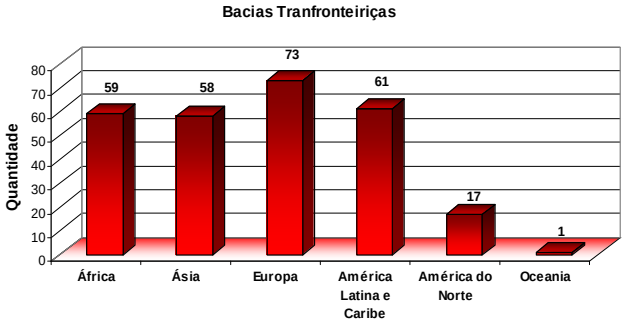


Figura 3. Bacias transfronteiriças no mundo, ANA (2007a).

A disponibilidade do recurso água em Portugal, Cunha *et al.* (2006), varia significativamente no espaço e no tempo. A precipitação anual média é cinco vezes maior na região norte-atlântica do país, do que no interior-sul.

Essa precipitação anual pode variar de cerca de três vezes de ano para ano.

Essa variabilidade exige soluções de armazenamento de água para fazer face às frequentes situações de escassez hídrica e à promoção de políticas de gestão de água para a sua disponibilidade.

Em relação à disponibilidade é ainda necessário ter em conta que 65% do território continental é abrangido pelas grandes bacias hidrográficas luso-espanholas que têm as suas regiões de montante em Espanha, o que implica que 60% do escoamento anual tem origem no país vizinho, o que obriga a encontrar formas de cooperação que salvaguardem os interesses nessa área.

O território Português abriga 15 bacias hidrográficas principais, sendo que 5 são bacias internacionais: Douro, Tejo, Guadiana, Minho e Lima. As bacias do Minho e do Lima se encontram em região montanhosa e são as que apresentam os valores mais elevados de precipitação média, enquanto Douro, Tejo e Guadiana dominam o território português, mas apenas 22% da área total dessas bacias estão em Portugal. A bacia do Lima, no entanto, situa-se quase totalmente em Portugal, enquanto que a do Minho desenvolve-se mais em Espanha. Portugal se comparado com outros países europeus ou com países da bacia mediterrânea, apresenta valores de escoamento médio anual, global ou *per capita*, superiores aos valores da França, Espanha ou Grécia.

O Brasil tem posição privilegiada no mundo, em relação à disponibilidade de recursos hídricos. Para efeito de planeamento e gestão adoptou no seu Plano Nacional de Recursos Hídricos uma divisão do país em 12 regiões, organizadas segundo a localização das principais bacias hidrográficas do País, Figura 4.

Figura 4. Regiões Hidrográficas do Brasil, Cadernos de Recursos Hídricos, ANA (2007a).

A vazão média anual dos rios em território brasileiro é de cerca de 180 mil m^3/s, ANA (2007a), este valor corresponde a aproximadamente 12% da disponibilidade mundial de recursos hídricos, que é de 1,5 milhões de m^3/s. Se forem levadas em conta as vazões oriundas de território estrangeiro e que ingressam no país pela região Amazónica - 86.321 mil m^3/s, Uruguai - 878 m^3/s e Paraguai - 595 m^3/s, a vazão média total atinge valores da ordem de 267 mil m^3/s - cerca de 18% da disponibilidade mundial.

O clima e seu regime de chuvas são factores chave para os recursos hídricos brasileiros, propiciando uma rede hidrográfica extensa e formada por rios de grande volume de água.

Com uma área que representa 47,7% do território da América do Sul, e inclui importante parcela dos recursos hídricos do planeta, apresenta uma predominância de climas quentes.

Tem 92% do seu território, que é de pouco mais de 8,5 milhões de km^2, localizado na zona intertropical, com médias de temperatura superiores a 20ºC. Apesar disso apresenta 6 tipos de climas com características bastante distintas, variando do equatorial - com temperaturas médias que chegam aos 40ºC e chuvas abundantes (mais de 2.500 mm/ano), predominante na região amazónica, ao clima semi-árido - presente no interior da região Nordeste, que apresenta baixa pluviosidade (inferior a 1.000 mm/ano, com longos períodos de estiagem e média de três meses de chuvas ao ano). Com excepção das nascentes do rio Amazonas, que recebe águas provenientes do derretimento de neve das geleiras andinas, a origem das águas de todos os rios brasileiros são as chuvas. A maioria dos rios é perene; apenas na região semi-árida nordestina existem rios temporários.

4. Conclusões e Recomendações

Suprir oferta, suprir qualidade, controlar o consumo são aspectos da problemática actual da água. O modelo de gestão da água a ser praticado, precisa controlar o processo de oferta e demanda em consonância com os recursos naturais nos seus aspectos económico-financeiros, sociais, ambientais e de governança, e que hoje são de alta complexidade em função de a água estar se tornando um recurso em escassez no planeta.

Um planeamento estratégico para a conservação desse recurso exige cada vez mais um monitoramento das redes que formam esses aspectos e suas inter-relações com a água, no presente e no futuro, uma vez que estamos lidando com um recurso que circula por todo o planeta, mas sem uma lógica distributiva que atenda às necessidades e aos anseios humanos. Portanto é preciso atentar para todo e qualquer detalhe que passe a ser percebido nessa rede complexa sustentada pela água, que possa sinalizar a possibilidade de interferência sensível no processo de gestão, se vier a tornar-se expressivo. Estudos de cenários são instrumentos pertinentes nesse sentido.

Um factor que denota possibilidades de interferência no modelo de gestão de recursos hídricos é o do comércio da água, uma vez que a água foi instituída como mercadoria, e que os mercados se formam a partir da lei da oferta e da procura, e ainda por não se trata de um "produto" dispensável. Levantar cenários prospectivos para esse comércio e sua interferência no processo de gestão dos recursos hídricos, se justifica, pois o comércio da água pode se transformar numa forma de oferta, na falta de uma gestão estratégica.

O comércio da água tende a crescer pela falta de oferta/escassez, falta de qualidade, crescimento da demanda, ou falta de regulamentação específica.

Novos negócios internacionais de água ganham expressão, e essa mercantilização da água contraria o principio universal da água de ser um bem, contrariando portanto o objectivo da gestão da água.

É preciso criar estratégias impeditivas a essa mercantilização que ocorre na ausência de um acordo internacional que regulamente o acesso à água.

Suprir oferta, suprir qualidade e controlar consumo buscando soluções regionais e locais não dissociadas do contexto mundial, bem como planejar novas estratégias no controle da escassez, são desafios futuros da gestão de recursos hídricos para que não seja inviabilizado o *modus vivendi* da sociedade planetária.

Estudar cenários envolvendo estes aspectos, para alertar para os graus de incerteza envolvidos, é um ponto de partida para que as incertezas do futuro não sejam desastrosas. Criar cenários não é prever o futuro, e sim aumentar a capacidade de organização na observação do ambiente.

Esta proposta de construção de cenários com o objectivo de avaliar interferências na gestão de recursos hídricos pelo comércio de água, surgiu da observação da tendência de crescimento desse comércio diante do quadro actual e futuro, de um cenário optimista para o ano de 2050, de que 2 biliões de pessoas ficarão sem acesso a água.

Com essa construção de cenários baseada nas realidades portuguesa e brasileira, utilizando uma metodologia de consulta à população e aos demais sectores envolvidos na formulação da realidade almejada, espera-se identificar aspectos de relevância que se reportem à possibilidade de melhoria na gestão da água, para que se possa desenvolver uma postura estratégica e antecipatória, para estabelecer mecanismos de controlo quanto a essa mercantilização da água.

Referências

Agência Nacional de Águas (ANA) (2007a). Disponibilidades e Demanda de Recursos Hídricos no Brasil, Cadernos de Recursos Hídricos [Electrónico], número 2, 126p. http://www.ana.gov.br/SalaImprensa/projetos/Resumo%20executivo.pdf

Agência Nacional de Águas (ANA) (2007b). Situação da Água no Mundo, [Electrónico], 1p. http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/CatalogoPublicacoes_2007.asp

Buarque, S.C. (2003). Metodologia e Técnicas de Construção de Cenários Globais e Regionais, IPEA-Texto Para Discussão, Fev., Nº 939, p71. ISSN: 1415-4765.

Cunha, L.V.; Ribeiro, L.; Oliveira, R.P. & Nascimento, J. (2006). Recursos Hídricos, Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação Projecto SIAM II, F. D. Santos e P. Miranda (editores.), Gradiva, Lisboa, p 506. Depósito legal: 237231/06.

OCDE (2002). A Sociedade Criativa do Século XXI, Gabinete de Estudos e Prospectiva Económica (GEPE) Mistério da Economia, Lisboa, 243p. ISBN 972-8170-82-3.

Ribeiro, W. C. (2008). Geografia Política da Água, Editora Annablume, São Paulo, Brasil, 162p. ISBN 978-85-7419-817-0.

Unesco & WWA (2003). Water for People, Water for Life. BerghannBooks, Barcelona, 576p. ISBN 978-92-3-103881-5

WWC (2004). World Water Council. E-conference Synthesis: Virtual Water Trade. Conscious choices. 31p. ISBN 92-95017-10-2

©2009, ISBN 978-972-99991-8-5

EFEITO DAS BARRAGENS NO TRANSPORTE SEDIMENTAR FLUVIAL
Effect of the Dams in the Fluvial Sediment Transport

BRUNO RIBEIRO [1] & CARLOS COELHO [2]

[1] *Mestre em Engenharia Civil,* [2] *Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro*
gomesribeiro@ua.pt; ccoelho@ua.pt

Resumo

A construção de barragens é apontada como sendo uma das causas de erosão, no caso da costa Portuguesa. Assim, estudam-se os aspectos relacionados com a diminuição do transporte sedimentar fluvial, devido à construção destas obras. Foram efectuados ensaios com sedimentos no laboratório de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, em que se introduziu no escoamento um descarregador para simular o efeito de uma barragem. Devido ao aumento da secção do escoamento a montante, o transporte sólido após a instalação do descarregador deixou de existir. Estes resultados foram confrontados com formulações numéricas de quantificação do transporte sedimentar. A quantificação do efeito das barragens não é fácil e as diversas consequências que provocam não estão completamente compreendidas. Assim, foi objectivo deste trabalho contribuir para a compreensão do efeito das barragens no transporte sedimentar fluvial, verificando-se o elevado impacto que o aumento da secção do escoamento a montante tem no transporte sólido.

Palavras-chave: Erosão costeira, escoamento fluvial, barragens, canal de hidráulica.

Abstract

The dams construction is pointed to be one of the greatest causes of Portuguese coastal erosion. In the present paper the objective was to study the main aspects related to the river solid transport reduction due to the dams construction. Some laboratorial tests with sediments were developed in the Civil Engineering Department of Aveiro University. In these tests it was simulated the dam impact in the flow. Due to the increasing of the cross section area in the upstream side of the flow the sediment transport stopped. These results were also compared with numerical formulations of quantification of the sediment transport. The effects of the dams are not easy to achieve and the several consequences it provokes are not completely understood. This way, the goal of this paper is to contribute to the comprehension of the real impacts of the dams in the river sediments transport. It was verified that the water level increase at the upstream side of the dam is very important on river sediment transport volumes reduction.

Keywords: Coastal erosion, fluvial flow, dams, hydraulic flume.

1. Enquadramento Geral

A erosão costeira é um assunto de grande discussão nos dias de hoje, pelo que se torna necessário conhecer e compreender quais as causas responsáveis por este fenómeno. A costa Portuguesa a Sul da foz do rio Minho e principalmente do rio Douro está a cada ano que passa a recuar (Veloso-Gomes *et al.*, 2006).

A diminuição da quantidade de sedimentos que aflui ao litoral por via fluvial é uma das maiores causas da erosão da costa, estando dependente de vários factores. As dragagens ao longo do rio, a protecção e impermeabilização de margens e a construção de barragens, são alguns dos aspectos apontados. Diversos autores (Bouno *et al.*, 1998 e Conceição, 2008), referem que a principal causa de diminuição do transporte sólido fluvial reside na construção de barragens. É importante por isso analisar qual a relação destas obras com o problema da erosão costeira, para mais quando o Estado Português pretende desenvolver o Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroeléctrico (PNBEPH, 2007), estando prevista uma série de novas construções.

2. Impactos das Barragens a Nível Sedimentar

Apesar de serem diversas as referências ao efeito das barragens no transporte sedimentar, a quantificação dos efeitos não é fácil e as diversas consequências que provocam não estão completamente compreendidas.

A instalação de uma barragem no curso de um rio altera o ambiente sedimentar e morfológico deste, levando a que na fase de projecto de uma obra de engenharia desta envergadura seja necessário o estudo do seu impacte ambiental e social (Bouno *et al.*, 1998). A nível sedimentar, a construção de barragens provoca, de forma indirecta, a erosão da linha de costa, por redução da alimentação de areias, pelo que este será um impacte importante e nefasto da construção de uma barragem.

A construção de barragens provoca um aumento da secção transversal do escoamento a montante, a redução das pontas de cheia através da capacidade de encaixe de volumes de água e a retirada de volumes de água do reservatório criado para diversos fins. Estes impactos contribuem para a diminuição da carga sólida na foz do rio, de acordo com o que se refere de seguida.

2.1. Aumento da Secção de Montante

A construção de uma barragem cria um reservatório a montante, aumentando a secção transversal do curso de água. De acordo com a equação da continuidade, o aumento da secção para um mesmo caudal traduz-se na redução da velocidade de escoamento.

Sabendo que o transporte sólido total é proporcional à velocidade de escoamento, tem-se que, com a redução da velocidade reduz também o caudal sólido transportado. Desta forma haverá deposição de carga sólida a montante da barragem. Esta deposição pode provocar o assoreamento do reservatório, chegando a colocar em causa a navegabilidade do rio devido à formação de ilhas (Lencastre e Franco, 1992).

2.2. Redução das Pontas de Cheia

As pontas de cheia, a jusante das barragens, podem ser minimizadas através da capacidade de armazenamento das albufeiras, com capacidade de encaixar grandes volumes de água. Sabendo que o caudal sólido transportado é também directamente proporcional ao caudal líquido, com a eliminação dos caudais superiores provocada pelo efeito das albufeiras haverá menores volumes de sedimentos exportados para a plataforma litoral (Dias, 1993).

De acordo com diversos autores (Dias, 1993 e Xuena *et al.*, 1998), o facto de se construírem diversas barragens no mesmo sistema fluvial, contribui para que deixem de ocorrer correntes torrenciais, as quais permitiam efectuar a limpeza dos sedimentos acumulados a montante de uma barragem.

2.3. Abastecimento e Rega

As barragens podem também ter como objectivos a irrigação e o abastecimento para consumo humano e industrial (Xuena *et al.*, 1998). Assim, com a retirada de volumes de água do curso do rio, o transporte sedimentar fluvial fica afectado, devido a um menor caudal líquido disponível. Este facto sucederá, mesmo que se restitua o volume de água num ponto mais a jusante do rio, pois pelo menos parte do curso do rio será afectado pelo menor caudal.

3. Experiências Laboratoriais

Os estudos laboratoriais são importantes para compreender os diversos efeitos de uma barragem no transporte sedimentar fluvial, devido à pouca exequibilidade de proceder a algum tipo de medições em situações reais (taxas de deposição, volumes sólidos em transporte, comportamento em situações de cheia, etc.).

3.1. Características Gerais do Canal de Hidráulica

O canal de hidráulica do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro tem um comprimento útil de 10 m, com secção transversal de 0.40 x 0.50 m^2 e permite a simulação de escoamentos com diferentes inclinações. A alimentação do canal é efectuada por uma bomba regulável de forma manual.

Para os ensaios com sedimentos elaborou-se um sistema de retenção de sedimentos (bacia de sedimentos) para simular condições naturais de fundo de um rio.

O dispositivo é composto por um segmento de aproximação à bacia de deposição (60 cm) e por um segmento de jusante (60 cm), que faz novamente a transposição para o fundo do canal.

A bacia de sedimentos tem uma extensão duas vezes maior que a largura do canal (80 cm), com 2 cm de altura para deposição de areias, perfazendo um volume de 0.0064 m^3, Figura 1a.

Numa segunda fase dos estudos, adicionou-se um descarregador rectangular ao dispositivo anterior, no final do segmento de jusante, a 60 cm da bacia de sedimentos.

Experimentaram-se 2 descarregadores de soleira delgada, com alturas de 25 cm e de 10 cm. Em ambos os descarregadores foi instalado um tubo adicional para simular uma descarga de fundo, Figura 1b.

a. Vista da bacia de sedimentos.

b. Vista do descarregador.

Figura 1. Instalação laboratorial.

3.2. Condições de Escoamento

Para analisar o transporte sólido no canal foi necessário estabelecer as condições de escoamento e as condições de ensaio, tais como, o caudal líquido, a inclinação do canal, o tipo de sedimentos e o tempo de ensaio.

3.2.1. Coeficiente de Manning-Strickler

Estimou-se a rugosidade que caracteriza o canal através do coeficiente de rugosidade de Manning-Strickler (K_s), chegando-se a um valor de K_s de 105 m$^{1/3}$s^{-1}.

3.2.2. Caudais líquidos

Para a quantificação dos caudais fornecidos pela bomba, procedeu-se à execução de uma série de ensaios, que levaram à caracterização do perfil de velocidades em altura, com recurso a um Acoustic Doppler Velocimeter (ADV).

Foram adoptados dez caudais diferentes, de acordo com o Quadro 1. Os pequenos caudais tiveram a finalidade de conseguir obter o escoamento crítico para determinada dimensão de sedimentos. Os restantes caudais foram definidos em função do funcionamento da bomba.

Quadro 1. Situações de ensaio.

Q_l (l/s)	i = 0.5% U (m/s)	i = 1.0% U (m/s)	i = 1.5% U (m/s)
0.5	0.18	0.28	0.35
1.8	0.32	0.43	0.52
3.9	0.45	0.57	0.71
8.3	0.61	0.85	1.10
10.4	0.66	0.94	1.22
12.5	0.71	1.03	1.35
14.3	0.74	1.09	1.47
16.2	0.81	1.16	1.51
18.2	0.84	1.23	1.55
20.1	0.89	1.28	1.61

3.2.3. Sedimentos

Para analisar o transporte sólido, definiram-se dois tipos de areias, de acordo com o tipo de sedimentos mais característico nos rios Portugueses. Pretendeu-se utilizar areias calibradas, de forma a não acrescentar incertezas de comportamento do transporte sedimentar em curvas granulométricas com distribuições extensas.

Assim, recolheram-se sedimentos para peneiração, sendo escolhidos apenas duas gamas de sedimentos. A primeira entre o peneiro n.º 30 e 40 e a segunda entre o peneiro n.º 8 e 10, da série de peneiros da American Society of Testing Materials (ASTM). O diâmetro característico do primeiro tipo de areia é de 0.51 mm, enquanto o segundo tem um d_{50} de 2.18 mm.

Para a areia com d_{50} de 0.51 mm, o peso volúmico estimado foi de 18.5 kN/m^3, e para a outra granulometria (d_{50} = 2.18 mm), o peso volúmico foi de 20.0 kN/m^3.

Em todos os ensaios, o início de ensaio correspondeu a um fundo liso e com a cota da bacia de sedimentos ao nível das plataformas de acrílico vizinhas, a montante e a jusante.

3.2.4. Inclinações

Nos ensaios de quantificação do transporte sólido a realizar no canal, antes e após a colocação do descarregador, utilizaram-se três inclinações diferentes. De acordo com a amplitude de inclinações do canal, definiram-se as inclinações de 0.5%, 1.0% e 1.5%.

3.2.5. Tempo de ensaio

Nos ensaios sem descarregador, o tempo de ensaio variou de acordo com o respectivo caudal líquido. Para os três primeiros caudais líquidos o tempo de ensaio foi de 120 segundos, ao passo que para os restantes, o tempo de ensaio adoptado foi de 30 segundos. O tempo de ensaio corresponde ao intervalo de tempo desde que o escoamento atinge a bacia de sedimentos até ao momento de se desligar a bomba.

Nos ensaios com descarregador, o tempo de ensaio considerado iniciou-se no momento em que se ligou a bomba, já com o reservatório cheio, e acabou no instante em que esta foi desligada. O tempo de ensaio escolhido foi de 2 minutos para todas as experiências.

4. Transporte Sólido em Regime Natural

4.1. Descrição dos ensaios

O Quadro 2 resume os resultados obtidos para os ensaios em situação natural. Para conhecer o volume transportado em cada ensaio, pesou-se, após secagem, a quantidade de material transportado e estimou-se o volume de transporte através do peso volúmico das diferentes areias.

Quadro 2. Transporte sólido medido em laboratório.

Q_{liq}	i = 0.5%			i = 1.0%			i = 1.5%		
	h	d_{50}= 0.51 mm	d_{50}= 2.18 mm	h	d_{50}= 0.51 mm	d_{50}= 2.18 mm	h	d_{50}= 0.51 mm	d_{50}= 2.18 mm
		Q_s			Q_s			Q_s	
(l/s)	(cm)	(10^{-6}m^3/s)		(cm)	(10^{-6}m^3/s)		(cm)	(10^{-6}m^3/s)	
0.5	0.40	-	0.00	0.45	0.09	0.00	0.45	0.96	0.00
1.8	0.95	0.44	0.00	0.85	2.31	0.00	0.85	3.22	0.00
3.9	1.60	2.56	0.00	1.35	4.95	0.00	1.38	10.56	0.95
8.3	2.65	10.89	0.42	2.60	22.21	2.34	2.85	32.43	9.96
10.4	3.03	12.90	0.53	3.10	26.87	5.66	3.43	43.82	17.78
12.5	3.50	15.05	2.70	3.63	27.82	9.15	4.10	55.16	19.43
14.3	3.75	20.28	3.41	4.03	38.76	12.91	4.78	63.21	21.79
16.2	4.40	23.54	5.38	4.53	42.48	15.39	5.03	74.42	32.15
18.2	4.75	25.50	7.84	5.05	50.61	21.29	5.30	81.51	36.02
20.1	5.25	31.78	9.70	5.38	56.89	26.08	5.68	85.93	41.97

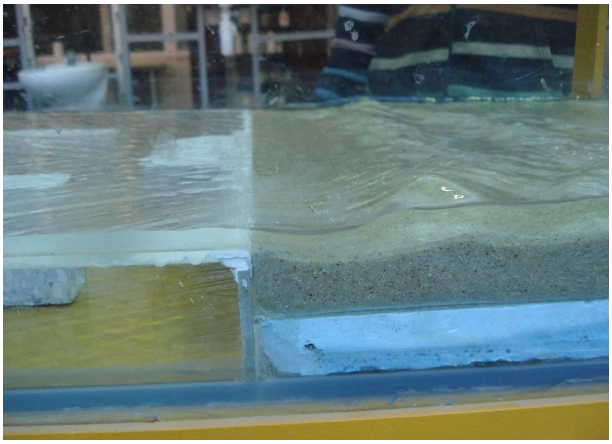
O transporte sólido ocorrido para os menores caudais líquidos permitiu visualizar a alteração das formas do fundo e a formação de rugas ou dunas na bacia de sedimentos, Figura 2.

Este fenómeno vai desaparecendo com o aumento do caudal líquido, passando a existir erosão generalizada na bacia de sedimentos.

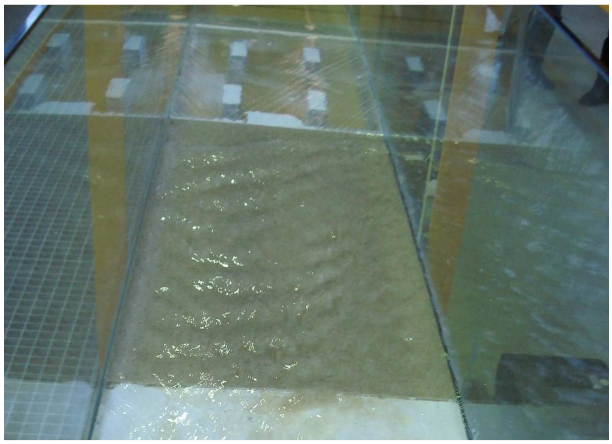
Nos ensaios com a areia de menor dimensão, com uma inclinação do canal de 1.5%, correspondente às maiores velocidades do escoamento associadas a grandes caudais, o fundo da bacia de sedimentos, no final de cada experiência ficou exposto, resultado do grande volume de transporte sólido, Figura 3.

Esta situação ocorreu apenas na zona de entrada da bacia de sedimentos, podendo ser explicada pela passagem rápida de um fundo fixo para um fundo móvel. A jusante desta zona bastante erodida o transporte sólido foi mais uniforme.

Nos ensaios com maior dimensão de areia e menor caudal não existiu qualquer transporte sólido.

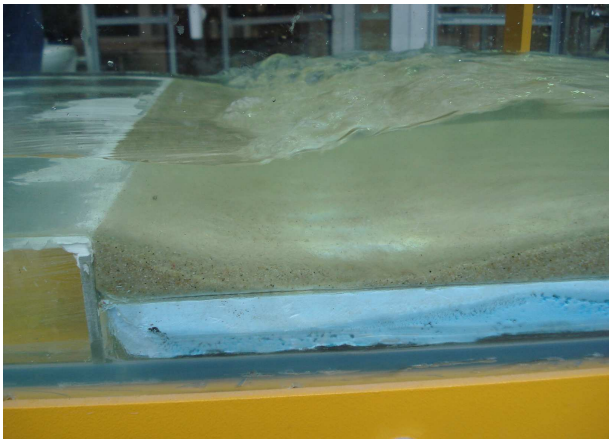


a. Início da formação de dunas



b. Configuração final das formas do fundo

Figura 2. Formação de rugas ou dunas



a. Caudal escoado de 12.5 l/s

b. Caudal escoado de 20.1 l/s

Figura 3. Fundo da bacia de sedimentos exposto, para escoamentos com 1.5% de inclinação e areia de menor dimensão.

4.2. Análise dos resultados

Os ensaios realizados conduziram a uma série de resultados que interessa analisar, compreendendo as condições específicas de cada ensaio.

Na Figura 4 apresentam-se os resultados dos ensaios realizados para os diferentes caudais líquidos, distinguindo as três inclinações do canal.

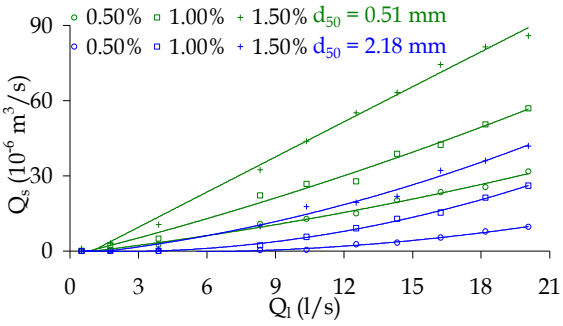


Figura 4. Relação entre caudal líquido (Q_l) e caudal sólido (Q_s).

Em termos genéricos, os maiores caudais sólidos acontecem para os maiores caudais líquidos e para as maiores inclinações.

Para as mesmas condições de ensaio, com o mesmo caudal líquido e inclinação, o transporte sólido é sempre maior para a areia com d_{50} = 0.51 mm do que para a areia de maior dimensão (d_{50} = 2.18 mm).

No gráfico, os resultados são aproximados por polinómios de segundo grau, sendo o valor característico do coeficiente de correlação (r^2) superior a 0.98, comprovando uma forte relação entre os caudais líquidos e os caudais sólidos.

A Figura 5 representa a percentagem média de aumento de transporte sólido, por alteração da inclinação do canal.

O aumento do transporte sólido por variação da inclinação do canal depende também do caudal líquido.

Assim, para cada inclinação obtiveram-se 10 valores distintos de transporte.

Verificou-se que o aumento de carga sólida transportada para jusante é superior para os menores caudais líquidos.

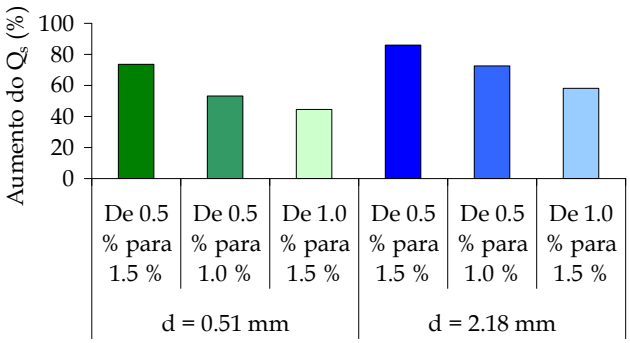


Figura 5. Aumento do transporte sólido por efeito do aumento da inclinação do escoamento.

Para a areia de menor dimensão (d_{50} = 0.51 mm), o aumento da inclinação do canal de hidráulica de 0.5% para 1.5% contribui em média para o aumento do transporte sólido em cerca de 75%.

Para a areia com d_{50} = 2.18 mm, o aumento do transporte sedimentar por alteração da inclinação do escoamento é, em geral, superior aos resultados obtidos utilizando a areia de menor dimensão. Assim, por exemplo, para um aumento de inclinação de 0.5% para 1.0%, o transporte sólido movimentado para jusante aumenta em média cerca de 73%.

Na Figura 6 observa-se graficamente o aumento do transporte sedimentar por variação do diâmetro mediano das partículas, diminuindo o d_{50} de 2.18 mm para 0.51 mm, o que corresponde a uma redução de cerca de 77% na dimensão dos sedimentos.

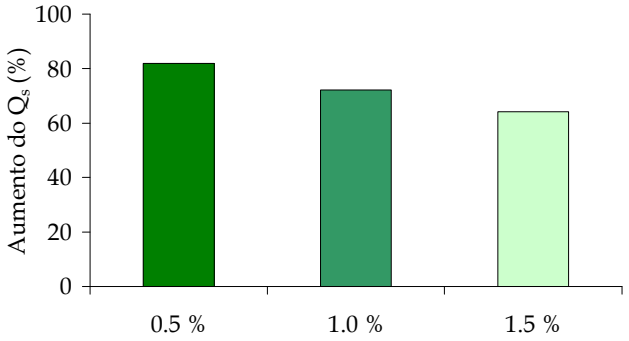


Figura 6. Aumento do transporte sólido por efeito da diminuição do diâmetro mediano das partículas.

Por exemplo, para uma inclinação de 0.5%, o transporte sedimentar aumenta em média cerca de 82% devido à mudança do tipo de sedimentos. A inclinação associada ao escoamento também influencia estes resultados.

O aumento da inclinação do canal reduz a variação de resultados, reflectindo um menor impacto da dimensão das areias no resultado global do transporte, já muito condicionado pela inclinação e consequente velocidade de escoamento.

A Figura 7 mostra a relação da velocidade de escoamento com o transporte sólido medido em laboratório. Naturalmente, o caudal sólido medido é crescente com o aumento da velocidade de escoamento, e é superior em média em cerca de 70% para a areia com d_{50} = 0.51 mm.

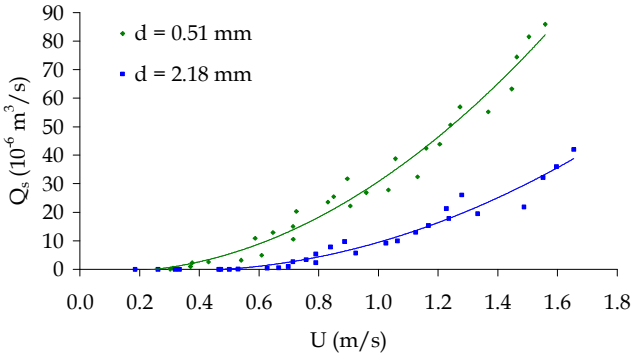


Figura 7. Relação entre a velocidade de escoamento (U) e caudal sólido (Q_s).

Também se aproximaram estes resultados a polinómios do segundo grau, obtendo-se boas correlações ($r^2 > 0.96$).

De acordo com as aproximações efectuadas, o início de transporte acontece para 0.25 m/s e 0.48 m/s, respectivamente para a areia com d_{50} = 0.51 mm e d_{50} = 2.18 mm. As Equações [1] e [2] representam a lei dos caudais sólidos (m^3/s) em relação à velocidade de escoamento (m/s), respectivamente para os sedimentos d_{50} = 0.51 mm e d_{50} = 2.18 mm.

$$Q_s = 38.9 \cdot 10^{-6} \cdot U^2 - 7.5 \cdot 10^{-6} - 0.6 \cdot 10^{-6} \quad [1]$$

$$Q_s = 22.6 \cdot 10^{-6} \cdot U^2 - 15.2 \cdot 10^{-6} + 2.1 \cdot 10^{-6} \quad [2]$$

em que Q_s representa o caudal sólido, expresso em m^3/s e U a velocidade média do escoamento, em m/s.

4.3. Comparação com formulações numéricas

Nesta secção comparam-se os resultados laboratoriais com diferentes formulações numéricas que tentam quantificar e caracterizar as condições de início de transporte sedimentar (condições críticas do escoamento) e os caudais sólidos em transporte.

Note-se que os resultados laboratoriais avaliam apenas o transporte sólido proveniente da bacia de sedimentos, não existindo alimentação de areias a montante, reduzindo eventualmente a parcela de partículas em suspensão.

4.3.1. Início de transporte sedimentar

Avaliaram-se diversos métodos de cálculo de início de transporte sólido, tendo por base os conceitos da velocidade média crítica e da tensão crítica de arrastamento. As formulações de Goncharov, Neil e Garde, respectivamente de 1964, 1967 e 1970, permitem estimar a velocidade média na secção a partir da qual existe arrastamento das partículas no fundo (Equações [3], [4] e [5], respectivamente).

As formulações de Schoklitsch, Shields, e Lane, respectivamente de 1934, 1936 e 1955, estimam a tensão crítica de arrastamento para cada situação de ensaio, a partir da qual existe transporte sólido (Equações [6], [7] e [8], respectivamente). O número adimensional que resulta da aplicação da Equação [7] é utilizado para o cálculo da tensão crítica de arrastamento através do diagrama proposto por Shields, em 1936.

$$U_{cr} = \log\left(8.8 \cdot \frac{h}{d_{50}}\right) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot d_{50}}{3.5 \cdot \gamma}} \quad [3]$$

$$U_{cr} = \sqrt{2.5 \cdot \left(\frac{h}{d_{50}}\right)^{0.2} \cdot \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right) \cdot g \cdot d_{50}} \quad [4]$$

$$U_{cr} = \left(0.5 \cdot \log\left(\frac{h}{d_{50}}\right) + 1.63\right) \cdot \sqrt{\frac{(\gamma_s - \gamma) \cdot d_{50}}{\rho}} \quad [5]$$

$$\tau_c = \sqrt{0.201 \cdot \gamma_s \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot \eta \cdot d_{50}^3} \quad [6]$$

$$\frac{d_{50}}{v} \cdot \sqrt{0.1 \cdot \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right) \cdot g \cdot d_{50}} \quad [7]$$

$$\tau_c = 0.785 \cdot d_{75} \quad [8]$$

O Quadro 3 resume os caudais líquidos (l/s) a partir dos quais existe transporte, com base nas formulações numéricas descritas e nos resultados obtidos dos ensaios laboratoriais realizados. Os resultados com base no conceito da tensão crítica aproximam-se mais dos valores medidos, do que os resultados obtidos com base no conceito da velocidade crítica.

Quadro 3. Caudais líquidos (l/s) que caracterizam o início de transporte sólido.

d_{50} (mm)	i (%)	Conceito de Tensão Crítica			Conceito de Velocidade Crítica			Medido
		1	2	3	4	5	6	
0.51	0.5	0.05	0.19	1.00	0.25	0.33	0.01	0.5
	1.0	0.04	0.09	0.44	0.19	0.26	0.01	0.5
	1.5	0.03	0.05	0.27	0.17	0.23	0.01	0.5
2.18	0.5	5.04	3.82	12.93	0.39	1.31	0.02	8.3
	1.0	2.12	1.62	5.22	0.29	0.51	0.02	3.9
	1.5	1.30	1.00	3.15	0.25	0.44	0.01	3.9

Legenda: 1-Schoklitsch; 2-Shields; 3-Lane; 4-Goncharov; 5-Neil; 6-Garde

Assim, apesar de algumas diferenças, mais notórias nas areias de menor dimensão, conclui-se que o conceito da tensão tangencial crítica permite uma melhor caracterização do início de transporte, nestas condições de escoamentos.

Para o tipo de sedimentos mais fino existe grande uniformidade nos caudais que originam o início de transporte, no entanto estes resultados subestimam o caudal líquido de início de transporte, quando comparado com os resultados de laboratório. A formulação numérica de Lane, com base na tensão crítica, é a que mais se aproxima dos resultados obtidos para as duas gamas de sedimentos. A diferença média associada ao valor medido é, para esta formulação, menor do que as restantes formulações. No entanto, todas estas formulações têm diferenças médias associadas ao valor medido na ordem dos 70 %.

4.3.2. Caudal sólido total

As formulações numéricas de quantificação do transporte sólido de Ackers e White (revisto) e de Van Rijn foram as utilizadas para comparação com os resultados laboratoriais de caudal sólido.

A Figura 8 apresenta os gráficos que comparam os resultados de laboratório com os resultados de transporte sólido total obtidos através dos métodos de cálculo, para as diferentes inclinações estudadas.

Da observação directa dos gráficos apresentados na Figura 8, verifica-se a diferença entre os resultados laboratoriais e os obtidos através das formulações numéricas.

Em geral, a formulação de Van Rijn, estima caudais sólidos superiores aos calculados através de Ackers e White (revisto). Todavia, para os caudais inferiores, Van Rijn aproxima-se mais dos resultados laboratoriais.

No Quadro 4 são apresentadas as relações médias entre os resultados das formulações numéricas e os resultados laboratoriais, para os dois tipos de areias.

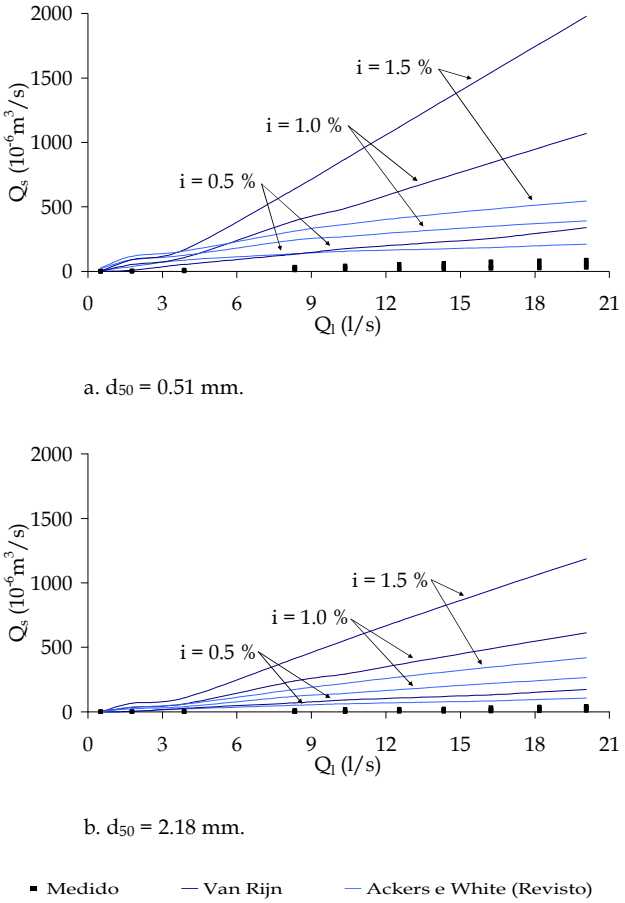


Figura 8. Comparação do Q_s medido em laboratório com $Q_{s,total}$, obtido através das formulações numéricas.

Quando existe transporte sólido e os caudais líquidos são pequenos, a proporção das diferenças entre os caudais sólidos calculados e os medidos acentuam-se significativamente. Esta maior diferença nos caudais líquidos inferiores, entre o caudal sólido estimado pela formulação e o caudal sólido medido laboratorialmente, tem um peso significativo nos valores médios apresentados no Quadro 4.

Quadro 4. Proporção entre o caudal sólido obtido através das formulações numéricas e o caudal sólido observado no laboratório.

d_{50} (mm)	i = 0.5%		i = 1.0%		i = 1.5%	
	Van Rijn	Ackers e White (revisto)	Van Rijn	Ackers e White (revisto)	Van Rijn	Ackers e White (revisto)
0.51	13	41	21	39	19	13
2.18	69	47	244	152	43	19

Assim, a formulação de Ackers e White (revisto) demonstra graficamente melhores aproximações aos resultados laboratoriais. No entanto, a formulação de Van Rijn apresenta no Quadro 4 uma diferença média inferior.

Por exemplo, para os ensaios com a areia de menor dimensão e com uma inclinação de 1.0%, a formulação de Ackers e White (revisto) estima caudais sólidos 260 vezes superior ao transporte sólido medido no laboratório.

Para a areia de menor dimensão, a formulação de Van Rijn, origina em média, caudais sólidos mais próximos dos obtidos nos ensaios laboratoriais no canal.

A formulação de Ackers e White (revisto) conduz a resultados em média superiores aos estimados pela formulação de Van Rijn. No entanto, para a inclinação do canal de 1.5% este método aproxima-se mais dos resultados de laboratório.

Nos ensaios em que se utilizou a areia de maior diâmetro mediano (d_{50} = 2.18 mm), a formulação de Ackers e White (revisto) tem um comportamento melhor que a de Van Rijn.

Este facto pode ser explicado pelo limite de aplicação das respectivas formulações numéricas, já que a formulação de Van Rijn é adequada para areias com diâmetro médio inferior a 2 mm, e o maior diâmetro mediano das partículas utilizadas no estudo laboratorial tem um valor próximo deste limite máximo.

5. Transporte Sólido com Descarregador

Para simular o impacto de uma barragem no transporte sedimentar fluvial, introduziu-se um descarregador a jusante da bacia de sedimentos. A execução destes novos ensaios tiveram por objectivo comparar os resultados do transporte sólido a montante do descarregador, antes e após a introdução desta barreira. Foram utilizados dois descarregadores com alturas distintas, permitindo avaliar as diferenças com os consequentes volumes de água acumulada a montante.

5.1. Descrição dos Ensaios

Em todos os testes realizados, foi condição necessária o reservatório de montante criado pelo descarregador estar completamente cheio para início de ensaio e a bacia de sedimentos estar completamente regularizada. Nestes ensaios, o tempo de experiência considerado foi de 2 minutos, desde o instante em que se ligou a bomba, com o reservatório cheio, até ao instante em que foi desligada.

Independentemente do descarregador e da dimensão da areia, nos diferentes ensaios não se obteve qualquer transporte sólido. Mediram-se também as alturas do escoamento e estimaram-se as respectivas velocidades médias.

Nos ensaios com a mesma inclinação, a altura de escoamento aumenta com o aumento do caudal líquido. Contudo, para o mesmo caudal líquido e com o aumento da inclinação, a altura de escoamento diminui, aumentando a velocidade média da secção do escoamento.

5.2. Análise dos Resultados

O impacto no transporte sedimentar devido à construção de uma barragem e consequente formação de albufeira a montante é muito significativo, deixando de ocorrer qualquer transporte sólido na albufeira, nas situações testadas.

5.2.1. Aumento da secção de montante

Com a introdução do descarregador no canal, há uma acumulação de água a montante, aumentando a área da secção e consequentemente reduzindo a velocidade do escoamento, Quadro 5.

A redução da velocidade de escoamento chega a ser da ordem dos 99%, por colocação do maior descarregador a jusante da bacia de sedimentos, para uma inclinação de 1.5% e com um caudal líquido de 0.5 l/s.

Quadro 5. Redução da velocidade após a colocação dos descarregadores.

Altura do Descarregador (cm)	i (%)	Redução da velocidade (%)	Média (%)
25	0.5	88	91
	1.0	92	
	1.5	93	
10	0.5	77	83
	1.0	84	
	1.5	87	

O descarregador com 25 cm de altura tem um maior impacto na redução da velocidade, quando comparado com o de 10 cm. A redução da velocidade do escoamento aumenta com a inclinação do canal, chegando a 93% para o descarregador mais alto e a 87% no descarregador de 10 cm.

5.3. Comparação com Formulações Numéricas

Apesar de não ter sido verificado qualquer transporte sólido após a colocação do descarregador, comparam-se os resultados de diferentes formulações numéricas de quantificação do transporte sólido, com as condições do escoamento obtidas com descarregadores.

5.3.1. Transporte sólido total

Neste subcapítulo, apenas se apresenta a comparação dos resultados obtidos, considerando o descarregador de 10 cm de altura, com os resultados das formulações de Van Rijn e Ackers e White (revisto), uma vez que estes métodos não estimam transporte sólido para as condições de escoamento com o descarregador de 25 cm de altura.

Como já foi referido, nestes ensaios não existiu transporte sólido. No entanto, as formulações estudadas apontam transporte sólido para os ensaios realizados com a areia de d_{50} = 0.51 mm, Figura 9. Nestes cálculos, utilizou-se a altura de escoamento medida.

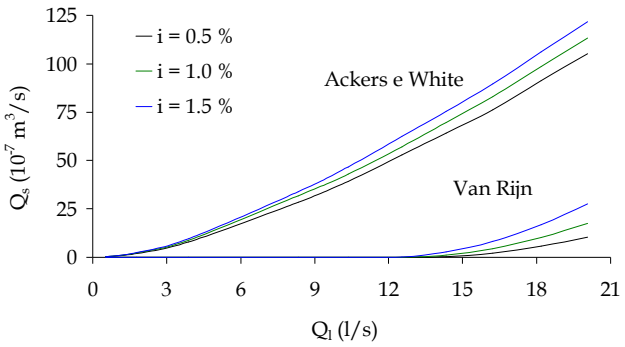
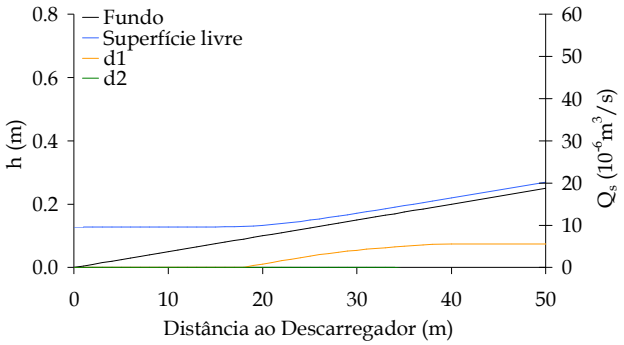


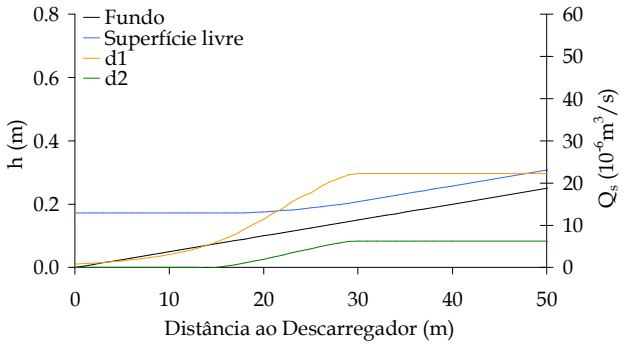
Figura 9. Resultados das formulações numéricas de transporte sólido para o descarregador de 10 cm de altura e areia de d_{50} = 0.51 mm.

Ao contrário do que sucedia sem descarregador, a formulação de Ackers e White (revisto) estima caudais sólidos superiores à formulação de Van Rijn para todas as inclinações estudadas. Como seria de esperar, para ambas as formulações, o caudal sólido é superior para inclinações maiores e para caudais líquidos superiores.

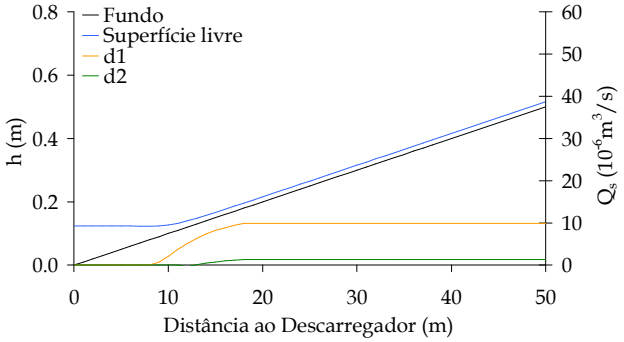
Os resultados das diferentes formulações numéricas sobreavaliam o caudal sólido medido em laboratório, para a areia de menor dimensão.



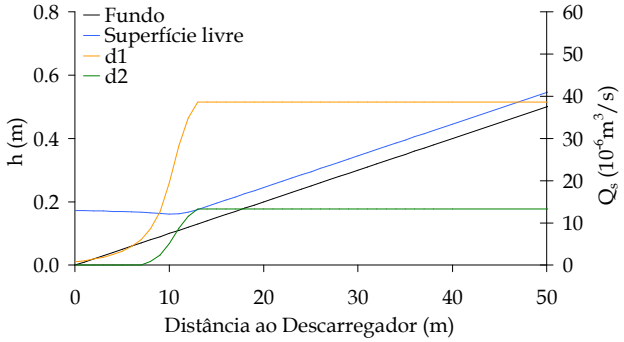
a. Q_l = 3.9 l/s; i = 0.5 %.



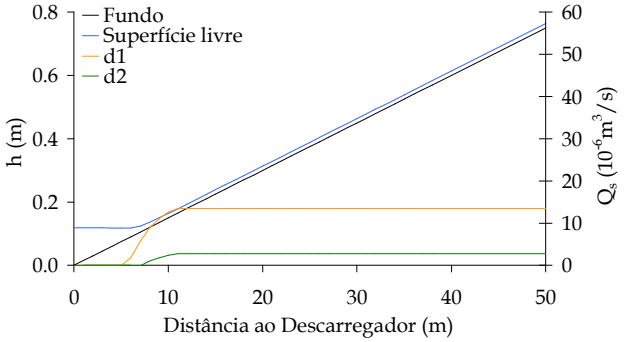
b. Q_l = 20.1 l/s; i = 0.5 %.



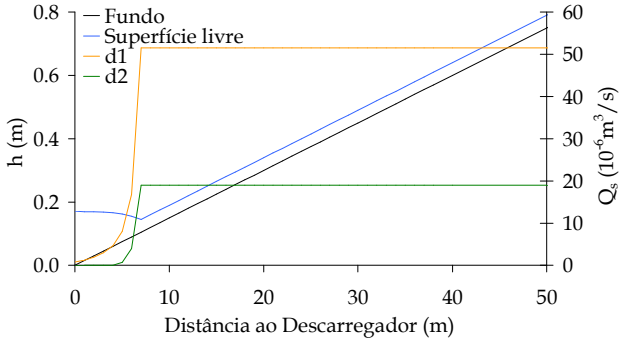
c. Q_l = 3.9 l/s; i = 1.0 %.



d. Q_l = 20.1 l/s; i = 1.0 %.



e. Q_l = 3.9 l/s; i = 1.5 %.



f. Q_l = 20.1 l/s; i = 1.5 %.

Figura 10. Transporte sólido ao longo do canal.

No caso da areia de maior dimensão, os resultados das formulações numéricas reforçam os dados laboratoriais, uma vez que, as formulações numéricas estudadas também não sugerem qualquer transporte sólido para as condições de ensaio. Pode-se afirmar assim, que as formulações estudadas são mais realistas para os ensaios laboratoriais com a areia de maior dimensão, do que para a areia de menor dimensão.

5.3.2. Transporte sólido a montante do descarregador

De acordo com os resultados apresentados, não existe transporte sólido na zona da albufeira criada pela introdução do descarregador. Contudo, numa situação real, a carga sólida continua a alimentar as linhas de água, pelo que é importante conhecer a distribuição espacial da carga sólida ao longo do rio.

Conhecendo a relação entre a velocidade de escoamento e o caudal sólido para ambas as areias em estudo, Equações [1] e [2], e estimando o perfil da superfície livre do canal desde o descarregador até uma zona suficientemente a montante para não haver influência no escoamento, pode-se distribuir o transporte sólido ao longo desse perfil.

A Figura 10 apresenta o transporte sólido ao longo do canal para diferentes condições de escoamento. A origem do eixo das abcissas corresponde à posição do descarregador de 10 cm de altura.

Verifica-se que a área do reservatório e a altura normal do escoamento a montante diminui com o aumento da inclinação do canal.

Os gráficos escolhidos representam casos extremos, de acordo com os caudais ensaiados. Assim, a situação com o caudal líquido de 3.9 l/s e uma inclinação de 0.5%, representa a situação em que existe apenas transporte sólido da areia de menor dimensão.

A situação com o caudal líquido de 20.1 l/s e uma inclinação de 1.5% é a condição máxima de transporte sólido ensaiada no laboratório.

Não se apresentaram as situações com os caudais de 0.5 e 1.8 l/s porque correspondem a transporte sedimentar nulo, uma vez que a velocidade de escoamento é menor do que a velocidade crítica obtida através da curva de aproximação aos dados laboratoriais.

As curvas correspondentes ao transporte sólido das duas areias decrescem à entrada da albufeira criada pelo descarregador, sendo essa diminuição mais acentuada para as maiores inclinações e caudais líquidos. Este decréscimo de transporte sedimentar é consequência do aumento da altura do escoamento e consequente redução da velocidade do escoamento.

A Figura 10a apresenta apenas transporte sólido para a areia de d_{50} = 0.51 mm, uma vez que a altura de escoamento não permite uma velocidade superior a 0.48 m/s, condição necessária para início de transporte da areia de maior dimensão.

Nos gráficos das Figuras 10a, 10c e 10e, o transporte sólido passa a ser nulo à entrada da albufeira, no entanto, para caudais superiores (Figura 10b, 10d e 10f) ainda se verificou um pequeno valor de transporte sólido junto ao descarregador.

6. Considerações Finais

Associados à construção de barragens existem diversos aspectos favoráveis, mas advêm também factores que impedem o trajecto normal dos sedimentos de um rio. O efeito de barreira cria um reservatório de água a montante da barragem e a redução da velocidade do escoamento reduz a capacidade de transporte, que faz com que a carga sólida fique retida a montante.

A regularização de caudais, assim como a retirada de caudais líquidos ao sistema fluvial contribuem também para a redução do transporte sedimentar. As formulações numéricas que caracterizam as condições críticas de início de transporte subestimam, em geral, a velocidade de início de transporte, tendo em média diferenças associadas ao valor medido na ordem dos 70%.

Os resultados de laboratório obtidos estão de acordo com o que seria espectável, ou seja, o caudal sólido transportado aumenta com o caudal líquido. Aumentando a inclinação do canal, aumenta a velocidade do escoamento e aumenta também o caudal sólido. Por fim, o caudal sólido medido é superior quando se utilizam as areias de menor diâmetro.

Comparando os caudais sólidos obtidos em laboratório sem descarregador com os caudais sólidos totais resultantes de diversas formulações, conclui-se que os métodos de cálculo sobreavaliam o caudal sólido medido. A formulação de Ackers e White (revisto) é a que melhor se aproxima, em comparação com a de Van Rijn.

O transporte sólido estimado por estas duas formulações numéricas para as diversas situações testadas é, em média, cerca de 60 vezes superior ao transporte sólido medido sem descarregador.

Após a instalação de um descarregador, não existiu qualquer transporte sedimentar, devido ao efeito da redução da velocidade média do escoamento por aumento da secção do escoamento, consequência do reservatório criado a montante do descarregador.

Verificou-se em média uma redução da velocidade do escoamento por introdução do descarregador de 10 cm de altura de cerca de 83%, para as três inclinações estudadas.

As formulações numéricas aplicadas ao cálculo do transporte sedimentar com descarregador (Ackers e White (revisto) e Van Rijn), sobreavaliam os resultados laboratoriais obtidos. Estas formulações estimam um caudal sólido apenas para a areia de menor diâmetro e para todas as inclinações, sendo que a formulação de Ackers e White (revisto) estima caudais sólidos superiores à formulação de Van Rijn.

Analisando a distribuição do transporte sedimentar a montante do descarregador, observa-se uma diminuição abrupta à entrada da albufeira criada pelo descarregador, sendo esse decréscimo mais acentuado para as maiores inclinações e caudais líquidos. Esta diminuição do transporte sedimentar é consequência do aumento da altura do escoamento e da consequente redução da velocidade do escoamento, comprovando o impacto nefasto da construção de barragens ao nível do transporte sedimentar.

Referências

Bouno, S.; Shimizu, Y. & Saitou, D. (1998). *Sediment transport in the Saru River and Nibutani Dam.* Proceedings of the 7th International Symposium on River, pp. 409-414. ISBN 90 5809 034 5.

Conceição, T.E.C. (2008). *Impacto das Acções Antropogénicas no Comportamento Sedimentar do Rio Douro,* Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro.

Dias, J.M.A. (1993). *Estudo de Avaliação da Situação Ambiental e Proposta de Medidas de Salvaguarda para a Faixa Costeira Portuguesa.* Geologia Costeira, capítulo IV, pp. 13-38.

Lencastre, A. & Franco, F.M. (1992). *Lições de Hidrologia,* 2.ª edição, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. ISBN 972-595-079-8.

PNBEPH (2007). *Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroeléctrico.* COBA – Consultores de Engenharia e Ambiente, PROCESL – Engenharia Hidráulica e Ambiente. Instituto da Água, I.P., Direcção Geral de Energia e Geologia, Redes Energéticas Nacionais.

Veloso-Gomes, F.; Taveira-Pinto, F.; Neves, L. & Barbosa, J.P. (2006). *O Projecto EUrosion – Resultados e Recomendações para uma Gestão mais eficaz da Erosão Costeira.* 8.º Congresso Nacional da Água – Água, Sede de Sustentabilidade, Figueira da Foz.

Xuena, D.; Ling, W.; Yunping, Q. & Sujuan, K. (1998). *Variations in runoff, sediment and channel silting in the upper Yellow River.* Proceedings of the 7th International Symposium on River, pp. 867-871. ISBN 90 5809 034 5.

©2009, ISBN 978-972-99991-8-5

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA DA MARÉ NA RIA FORMOSA

Energetic Potential Evaluation of the Tidal Energy in Ria Formosa

CATARINA ALMEIDA (1), PAULO A. SILVA (2), MARC HADDEN (3), JOSÉ C. AMADOR (3) & XAVIER BERTIN (4)

(1) *Mestre, Universidade de Aveiro, Martifer Energia SA,*
Caveirós de Baixo - Cambra, 3670-041 Vouzela
catarina.ines@ua.pt

(2) *Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro,*
Departamento de Física, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro
psilva@ua.pt

(3) *Engenheiro, Martifer Energia SA,*
Navalria – Docas e Reparações Navais, Porto Comercial – Terminal Sul, 3811-901 Aveiro
marc.hadden@martifer.pt; jose.amador@martifer.pt

(4) *Investigador Auxiliar, LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil,*
Avenida do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa
xbertin@lnec.pt

Resumo

O presente trabalho tem como objectivo o estudo de uma zona estuarina, neste caso a ria Formosa, para um possível aproveitamento da energia da maré. É feito o estudo das características hidrodinâmicas da ria Formosa, uma caracterização de duas tecnologias de aproveitamento da energia da maré e estudada a forma de implementação dessas tecnologias na ria Formosa. O estudo efectuado com base nos resultados de um modelo numérico hidrodinâmico mostra que os locais de interesse para o possível aproveitamento da energia maremotriz na ria Formosa, restringem-se ao canal de entrada de Faro localizado entre a ilha da Culatra e Barreta.

Palavras-chave: Energias renováveis, maré, ria Formosa.

Abstract

The objective of this work is to study an estuary zone, in this particular case, the ria Formosa, in the South of Portugal, for a possible extraction of tidal energy. The study of the hydrodynamics characteristics of the ria Formosa and a detailed description of two technologies for the extraction of tidal energy and how this can be done in this particular place is made.

This work is based on the results of a hydrodynamic model which shows the best spots for a possible extraction of tidal energy in ria Formosa. These spots are confined to the inlet of Faro, between Culatra's and Barreta's islands.

Keywords: Renewable energy, tide, ria Formosa.

1. Introdução e Objectivos

É actualmente reconhecido que a utilização de combustíveis fósseis para a produção de energia traz consigo problemas de sustentabilidade, sociais e ambientais.

Nessa medida, o recurso a fontes renováveis de energia limpa e proveniente de fontes naturais tem vindo a receber uma atenção crescente, tendo sido estabelecidas metas temporais a curto prazo para que uma percentagem substancial de produção de energia seja feita a partir dessas fontes.

É da radiação emitida pelo Sol que provêm grande parte das fontes de energia renováveis, tais como, o vento, as ondas do mar e a própria radiação solar.

As marés, geradas através da interacção gravitacional entre o Sol, a Lua e a Terra, constituem também uma fonte de energia renovável.

Nos oceanos, há ainda outras formas de energia disponíveis como, por exemplo, a associada às correntes marítimas, a gradientes salinos e a gradientes de temperatura.

Este trabalho aborda a energia associada ao movimento de massas de água relativas às marés e avaliar qual o seu potencial de aproveitamento em Portugal, nomeadamente na ria Formosa.

Para quantificar este aproveitamento é necessário, de um modo geral, caracterizar o sistema costeiro tendo em conta factores ambientais, físicos e geológicos, atender à navegabilidade e cruzar essa informação com as especificidades da tecnologia existente ou, eventualmente, propor novas tecnologias adaptadas a esse meio.

O presente trabalho pretende estabelecer os locais óptimos/possíveis para a instalação de duas tecnologias existentes com base nos resultados de simulações numéricas da propagação da onda de maré na ria Formosa.

2. Estudo das Características da Ria Formosa

2.1. Caracterização e Localização

2.1.1. Localização

A ria Formosa situa-se no Sul de Portugal, pertencendo à bacia hidrográfica do Algarve. Segundo o Instituto de Conservação da Natureza, possui uma área de 18.400 hectares e estende-se pelos concelhos de Faro, Loulé, Olhão, Tavira e Vila Real de Santo António, numa extensão de 60 km. Apresenta ainda uma zona húmida de 10.505 hectares.

Como ilustra a Figura 1, este sistema é banhado a Sul pelo Oceano Atlântico e é separado deste por duas penínsulas e uma série de ilhas-barreiras, não tendo a Norte uma delimitação muito precisa.

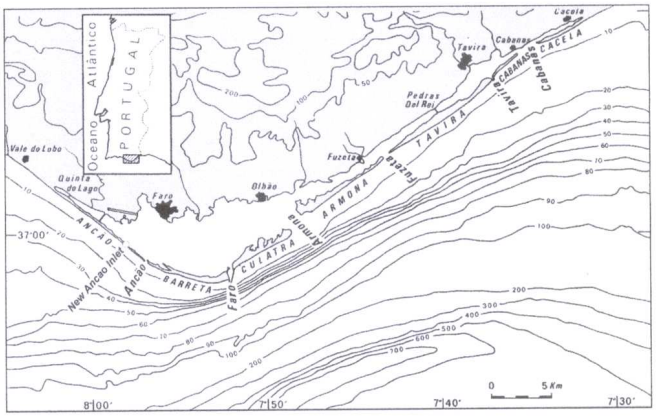


Figura 1. Mapa da ria Formosa (Salles *et al.*, 2005).

2.1.2. Caracterização do Sistema Lagunar

Na ria Formosa existem extensas áreas de sapal que contribuem para a riqueza económica e biológica do sistema lagunar. Este sistema lagunar tem a denominação de ria apesar de não o ser, pois possui as características de uma laguna, vale fluvial formado por ilhas-barreira. Actualmente tem 6 entradas, localizada numa região semiárida com uma precipitação não muito significativa (152 mm/ano, correspondendo a $0.5 m^3 s^{-1}$) (Salles *et al.*, 2005).

Os rios mais relevantes que desaguam nesta laguna são o Gilão e a ribeira de Alportel (Tavira) e o Seco e a ribeira de São Lourenço (Faro). No entanto a ria Formosa é constituída predominantemente por água salgada, exceptuando no Inverno quando o caudal dos rios é superior.

É notória em toda a ria a influência da maré havendo uma renovação de 50 a 75% de água em cada ciclo de maré, segundo o Instituto de Conservação da Natureza (ICN) (http://www.icn.pt/TurismoNatureza_anexos/PNRF.pdf).

O fundo da ria Formosa é constituído principalmente por sedimentos arenosos (provenientes das correntes de maré, galgamentos e ventos), lagunares (matéria orgânica, vasa salgada) e continentais (transporte pelas ribeiras e escorrência das águas da chuva).

2.1.3. Batimetria

A batimetria da ria Formosa utilizada neste trabalho tem origem na base de dados do projecto Europeu INDIA (Williams *et al.*, 2003) e combina dados dos levantamentos batimétricos obtidos entre 1984 e 1999, Figura 2.

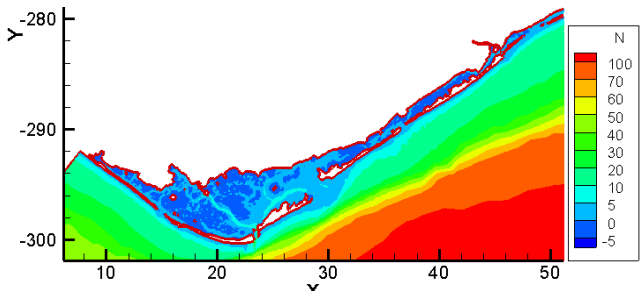


Figura 2. Batimetria da ria Formosa (m).

As profundidades indicadas são relativas ao nível médio da água do mar. Nesta figura é possível constatar que a ria Formosa é pouco profunda (geralmente inferior a 5 m), tendo uma área extensa de sapais inundados durante as marés cheias. Os locais mais profundos deste sistema lagunar encontram-se nos canais de entrada ("*inlets*"), por entre as ilhas-barreiras, sendo o mais profundo o canal principal de Faro, por entre as ilhas da Barreta e da Culatra, Figura 1.

3. A Tecnologia de Aproveitamento da Energia das Marés

Com a evolução da tecnologia, esta passou também a ser utilizada em prol do ambiente, facilitando e inovando cada vez mais as formas de extracção de energia das várias fontes inesgotáveis da natureza.

3.1. Tecnologias Existentes

A energia das ondas de maré pode ser aproveitada através de duas tecnologias: as barragens, onde o recurso reside na energia potencial acumulada devida à diferença de altura entre marés e os sistemas com uma turbina, semelhantes aos aerogeradores utilizados na produção de energia eólica, que aproveitam a energia cinética associada às correntes de maré.

Este trabalho visa apenas a segunda tecnologia citada. Estes sistemas têm um impacto ambiental muito inferior comparado com as barragens mareomotrizes e custos também mais reduzidos. A Figura 3 mostra exemplos deste tipo de sistemas.

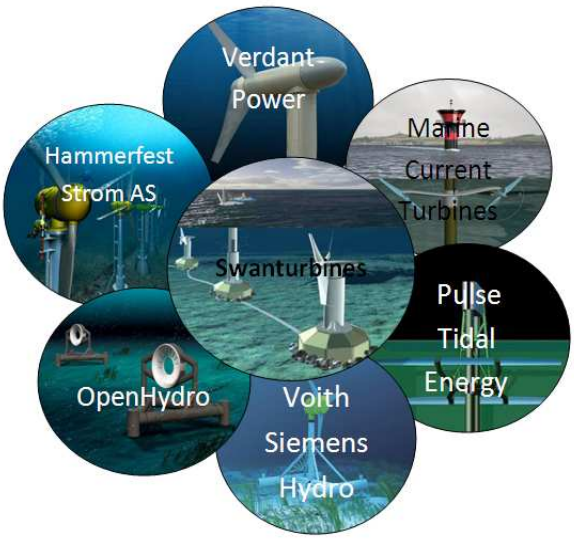


Figura 3. Diversos sistemas de aproveitamento de energia das ondas de maré.

3.2. Tecnologias em Estudo

Das diversas tecnologias existentes para o aproveitamento da energia das marés foram estudadas para este trabalho apenas duas: a Seagen da Marine Current Turbines e a Free Flow Turbine da Verdant Power.

3.2.1. Marine Current Turbines

A Marine Current Turbines Ltd (MCT), (http://www.marineturbines.com/company.htm) é uma das empresas líderes no desenvolvimento de tecnologias de aproveitamento das correntes de marés a larga escala. Esta empresa trabalha com o apoio de parceiros empresariais estratégicos e do governo do Reino Unido.

A MCT desenvolveu uma primeira geração de turbinas, a Seaflow, com 11 m de diâmetro e com capacidade de 300 kW. Posteriormente, desenvolveu uma segunda geração, as turbinas Seagen, de 16 m de diâmetro e capacidade de 1.2 MW.

A Seagen, ilustrada na Figura 4, é caracterizada por ter dois rotores ligados num braço, perpendicular ao pilar que suporta toda a estrutura. A existência de dois rotores permite reduzir o custo de produção de energia face ao investimento. De salientar que os dois rotores rodam em sentidos opostos de forma a reduzir a interacção dos movimentos da água resultante do movimento das hélices.

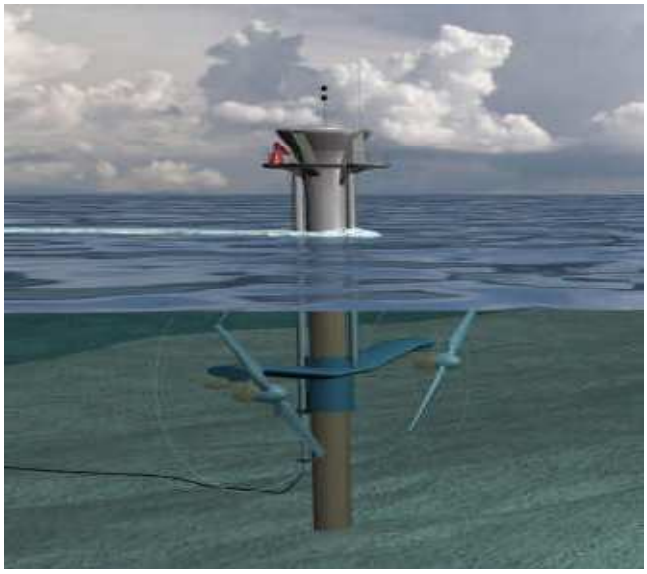


Figura 4. Seagen da Marine Current Turbines *(artist impression)*.

Cada rotor tem 16 m de diâmetro e capacidade de 600 kW, tendo uma eficiência de 47%.

Esta tecnologia pode efectuar um movimento de rotação (até 180º), o que possibilita retirar o máximo proveito da corrente de enchente e da corrente de vazante das marés.

Esta tecnologia requer características específicas no local da sua instalação, tais como, profundidades entre 20 e 50 m e intensidade da velocidade da corrente óptima entre os 2,0 e os 2,3 m/s. A velocidade de corrente mínima para funcionamento é de 0,7 m/s, isto é, abaixo deste valor a turbina não funciona e inversamente, começa a funcionar para correntes superiores, retirando só o máximo de rendimento ao atingir as velocidades médias referidas. Para velocidades da corrente com intensidade superior a 4,8 m/s a turbina pára.

O processo de manutenção desta tecnologia é relativamente simples, uma vez que o braço que contém os dois rotores sobe até à superfície da água, reduzindo assim os custos deste processo e facilitando-o.

3.2.2. Verdant Power

Fundada em Março de 2000, a Verdant Power (http://verdantpower.com) é uma grande revelação em sistemas de energia hidroeléctrica. A posição de liderança desta empresa é demonstrada pelo projecto RITE (Roosevelt Island Tidal Energy) no rio Hudson em Nova Iorque, precursor de um projecto comercial, que construiu e testou turbinas (Free Flow).

Tal como a Seagen, a Free Flow Turbine tem a capacidade de poder rodar até 180º. Este sistema é constituído por um único rotor com três pás de diâmetro de 5 m. A velocidade máxima de 32 rpm admitida, proporciona uma passagem segura para os peixes e animais marinhos, e uma elevada eficiência para uma vasta gama de velocidades, Figura 5.

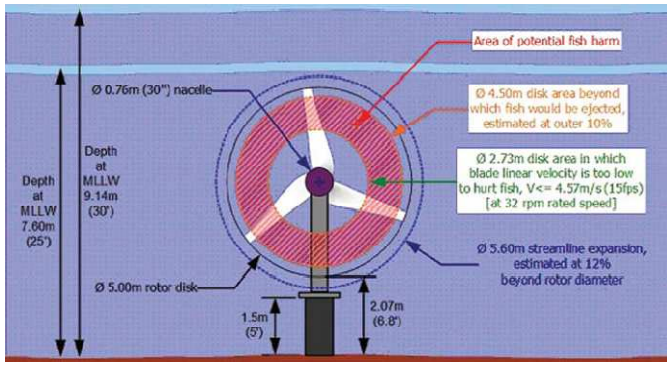


Figura 5. Free Flow e suas dimensões (http://verdantpower.com/wp-content/themes/Verdant/downloads/VerdantPower.pdf).

Esta tecnologia tem a sua utilização óptima para uma velocidade da corrente com intensidade de 2 m/s ou superior e pode ser instalada em locais com uma profundidade mínima de 9 m.

A sua eficiência é de 40%, abaixo da Seagen da Marine Current Turbines. Tem como vantagens um baixo impacto ambiental e o facto de não obstruir a navegação em locais com profundidade considerável. Contudo, o processo de manutenção da turbina Free Flow é mais complexo do que a da MCT.

4. Aproveitamento da Energia da Maré na Ria Formosa

4.1. Metodologia

A instalação de uma dada tecnologia maremotriz num sistema costeiro carece de um estudo prévio, de forma a encontrar os potenciais locais, onde se possa extrair eficientemente a energia.

Estes devem ser escolhidos com base numa série de requisitos dos quais se enumeram os seguintes: a profundidade local, a intensidade da velocidade da corrente, a navegabilidade, as características do ecossistema e do solo, a eficiência e a rentabilidade dos sistemas, entre outros.

No âmbito deste trabalho efectuou-se um estudo das características hidrodinâmicas da ria Formosa tendo em conta esse fim. Os outros aspectos, relacionados com o impacto, geologia, etc., teriam de ser alvo de um estudo mais aprofundado que sai do âmbito deste trabalho.

4.2. Modelo Numérico

A identificação dos locais óptimos para instalação de sistemas de aproveitamento da energia da maré teve como base os resultados da simulação do modelo numérico ELCIRC (Dias *et al.*, 2009).

O ELCIRC é um modelo hidrodinâmico 3D baroclínico (Zhang *et al.*, 2004), mas foi usado em modo 2DH barotrópico no âmbito deste estudo, o que é adequado para descrever a propagação de uma onda longa (ex. a onda de maré). As equações do modelo são discretizadas no espaço combinando métodos de diferenças finitas e volumes finitos, utilizando elementos triangulares.

As condições ao longo da fronteira aberta foram obtidas por interpolação dos resultados do modelo regional de maré de Fortunato *et al.* (2002). Depois de uma fase de calibração, Dias *et al.* (2009), o modelo foi corrido para um ciclo de marés vivas/marés mortas para obter em cada ponto da malha a elevação da superfície livre da água e as componentes horizontais da velocidade média na vertical, u e v.

A Figura 6 representa a malha triangular de elementos finitos à qual estão referenciadas as profundidades e o campo de velocidades. A malha tem uma dimensão variável, sendo mais fina no interior da ria Formosa, e é constituída por 16.216 nós.

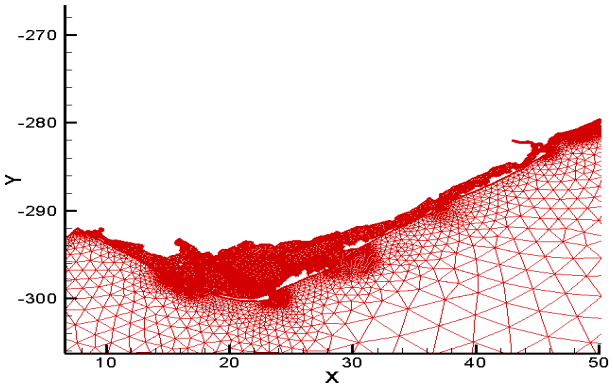


Figura 6. Malha triangular de elementos finitos.

Os resultados numéricos consistem em ficheiros que contêm para cada componente da maré e nos 16.216 nós da malha os valores das posições x e y, a amplitude das componentes da velocidade u e v integradas na vertical, respectivas fases e o módulo da velocidade U ($|\vec{U}| = U = \sqrt{u^2 + v^2}$). Estes resultados foram validados mediante a comparação com medições *in situ* (Dias *et al.*, 2009).

4.3. A Maré na Ria Formosa

A onda de maré observada num dado local do oceano pode ser interpretada como a soma de vários constituintes harmónicos de marés parciais, tendo cada, um período correspondente a um componente astronómico decorrente da interacção gravitacional entre a Terra, o Sol e a Lua.

São 390 os constituintes harmónicos identificados (E. Brown & Dark, 1999), mas apenas 9 são mais importantes: 4 semi-diurnos, 3 diurnos e 2 de longo período, Quadro 1.

Quadro 1. As componentes principais da maré astronómica.

Componente da maré	Símbolo	Período (h)
Semi-diurna:		
Principal lunar	M_2	12.42
Principal solar	S_2	12.00
Elíptica lunar larga	N_2	12.66
Luni-solar	K_2	11.97
Diurna:		
Luni-solar	K_1	23.93
Principal lunar	O_1	25.82
Principal solar	P_1	24.07
Longo Período:		
Lunar quinzenal	MS_f	327.86
Lunar mensal	M_m	661.30

Para além das componentes astronómicas, existem componentes denominadas de maré terrestre que resultam da interacção da propagação da onda com o fundo, e por isso tornam-se importantes em locais de pequena profundidade. Estas componentes (por exemplo, a M_4 e M_6) apresentam períodos de oscilação que são submúltiplos do período da constituinte principal M_2.

Na Figura 7 encontram-se representadas as distribuições espaciais das amplitudes das componentes harmónicas correspondentes à intensidade de corrente de maré. Analisando a distribuição das várias componentes da maré na ria Formosa, verifica-se que as que contribuem mais para a maré real são a M_2, a M_4 e a S_2.

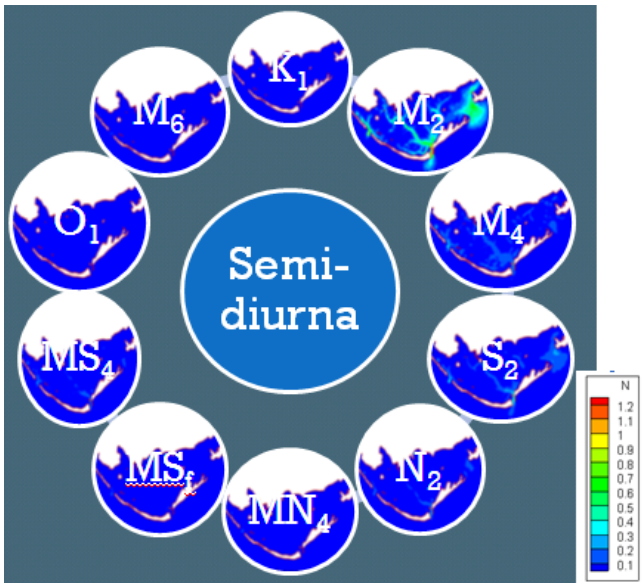


Figura 7. Amplitude das componentes harmónicas da intensidade de componente de maré K_1, M_2, M_4, S_2, N_2, MN_4, MS_f, MS_4, O_1 e M_6.

A ria Formosa pode ser classificada de acordo com a altura máxima da onda de maré, H_{max}, sendo denominada de mesomaré ($2 < H_{max} < 4$m) (Salles *et al.*, 2005). Pode ainda ser caracterizada pelo seu número de forma (N_f), calculado em termos das amplitudes dos constituintes harmónicos (K_1, O_1, M_2, S_2), mostrando ser neste caso do tipo semidiurna ($0 < N_f < 0.25$).

4.4. Requisitos Necessários

4.4.1 .Profundidade

Na implementação de um sistema de aproveitamento da energia da maré um dos factores essenciais é a profundidade, pois cada tecnologia requer uma profundidade mínima para poder ser instalada.

Das tecnologias apresentadas anteriormente, a Seagen da MCT requer uma profundidade mínima de 20 m e máxima de 50 m, enquanto que a Free Flow da Verdant Power requer uma profundidade mínima de 9 m.

Na Figura 8 estão indicadas as zonas com mais de 9 m de profundidade onde poderão ser instaladas, numa primeira abordagem, as duas tecnologias. Estas zonas estendem-se a toda a plataforma continental adjacente à ria e a alguns locais no seu interior.

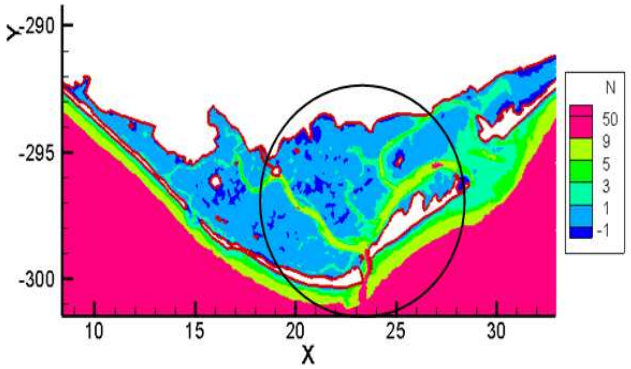


Figura 8. Batimetria da ria Formosa.

A Figura 9 indica mais em pormenor os possíveis locais de instalação da tecnologia Verdant Power na ria Formosa, sendo delimitados com círculos os locais com uma profundidade igual ou superior a 9 m.

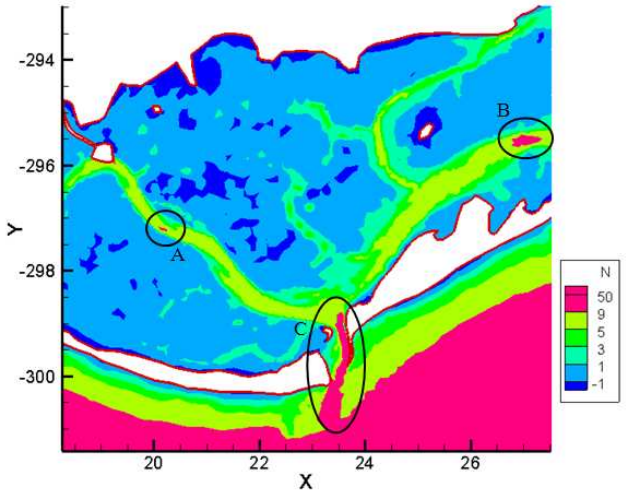


Figura 9. Batimetria da ria Formosa ilustrando os locais para aplicabilidade da turbina da Free Flow.

Os locais com profundidades superiores a 20 m, que permitem a instalação da tecnologia MCT estão assinalados na Figura 10.

As regiões designados de C, D e E, nas Figuras 9 e 10, constituem os pontos possíveis para instalação das tecnologias referidas. Estas zonas correspondem ao canal de entrada de Faro.

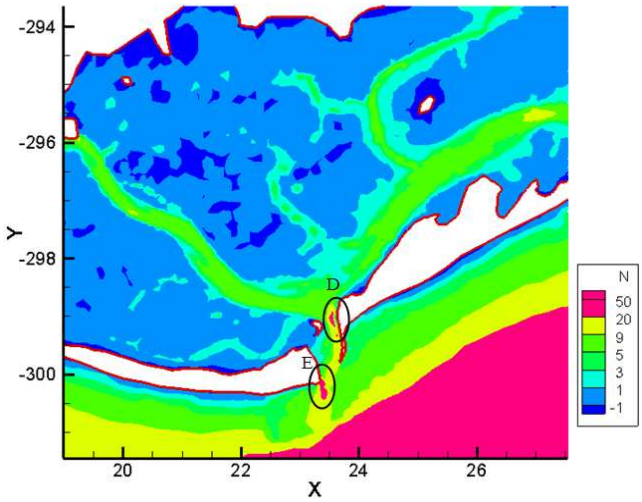


Figura 10. Batimetria da ria Formosa ilustrando os locais para aplicabilidade da Seagen.

4.4.2. Campo de Velocidades

De forma a identificar os locais de possível instalação das tecnologias referidas atendendo à intensidade da corrente de maré, foram avaliados os valores médios, máximos e mínimos da intensidade da corrente integrada na vertical assim como as direcções preferenciais de enchente e de vazante.

Para esse efeito efectuou-se a síntese harmónica para cada componente da velocidade (u e v), considerando apenas as componentes mais importantes da maré (M_2, M_4 e S_2) e para um intervalo de tempo de 30 dias.

Nas Figuras 11 e 12 apresentam-se as séries temporais dos valores de u e v para um ponto situado no *inlet* de Faro para um tempo de 5 dias. Verifica-se que as correntes de maré no *inlet* estão bastantes polarizadas sendo a componente v predominante.

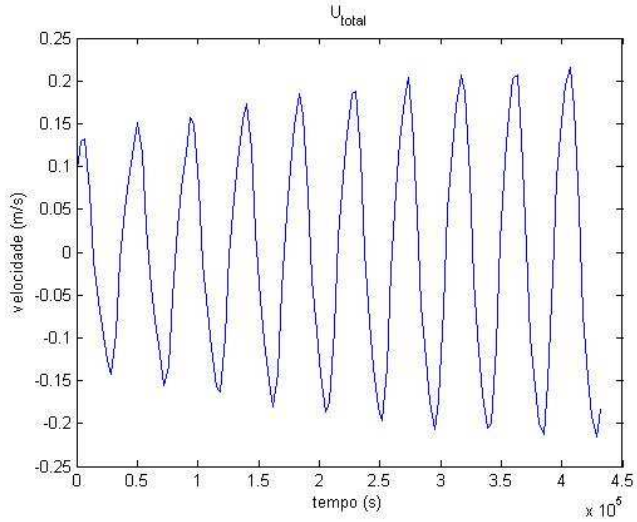


Figura 11. Série temporal de u (m/s) calculada num ponto no *inlet* de Faro.

A Figura 13 ilustra as distribuições espaciais da intensidade média da corrente, $\left|\vec{U}_{médio}\right|$ para o subdomínio representado nas Figuras 9 e 10.

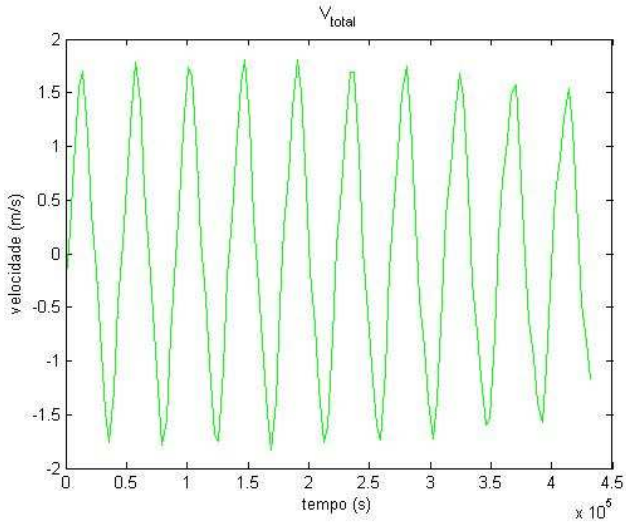


Figura 12. Série temporal de v (m/s) calculada num ponto no *inlet* de Faro.

Os locais com velocidades médias superiores a 0.7 m/s, valor a partir do qual o sistema Seagen começa a trabalhar (assume-se o mesmo valor para a Free Flow) foram representados a vermelho, consoante a escala apresentada.

Note-se que o valor médio da intensidade da velocidade esperada para o local é indicativo do tempo de funcionamento do sistema, e consequentemente da sua rentabilidade.

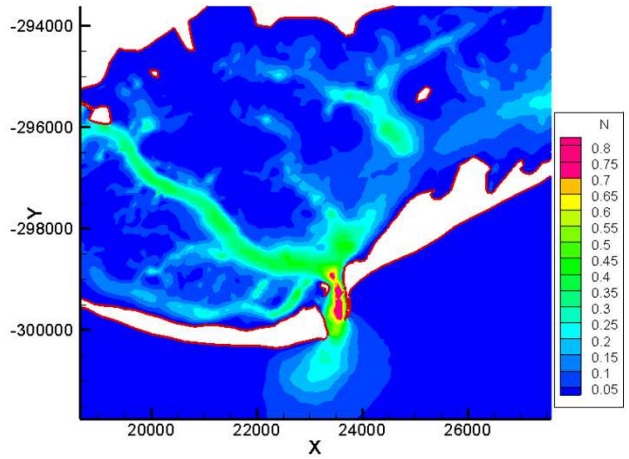


Figura 13. Distribuição espacial de $|\vec{U}|_{médio}$ (m/s).

Cruzando a informação da Figura 13 com a obtida anteriormente, Figuras 9 e 10, verifica-se que os locais para extracção eficiente da energia das marés para a primeira tecnologia são os representados na zona C da Figura 9 e os da zona D da Figura 10, para a segunda tecnologia.

Os valores da velocidade máxima na zona em estudo estão representados na Figura 14.

Verifica-se que a velocidade máxima não representa um obstáculo à implementação das tecnologias em estudo na ria Formosa, pois não ultrapassa os 2 m/s não atingindo assim os valores máximos limites permitidos pelas tecnologias.

4.5. Navegabilidade

A navegabilidade é um factor importante quando se pretende submergir uma turbina, na medida em que pode constituir um obstáculo a esta actividade.

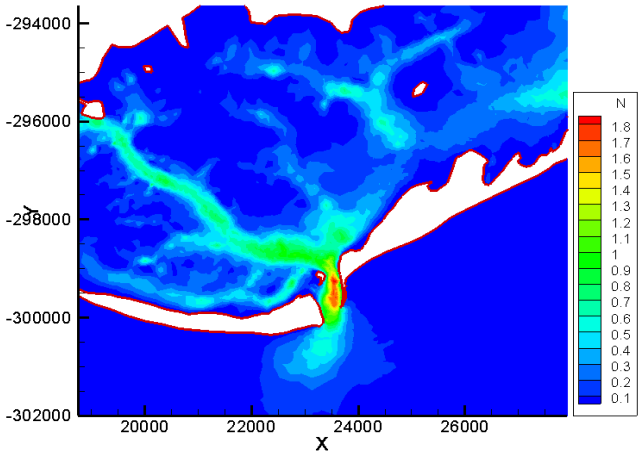


Figura 14. Distribuição espacial de $|\vec{U}|_{max}$ (m/s).

A ria Formosa não é muito profunda mesmo nos canais de acesso aos portos de Faro e Olhão, pelo que a circulação de navios de grande porte (quer de transporte de mercadorias ou turísticos) está muito limitada.

Na ria Formosa circulam embarcações de três tipos: comércio, pesca e de recreio. As embarcações de comércio dedicam-se ao transporte de passageiros e de produtos alimentares para as populações das ilhas. As de pesca têm comprimento inferior a 9 m, sendo embarcações de boca aberta. Os barcos de recreio são empregues em actividades lúdicas e na deslocação dos seus proprietários para as praias das ilhas.

Para navegar neste sistema lagunar, os barcos devem ter uma querena com menos de 4 m (segundo informações fornecidas pela Polícia Marítima e Capitania de Faro). Desta forma, pode-se dizer que o funcionamento das tecnologias não deve interferir com a navegabilidade no canal de Faro (principalmente no caso do sistema Free Flow) pois encontram-se em locais profundos comparativamente com a querena dos barcos.

Contudo, esta análise deveria ter em consideração a compatibilidade de cada tecnologia com as embarcações, isto é, a distância de segurança que permite a passagem das embarcações, cujo valor não é conhecido.

4.6. Ecossistemas

A forma de aproveitamento da energia da maré com recurso a tecnologias semelhantes às turbinas eólicas não é tão prejudicial para o ecossistema estuarino ou lagunar como o recurso a uma barragem mareomotriz.

O Parque Natural da ria Formosa tem uma grande diversidade de ecossistemas, assumindo nomeadamente uma importância a nível internacional como habitat de aves aquáticas e abrigo de espécies raras.

A ria Formosa apresenta como espécies animais 284 espécies de moluscos, 79 de peixes, 15 de répteis, 11 de anfíbios, 214 de aves e 18 de mamíferos, segundo o ICN (Instituto de Conservação da Natureza).

Sendo as tecnologias a aplicar, dispositivos que não alteraram as propriedades físicas da água (por exemplo, a salinidade, a temperatura, concentrações, …) e a vida aquática, à partida, pode-se dizer que não vão interferir com os ecossistemas e as características que tornam a ria Formosa num sistema lagunar único.

5. Conclusões e Trabalho Futuro

Os impactos ambientais decorrentes da exploração de recursos fósseis para produção de energia constituem actualmente um problema fundamental na sustentabilidade da sociedade em que nos inserimos.

São várias as formas que os governos adoptam para tentar combater este problema, com novas políticas de emissão, reduzindo os impostos dos veículos menos poluentes, dando incentivos à investigação e desenvolvimento de formas de extracção de energia proveniente de fontes naturais e limpas, entre outros.

Em Portugal a área das energias renováveis ainda não se encontra desenvolvida em alguns sectores, nomeadamente o das marés. O presente trabalho enquadra-se na avaliação deste recurso em sistemas costeiros da costa portuguesa e tem como objecto de estudo a ria Formosa. Pretendeu-se com este estudo pioneiro constituir uma base de dados de informações da ria Formosa no que respeita à aplicabilidade de um projecto desta dimensão.

A ria Formosa é um sistema lagunar com um conjunto de ilhas-barreiras a separá-la do Oceano Atlântico, Por ser constituída por diversos canais e estreitamentos onde a velocidade da corrente durante as fases de enchente e de vazante da maré é elevada, a ria Formosa constitui um objecto de estudo adequado para aproveitamento da energia das marés.

Com base nas características físicas (profundidade) e hidrodinâmicas (campo de velocidades) deste sistema, foram estudados os locais possíveis para implementação de duas tecnologias: a Verdant Power (Free Flow Turbine) e a Seagen da Marine Current Turbines.

Os resultados obtidos mostram que o canal de entrada principal de Faro, entre as ilhas da Barreta e da Culatra representa um local apropriado para a instalação da Free Flow, demarcado na Figura 9 pela região C, e para a Seagen, definido na Figura 10 pela região D.

Os resultados apresentados carecem de um estudo mais aprofundado atendendo a outros factores cruciais num estudo deste género, nomeadamente, a navegabilidade e o impacto no ecossistema.

Estes factores serão alvo do trabalho futuro a desenvolver, assim como o estudo de avaliação da rentabilidade das tecnologias atendendo ao seu período de funcionamento em escoamentos oscilatórios, como é o caso das correntes de maré.

Referências

Brown, E. & Dark, D. (1999). *Waves, Tides and Shallow-Water Processes*, The Open University, England.

Dias, J.M.; Sousa, M.C.; Bertin X., Fortunato, A.B. & Oliveira A. (2009). Numerical Modelling of the impact of the Ancão Inlet relocation (ria Formosa, Portugal). *Environmental Modelling and Software*, 24 (6), 711-725.

Fortunato, A.B.; Pinto, L.; Oliveira, A. & Ferreira, J.S. (2002). Tidally generated shelf waves off the Western Iberian Coast. Continental Shelf Research 22 (14), 1935–1950.

Salles, P.; Voulgaris, G. & Aubrey, D.G. (2005). Contributions of nonlinear mechanisms in the persistence of multiple tidal inlet systems, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 65, 475-491.

Williams, J.J.; o'Connor, B.A.O.; Aren, S.M.; Abadie, S.; Bell, P.; Balouin, Y.; van Boxel, J.H.; Do Carmo, A.J.; Davidson, M.; Ferreira, Ó.; Heron, M.; Howa, H.; Hugues, Z.; Kaczmarek, L.M.; Kim, H.; Morris, B.; Nicholson, J.; Pan, S.; Salles, P.; Silva, A.; Smith, J.; Soares, C. & Vila-Concejo, A. (2003). Tidal inlet function: field evidence and numerical simulation in the India project. *Journal of Coastal Research*, 19, (1), 189-211.

Zhang, Y.; Baptista, A.M. & Myers, E.P. (2004). A cross-scale model for 3D baroclinic circulation in estuary-plume-shelf systems: I. Formulation and skill assessment. *Continental Shelf Research*, 110(10), 1431-1456.

http://www.marineturbines.com/company.htm

http://verdantpower.com/wp-content/themes/Verdant/downloads/VerdantPower.pdf

http://www.icn.pt/TurismoNatureza_anexos/PNRF.pdf

http://jsdfaro.no.sapo.pt/rformosa.htm

©2009, ISBN 978-972-99991-8-5

EFEITOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO LITORAL DE VIANA DO CASTELO

Effects of climate change on coastal groundwater resources of Viana do Castelo

JÚLIO F. FERREIRA DA SILVA [1], ALBERTO DA SILVA LIMA [2] & JOÃO GARCEZ MOREIRA [3]

[1] Doutor em Engenharia Civil, Prof. Auxiliar, DEC, [2] Professor Auxiliar, DCT
Universidade do Minho, Campus de Azurém 4800-058 Guimarães
juliofs@civil.uminho.pt; aslima@dct.uminho.pt

[3] Licenciado em Engenharia Civil, Chefe de Divisão de Águas dos Serviços Municipalizados de Viana do Castelo 4901-878 Viana do Castelo
j.garcez@smsbvc.pt

Resumo

Neste trabalho expor-se-ão as leis que regem o escoamento da água nos aquíferos do litoral e as metodologias para a determinação das quantidades máximas a extrair face a cada cenário de alteração climática. Estudar-se-ão os efeitos da redução do escoamento natural e da eventual subida do nível médio da água do mar (nmm) nas extracções da camada aquífera livre superficial da zona costeira de Viana do Castelo. Apresentar-se-á o modelo de gestão que resulta da associação de uma técnica de optimização e dum modelo de simulação do comportamento do aquífero. O modelo de optimização-simulação determina para cada cenário de alteração climática as extracções máximas permitidas num conjunto de captações. Os efeitos dessas alterações na posição da interface água doce/água salgada serão também quantificados. Para cada cenário são apresentadas curvas com as quantidades máximas que seriam possíveis extrair do aquífero em função do local de implantação. Estes resultados evidenciam a necessidade dum adequado planeamento da construção de captações nas zonas costeiras para que, antecipadamente, sejam evitados os efeitos nefastos das alterações climáticas.

Palavras-chave: Alterações climáticas, intrusão salina, gestão optimizada de águas subterrâneas.

Abstract

In this paper, the governing equations of the flow of water in coastal aquifers and the methodologies for the determination of maximum withdrawals for each climatic change scenario will be presented. The effects of reducing the baseflow and the sea level rise in the extraction of surface layer of coastal aquifer of Viana do Castelo will be studied. We will present the management model that results from a combination of an optimization technique and a simulation model of the aquifer. The optimization technique determines for each climate scenario the maximum permitted extraction in a set of wells. We will quantify the effects of these changes on the position of the interface freshwater/saltwater. For each scenario, curves with the maximum amounts that would be extracted from aquifer versus wells location will be presented. These results highlight the need for an adequate planning of the construction of wells in coastal areas that, in advance, can avoid the adverse effects of climate change.

Keywords: Climate change, seawater intrusion, optimal management of groundwater.

1. Introdução

Nos aquíferos costeiros coexistem em equilíbrio dinâmico os volumes de água doce continental e de água salgada marinha. As alterações climáticas, por exemplo uma seca prolongada ou a subida do nível médio da água do mar (nmm), provocam, inevitavelmente, mudanças na posição da interface entre a água doce e a água salobra/salgada. São diversos os trabalhos científicos que indicam como verosímeis a subida do nível médio da água do mar e do valor médio da precipitação, face ao aquecimento global, apesar de serem expectáveis episódios com chuvadas de elevada intensidade. A água presente nos aquíferos do litoral é, em geral, fácil de captar. São diversas as utilizações que procuram ter origens nestes aquíferos, desde a agricultura, o abastecimento público, os campos de golfe, etc.

As alterações climáticas devem ser consideradas nas políticas e estratégias de planeamento e de gestão da água disponível nas regiões costeiras, dado que influenciarão as futuras solicitações e a disponibilidade de água doce nestas regiões vulneráveis. Entretanto, qualquer que seja o valor da subida do nível médio da água do mar, se nada for feito, este fenómeno provocará o avanço para o continente da intrusão marinha e a subsequente redução das reservas de água doce subterrânea.

Para fazer face à variação do nível médio da água do mar, os sistemas de captação e de abastecimento de água implantados em zonas costeiras devem ser concebidos, dimensionados e geridos para que o fenómeno da intrusão salina seja evitado ou mantido sob controlo.

Os planeadores devem examinar cuidadosamente o número de captações necessário, os respectivos locais de implantação e as quantidades a extrair em cada um, para que seja garantida a solicitação de água e maximizado o resultado económico. Estas decisões poderão ser melhor fundamentadas recorrendo a um conjunto de ferramentas de optimização e de simulação que, interligadas, procuram as melhores soluções e antecipam o comportamento dos sistemas hídricos envolvidos.

O modelo desenvolvido por Ranjan *et al.* (2006) simula a redução de disponibilidade de água doce subterrânea em aquíferos costeiros face às alterações climáticas e ao uso do solo. As análises desenvolvidas evidenciam que os resultados do modelo são muito sensíveis a alterações na condutividade hidráulica e na recarga de aquíferos. Scibek *et al.* (2007) usam três cenários climáticos para estimar os impactos futuros das alterações climáticas sobre as águas subterrâneas e suas interacções com águas superficiais no aquífero livre Grand Forks no Centro-Sul da Colômbia Britânica, Canada. Em Ferreira da Silva *et al.* (2007a, b e c) é feita a análise do problema da localização e da gestão optimizadas de um conjunto de captações implantadas num aquífero costeiro e do respectivo sistema de controlo de intrusão de água marinha, de forma a maximizar a extracção de água, mantendo a interface água doce/água salobra para além duma distância de segurança. Em Ferreira da Silva (2006a e b) caracteriza-se de forma teórica o problema da gestão de aquíferos do litoral face às alterações climáticas e aplica-se o modelo de gestão apresentado a um aquífero genérico.

2. Identificação do problema e metodologia de resolução

Os Serviços Municipalizados de Viana do Castelo possuem na Vila da Anha um conjunto de captações de água subterrânea por furo que, actualmente, se encontram na sua maioria abandonadas e que poderão, mesmo que parcialmente, ser utilizadas como origens para usos diversos dos inicialmente projectados como a rega de jardins, lavagem de ruas, etc. Os princípios orientadores da gestão racional e optimizada aconselham a utilização da toda a água doce disponível nas zonas costeiras. O recurso à água captada dos furos abandonados, para usos menos exigentes em termos de qualidade, liberta outras origens, com água de melhor qualidade, para a distribuição domiciliária. Dada a proximidade ao mar do local de implantação das captações interessa, também, estudar os efeitos das alterações climáticas, designadamente da eventual subida do nível médio da água do mar (nmm) e da redução do escoamento natural no aquífero, nas quantidades que poderão ser extraídas, mantendo sob controlo a intrusão marinha. O nmm e a recarga natural dos aquíferos são parâmetros fundamentais que condicionam o equilíbrio dinâmico entre os volumes de água doce e de água salgada marinha que coexistem nos aquíferos costeiros. A subida do nmm e a redução da recarga impelem a interface água doce/água salgada no sentido do continente, reduzindo as disponibilidades de água doce. Estas mudanças constituem um problema que é necessário estudar para que se possa antever o comportamento dos sistemas hídricos e projectar medidas mitigadoras.

Assim, pretende conhecer-se os efeitos destas alterações climáticas na quantidade de água doce que é possível extrair de aquíferos costeiros, impedindo a invasão dos pontos de controlo pela água salobra/salgada marinha.

Para mitigar os eventuais efeitos das alterações climáticas poderão ser implementadas medidas de concepção e de gestão dos sistemas de captação que se relacionam, por exemplo, com a adequada implantação das captações e com a limitação das extracções. Interessa, portanto, fazer a projecção da extracção máxima permitida em cada eventual local de captação, face a cada cenário de subida do nível médio da água do mar e da redução do escoamento natural no aquífero. Dada a incerteza associada à projecção das alterações climáticas o estudo realizado teve como propósito cobrir um leque de eventuais cenários, pelo que o modelo de gestão (ou de optimização-simulação) é chamado a encontrar as extracções máximas para cada eventual local de implantação de um conjunto de captações, para cada valor do nível médio da água do mar, para cada cenário do escoamento natural e para cada distância de segurança. Assim, as sucessivas execuções do modelo de gestão varrem os valores compreendidos nos intervalos:

$$0 \le \Delta h \le \Delta h_{\max} \quad [1]$$

$$x_{s,\min} \le x_s \le x_{s,\max} \quad [2]$$

$$ds_{\min} \le ds \le ds_{\max} \quad [3]$$

em que Δh e $\Delta h_{\text{máx}}$ representam a subida do nível médio da água do mar e o seu valor máximo; x_s, $x_{s,\text{mín}}$ e $x_{s,\text{máx}}$ a distância das captações subterrâneas à linha de costa e os respectivos limites e ds a distância de segurança.

A distância de segurança (ds) representa o afastamento que se pretende garantir entre o pé da interface e o ponto de controlo, eventualmente a captação central.

Na Figura 1 está esquematicamente representado um sistema de captação de água num aquífero costeiro, o desenho típico do pé da interface (intercepção da interface com a base do aquífero) e a distância de segurança (ds).

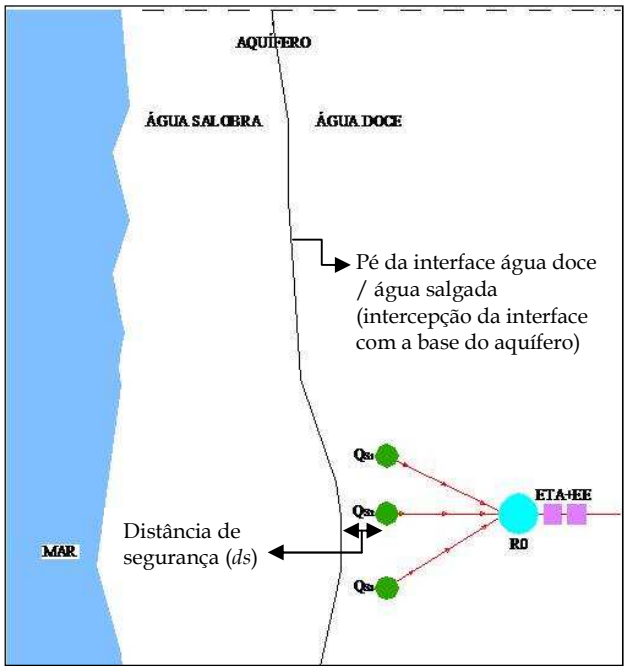


Figura 1. Esquema de sistema de captação em aquífero costeiro.

3. Modelo de gestão

3.1. Descrição geral

Para procurar a melhor estratégia de gestão do sistema hídrico costeiro é necessário recorrer a técnicas de optimização e ligá-las a modelos de simulação do escoamento que definam a posição da interface água doce/água salgada. Neste processo de procura são testadas inúmeras eventuais soluções. Assim, na selecção dos modelos matemáticos/numéricos para a simulação da intrusão salina não deve esquecer-se que o objectivo é obter em tempo útil as melhores soluções para cada um dos diversos cenários simulados.

Os modelos de interface brusca, Essaid (1990), são mais conservadores, isto é, fornecem valores do lado da segurança na definição da posição da interface água doce/água salgada. No caso de aquíferos homogéneos a solução defendida por Strack (1989) apresenta vantagens pela economia de cálculos.

Em Ferreira da Silva (2003) defende-se uma metodologia que associa métodos de optimização e modelos de simulação da intrusão marinha, em cascata, num grau de complexidade crescente.

3.2. Formulação matemática do problema

O objectivo é matematicamente representado pela maximização das extracções:

$$\max Z = \sum_{s=1}^{N_s} Q_s \qquad [4]$$

em que Q_s representa a extracção em cada captação s e Ns o número total de captações.

O controlo da intrusão salina no aquífero será realizado impondo um valor máximo para a distância entre o "pé" da interface e os pontos de controlo, ou seja, controlando a distância de segurança (ds).

Pretendendo implantar um conjunto de captações em linha, então os pontos de controlo serão as captações centrais.

Exigindo que um determinado valor da distância de segurança seja respeitado, então limitar-se-á o avanço do pé da interface a:

$$\left(x_{pe}\right)_s \le \left(x_{pc}\right)_s - \left(ds\right)_s \quad \forall s,\ s=1,2,\ldots,N_{pc} \qquad [5]$$

em que $(x_{pe})_s$ representa a distância do pé da interface à linha de costa; x_{pc} a distância do ponto de controlo à linha de costa; ds a distância de segurança admissível entre a interface e o ponto de controlo e N_{pc} o número de pontos de controlo.

As outras restrições são relativas aos limites de extracção de cada captação e às cotas piezométricas mínimas:

$$Q_{i,\min} \le Q_i \le Q_{i,\max} \qquad i = 1, \ldots, N_s \qquad [6]$$

$$h_s \ge h_0 \qquad s = 1, \ldots, N_s \qquad [7]$$

em que $Q_{i,\text{mín}}$ e $Q_{i,\text{máx}}$ representam os limites de extracção em cada origem; N_s o número de origens subterrâneas; h_s a cota piezométrica na captação s e h_0 a cota piezométrica mínima admissível.

3.3. Modelos de simulação da intrusão salina

As equações que caracterizam o escoamento num sistema aquífero costeiro podem ser definidas aplicando a expressão de Darcy a cada lado da interface:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\left(K_{xx}\right)_d \frac{\partial h_d}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\left(K_{yy}\right)_d \frac{\partial h_d}{\partial y}\right] - \frac{\partial}{\partial z}\left[\left(K_{zz}\right)_d \frac{\partial h_d}{\partial z}\right] + Q_d = S_d \frac{\partial h_d}{\partial t} \qquad [8]$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\left(K_{xx}\right)_s \frac{\partial h_s}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\left(K_{yy}\right)_s \frac{\partial h_s}{\partial y}\right] - \frac{\partial}{\partial z}\left[\left(K_{zz}\right)_s \frac{\partial h_s}{\partial z}\right] + Q_s = S_s \frac{\partial h_s}{\partial t} \qquad [9]$$

em que x, y representam as coordenadas, d a água doce; s a água salgada; h a altura piezométrica, Q o caudal extraído ou injectado, S o coeficiente de armazenamento e t o tempo.

A resolução da equação diferencial que caracteriza o escoamento pode realizar-se por via analítica, nalguns casos, e mais genericamente por via numérica.

É aconselhável que o estudo de sistemas complexos e de grande dimensão se inicie com o recurso a modelos conceptuais simples para numa segunda fase ser usado um modelo numérico, necessariamente mais refinado.

Strack (1989) desenvolveu uma solução exacta para caracterizar o escoamento em aquíferos costeiros com uma linha de costa recta, diversas captações localizadas a x_i do mar e o respectivo caudal Q_i. O potencial é definido, usando o método das imagens, por:

$$\phi = \frac{q}{K} x + \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_i}{4\pi K} LN\left[\frac{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}{(x+x_i)^2 + (y-y_i)^2}\right] \qquad [10]$$

em que (x_i, y_i) e Q_i representam, respectivamente, as coordenadas e o caudal da captação i.

4. Aplicações à zona litoral de Viana do Castelo

Nos estudos seguintes admitir-se-á que três captações subterrâneas distando entre si 1000 m serão implantadas na camada aquífera superficial da Veiga da Anha no litoral de Viana do Castelo.

O problema que aqui se pretende resolver consiste em determinar qual será a extracção máxima no conjunto de três captações para que seja assegurado o controlo da intrusão salina, ou seja para manter a interface água doce/água salobra para além duma distância de segurança, em função do local de implantação e face ao aumento do nível médio da água do mar e à redução do escoamento natural.

4.1. Caracterização hidrogeológica do local

A caracterização hidrogeológica do local de estudo foi feita a partir da realização de ensaios de caudal e das respectivas medições de níveis, bem como da análise de estudos anteriores elaborados aquando da construção das antigas captações por furo existentes na Veiga da Anha e que são pertença dos Serviços Municipalizados de Saneamento Básico de Viana do Castelo.

A camada aquífera superficial apresenta uma condutividade hidráulica cujo valor médio pode quantificar-se como K=1,25 m/dia e escoamento específico actual q=0,1875 m³/m.dia. A altura actual da superfície do mar está 20 m acima da base da cobertura sedimentar (B=20,0 m).

4.2. Metodologia de análise dos efeitos das alterações climáticas

Nos estudos realizados admitiram-se diversos cenários para a subida do nível médio da água do mar, pelo que o modelo de gestão foi chamado a proceder a sucessivos cálculos para incrementos daquele parâmetro de 0,05 m (B_i=20,00; 20,05; ...; 21 m, ou seja, Δh=0; 0,05; ...; 1 m).

Admitindo que o escoamento específico actual é de 0,1875 m³/m.dia e uma redução máxima de 30% se a subida do nível médio da água do mar for de 1,0 m, então a relação entre o caudal por metro linear e a subida do nível médio da água do mar será:

$$q_m = 0{,}1875 - 0{,}056\Delta h \qquad [11]$$

em que q_m representa o valor médio expectável para o escoamento natural e Δh a subida do nível médio da água do mar.

4.3. Avanço da interface face à subida do nmm sem extracções no local

O modelo de simulação do comportamento do aquífero indica que nas circunstâncias actuais e não havendo qualquer extracção, o pé da interface localiza-se a 34,2 m da linha de costa.

Subindo sucessivamente o nível médio do mar (nmm) então o pé da interface vai avançando para o interior do continente. A distância do pé da interface à linha *versus* subida do nmm encontra-se representada na Figura 2. Na Figura 3 constam os valores do avanço do pé da interface, em valor absoluto e em percentagem, em função do aumento do nmm.

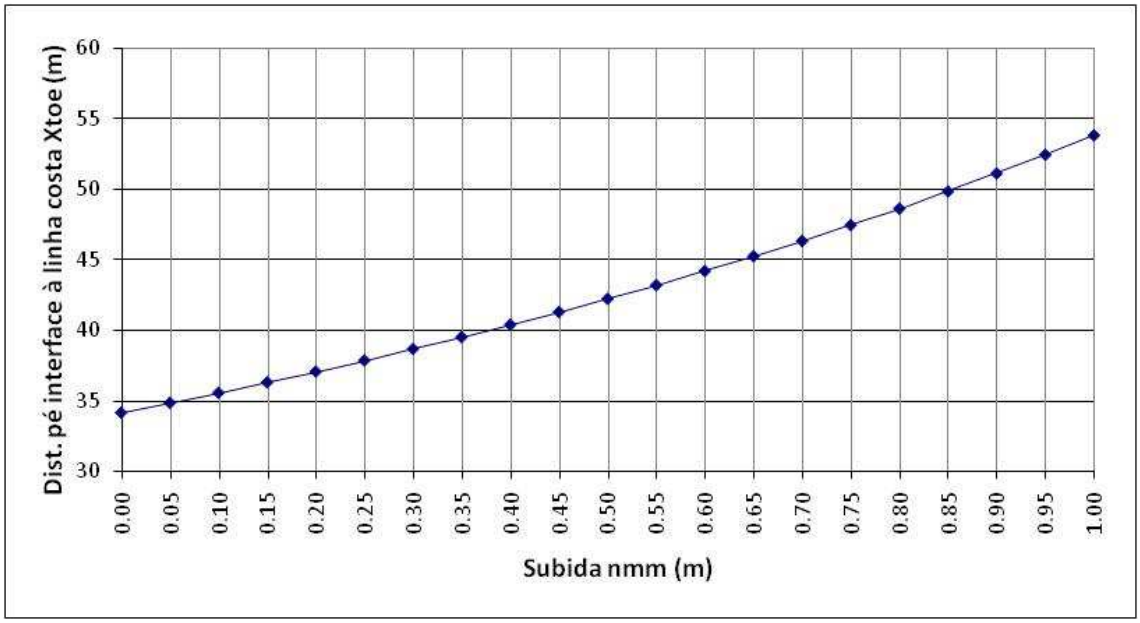


Figura 2. Distância do pé da interface à linha de costa *versus* subida do nível médio da água do mar.

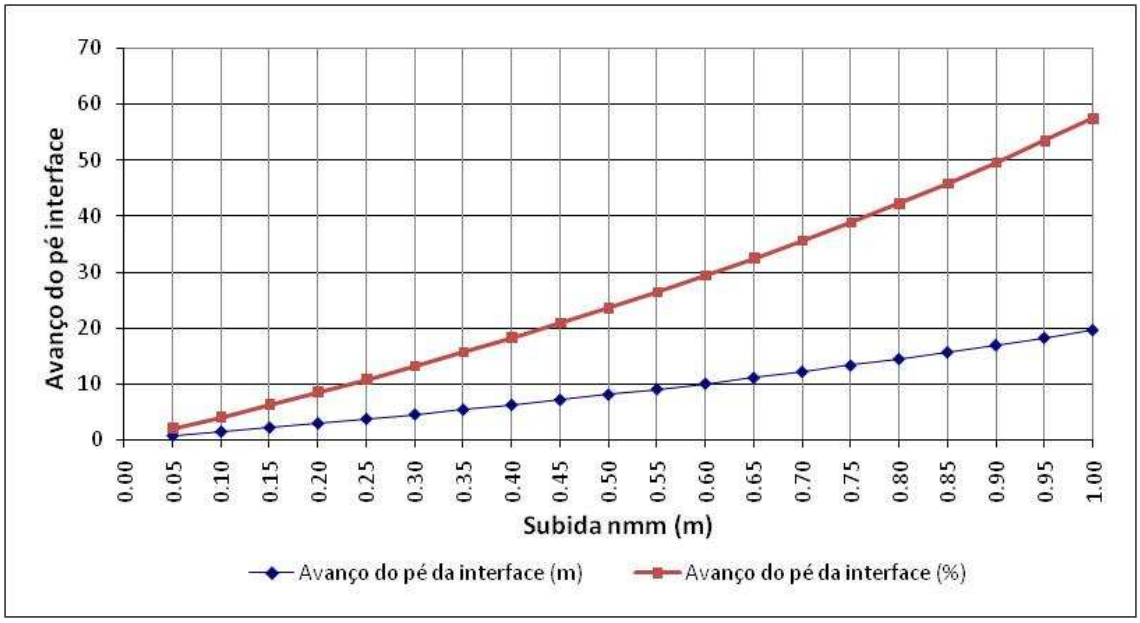


Figura 3. Avanço para o continente do pé da interface *versus* subida do nível médio da água do mar.

4.4. Quantidade máxima que pode ser extraída da camada aquífera superficial na situação actual

Neste item pretende determinar-se a quantidade máxima que é possível extrair nas condições actuais dum conjunto de três novas captações que podem constituir origens de água para utilizações como a rega e a lavagem de ruas. Esta tarefa permite, posteriormente, quantificar os efeitos das alterações climáticas, ou seja comparar as extracções máximas em cenário de ocorrência de alterações climáticas e na situação actual.

Na Figura 4 estão representadas as quantidades máximas que se podem extrair em cada eventual local de implantação das captações, identificado pela distância à linha de costa, em função da distância de segurança pretendida.

Se o decisor pretender reduzir o risco e aumentar a segurança das captações em relação à invasão pela água salobra, então isso providenciará uma redução na quantidade a extrair.

A Figura 5 indica, para cada eventual local de implantação do conjunto de captações, a distância de segurança a que correspondem as maiores extracções.

Implantando as captações em locais mais afastados do mar interessa manter a interface água doce/água salobra a distâncias maiores.

Por exemplo, pretendendo construir captações a 1300 m do mar interessa que o pé da interface diste da captação central 800 m.

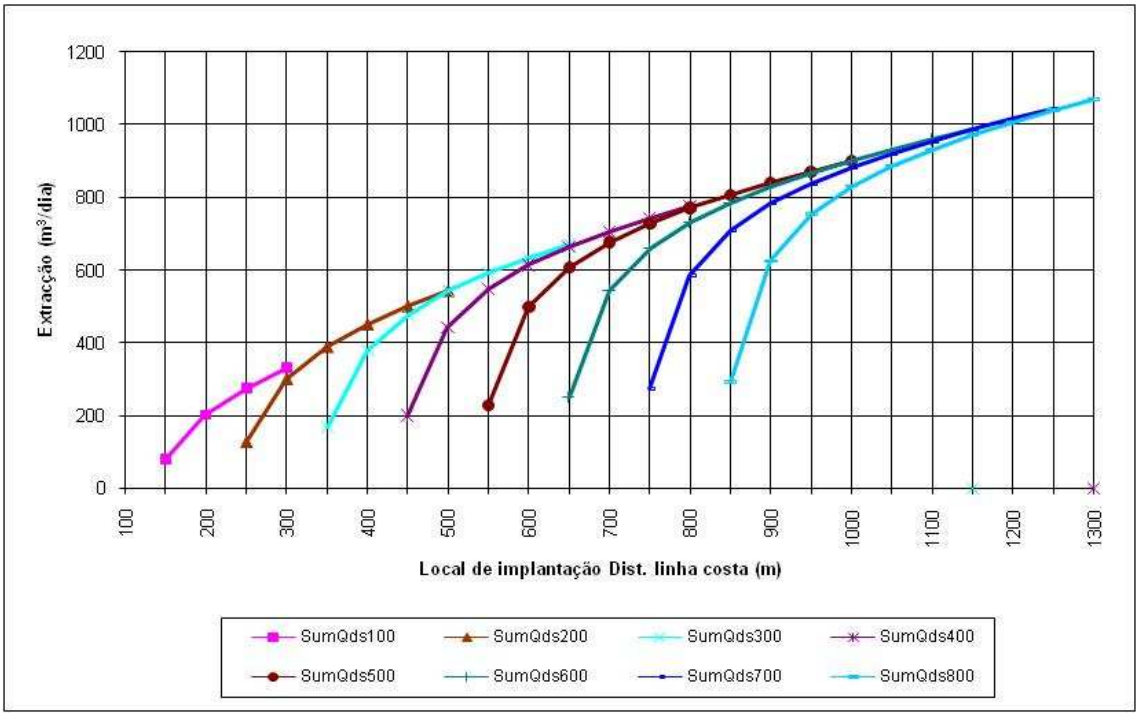


Figura 4. Extracção máxima em cada eventual local de implantação para cada distância de segurança.

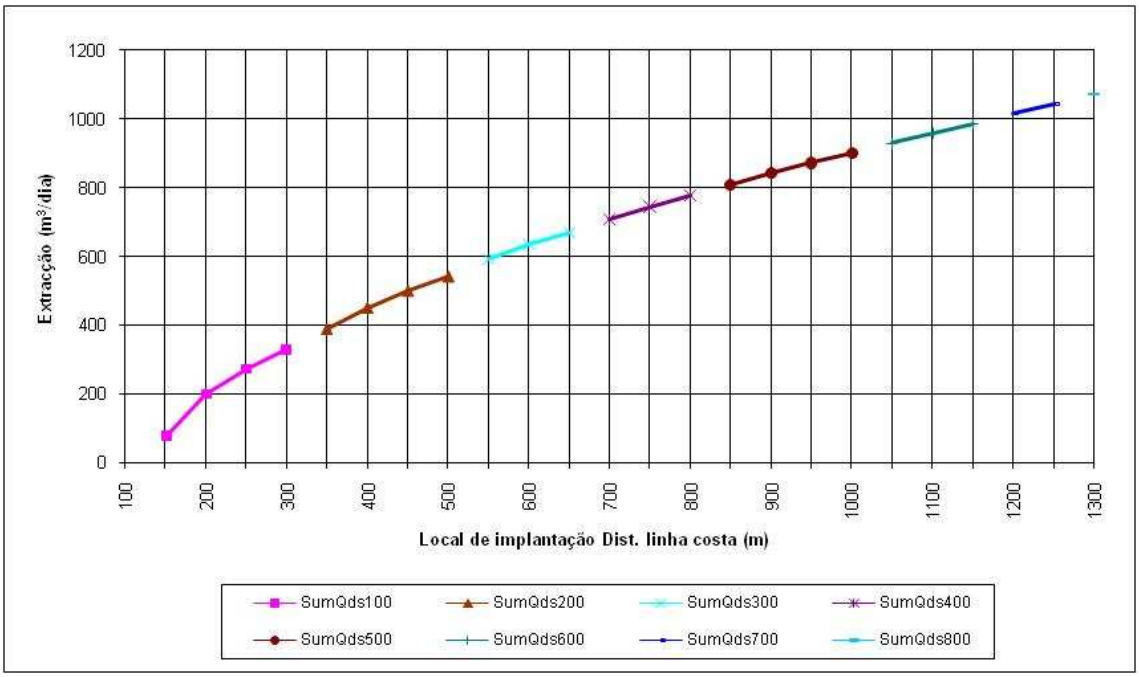


Figura 5. Extracção máxima em cada eventual local de implantação

Nestas figuras, SumQds100, SumQds200, …, SumQds800 indicam a soma dos caudais extraídos no conjunto das três captações quando a distância de segurança é *ds* = 100 m, 200 m, …, 800 m.

4.5. Quantidade máxima que pode ser extraída de três captações face à eventual subida do nmm e à redução do escoamento natural

Simulando a subida do nmm em 0,10 m e admitindo uma redução do escoamento natural calculada pela Equação [11], então as extracções máximas no conjunto das três captações versus local de implantação são as que constam na Figura 6.

A redução face à situação de referência, ou seja, em relação aos valores da extracção máxima que seriam permitidos na situação actual, encontra-se representada nas Figuras 7 e 8.

Os resultados evidenciam que as alterações climáticas, designadamente a eventual subida do nmm e da redução do escoamento natural, implicarão reduções nas extracções dos aquíferos costeiros que são função do local de implantação das captações.

O conhecimento da evolução do fenómeno da intrusão salina ao longo do sistema aquífero deve ser usado como critério de planeamento de novas obras. Estes efeitos das alterações climáticas nos aquíferos costeiros poderão ser atenuados com a adequada implantação das captações.

Na Figura 7 estão incluídos os locais onde, face à subida do nmm, deixa de ser possível captar com distância de segurança igual à inicial. Na Figura 8 retiraram-se estes primeiros pontos para mais fácil leitura das curvas de redução *versus* local de implantação.

A representação gráfica da evolução dos valores da redução da extracção máxima *versus* local de implantação, ajuda na percepção da necessidade de uma adequada política de gestão que vigile continuamente a evolução do fenómeno da intrusão marinha, em especial nos locais mais próximos da linha de costa.

Repetindo os procedimentos de cálculo anteriores mas simulando uma subida do nmm de 0,50 m os resultados dos efeitos destas novas condições encontram-se representados nas Figuras 9, 10 e 11.

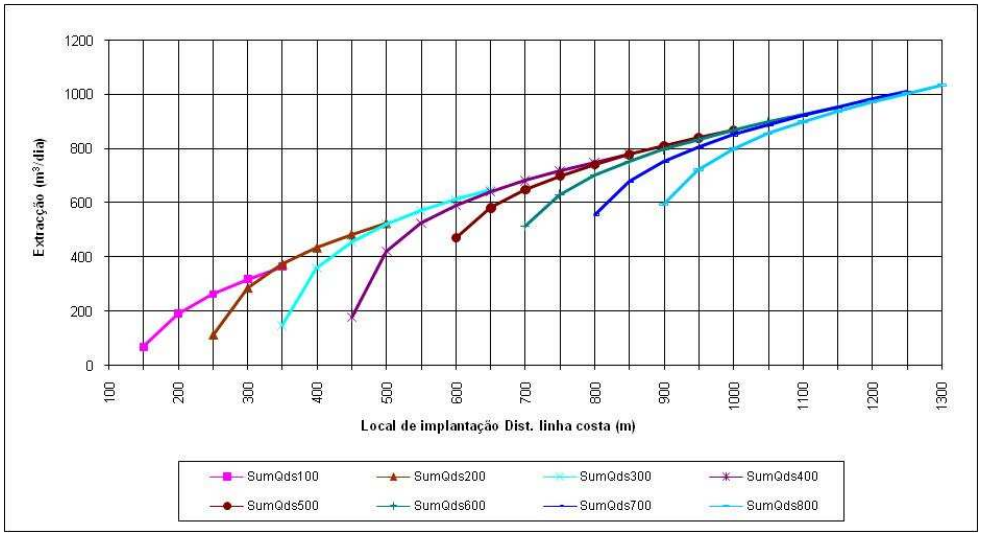


Figura 6. Extracção máxima em cada local de implantação para cada *ds* com subida do nmm de 0,1 m.

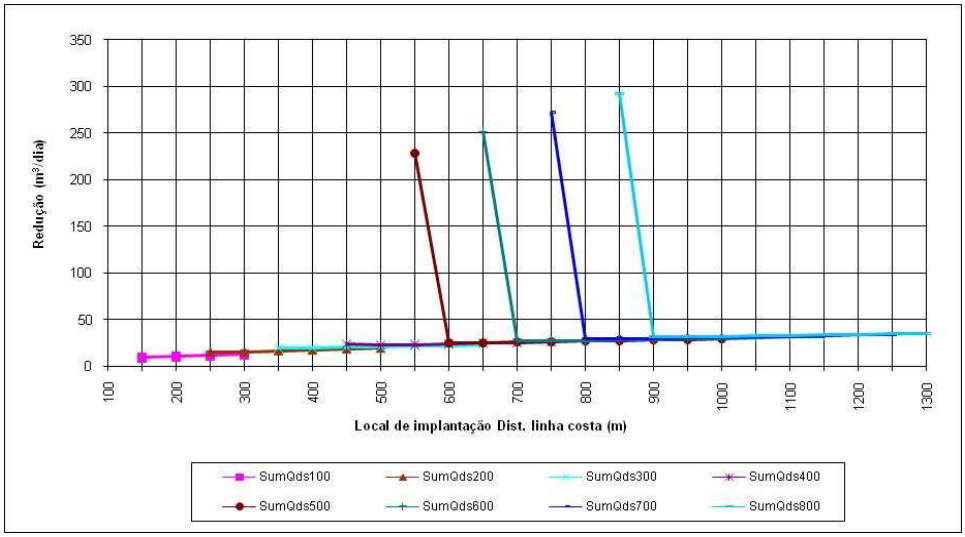


Figura 7. Redução na quantidade (m³/dia) de extracção para uma subida do nmm de 0,10 m.

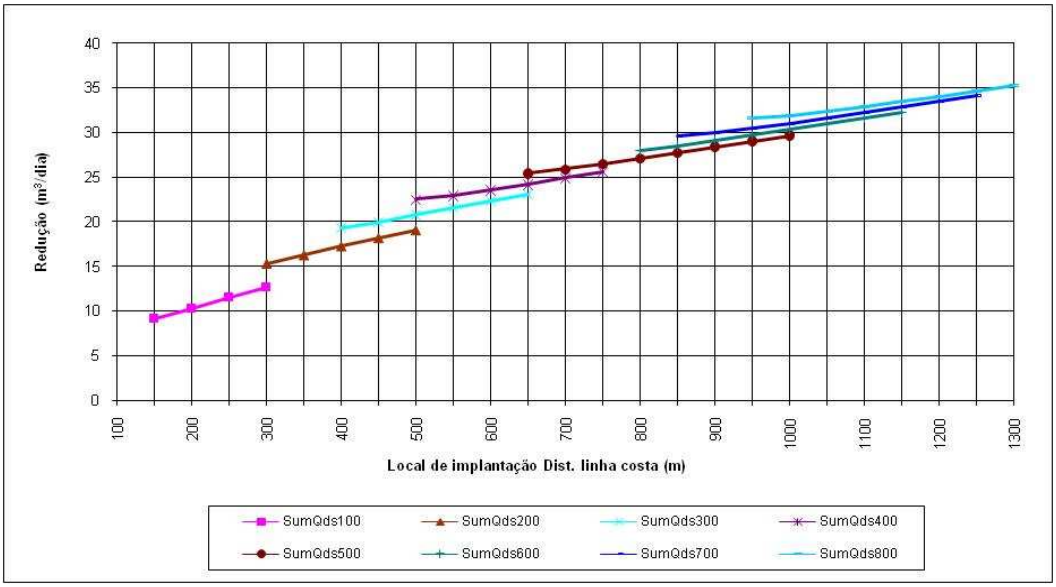


Figura 8. Redução na quantidade (m³/dia) de extracção para uma subida do nmm de 0,10 m, ignorando locais mais próximos do mar onde deixa de ser possível a captação de água.

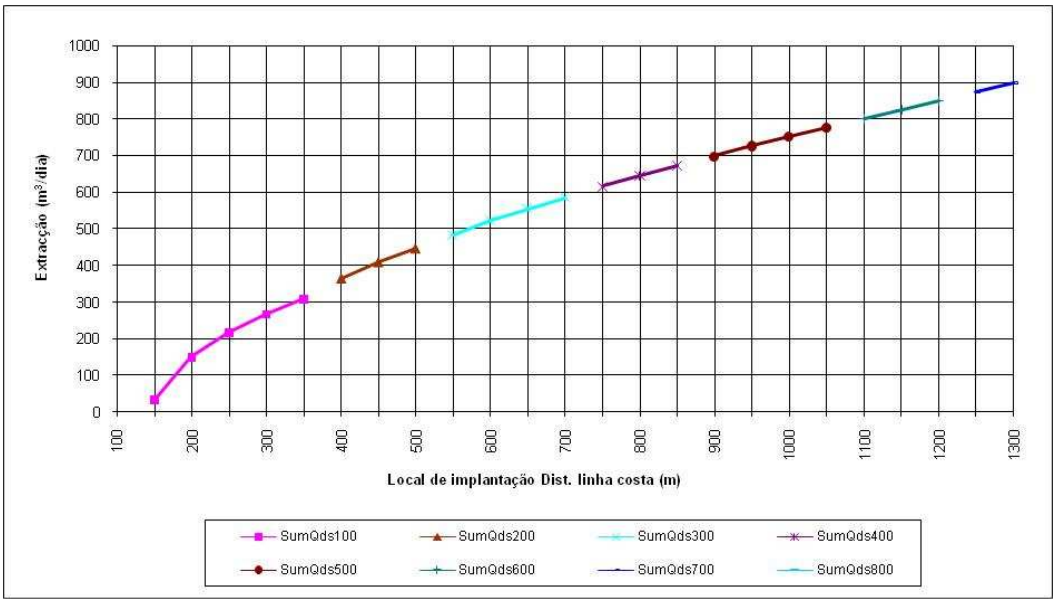


Figura 9. Extracção máxima em cada local de implantação para cada *ds* com subida do nmm de 0,50 m.

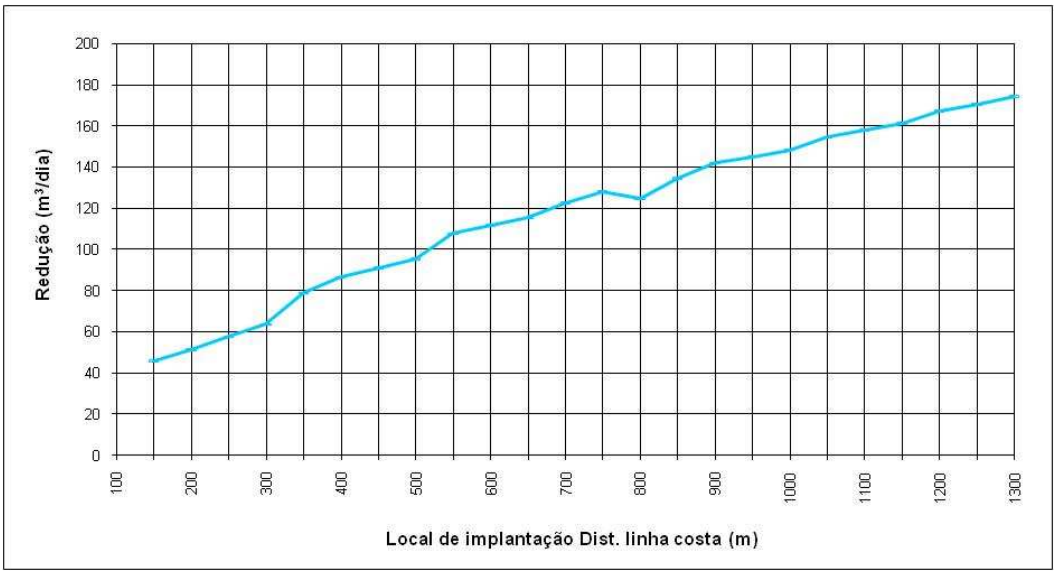


Figura 10. Redução na quantidade (m³/dia) de extracção para uma subida do nmm de 0,50 m.

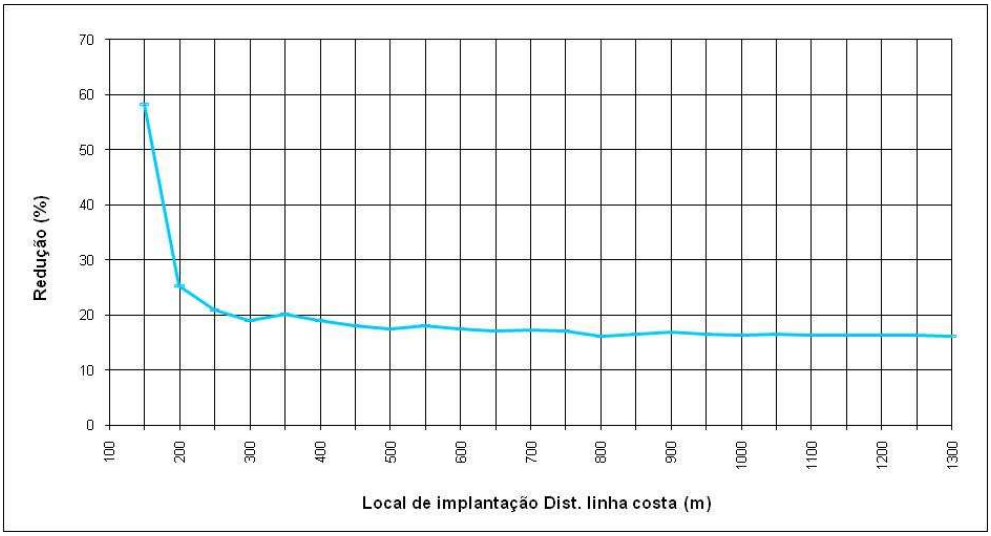


Figura 11. Redução na quantidade (%) de extracção para uma subida do nmm de 0,50 m.

5. Conclusões

As alterações climáticas, designadamente a expectável subida do nível médio da água do mar e a redução do escoamento subterrâneo, irão provocar mudanças na gestão das extracções dos aquíferos do litoral.

Convém que as entidades responsáveis pela gestão regional dos aquíferos do litoral disponham de modelos de gestão (optimização-simulação) que sejam capazes de antever o comportamento dos sistemas aquíferos costeiros e indicar as políticas de gestão adequadas face a cada eventual cenário climático.

As projectadas variações do nível médio da água do mar motivadas pelas alterações climáticas irão, progressivamente, provocar modificações no equilíbrio entre os volumes de água salgada e de água doce existentes nos aquíferos costeiros.

Nos últimos tempos tem-se assistido ao aumento do número de publicações científicas que mostram ser expectável a subida do nível médio da água do mar e a redução média anual da precipitação e, subsequentemente, da recarga natural dos aquíferos.

A concepção e a gestão dos sistemas de captação e de abastecimento de água a zonas costeiras devem ser realizadas tendo, antecipadamente, em atenção a expectável subida do nível médio da água do mar, a redução do escoamento no aquífero e o, subsequente, avanço da cunha salina marinha.

O modelo desenvolvido permite antever os efeitos das alterações climáticas, quaisquer que sejam os cenários de base para a subida do nível médio da água do mar e para a redução do escoamento natural. De facto, ao ser possível incluir no modelo distintos incrementos da subida do mar ou outros cenários da redução do escoamento natural ficam disponíveis resultados que poderão ajudar numa melhor fundamentação de decisões.

Os estudos realizados evidenciam que essas alterações implicarão reduções nas extracções que são função do local de implantação das captações, podendo este facto ser, desde já, usado como critério de planeamento de novas obras.

A visualização dos valores da redução da extracção máxima *versus* local de implantação, ajuda na percepção da necessidade de uma adequada política de gestão que vigile continuamente a evolução do fenómeno da intrusão marinha. Os efeitos das alterações climáticas nos aquíferos costeiros poderão ser atenuados com a adequada implantação das captações e com a correcta gestão dos volumes de água doce presentes no aquífero.

Assim, conclui-se que o modelo apresentado pode ser um instrumento útil para a definição de políticas sustentáveis da utilização da água nas zonas costeiras, como é o caso de Viana do Castelo.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos Serviços Municipalizados de Saneamento Básico de Viana do Castelo o apoio concedido, designadamente na realização dos ensaios de caudal nas antigas captações localizadas na Veiga da Anha e na execução do levantamento topográfico do local.

Referências

Essaid, H.I. (1990). *The Computer Model SHARP*, Water-Resources Investigations Report 90-4130, U.S. Geological Survey, California.

Ferreira da Silva, Júlio (2003). *Gestão optimizada à escala regional de sistemas aquíferos potencialmente sujeitos à intrusão salina - Um modelo global para o uso sustentável da água em regiões costeira*, Dissertação de doutoramento em Engenharia Civil - Hidráulica, Universidade do Minho.

Ferreira da Silva, Júlio & Ribeiro, Luís T. (2006a). *Efeitos das alterações climáticas e da subida do nível do mar nos aquíferos costeiros*, 8.º Congresso da Água. Lisboa, Março.

Ferreira da Silva, Júlio F., (2006b). *Gestão optimizada da água doce disponível nas zonas costeiras face às alterações climáticas*, 5.º Congresso Ibérico de Gestão e Planeamento da água, Faro, 4-8 Dezembro.

Ferreira da Silva, Júlio F. & Haie N., (2007a). *Optimal Locations of Groundwater Extractions in Coastal Aquifers*. Water Resources Management. 21, pp 1299–1311.

Ferreira da Silva, Júlio F.; Naim Haie; Maria da Conceição Cunha & Luís T. Ribeiro, (2007b). *Optimal Management of Groundwater Withdrawals in Coastal Aquifers*. XXXV IAH Congress International Association of Hydrogeologists. Lisboa, Portugal: 17-21 September.

Ferreira da Silva, Júlio F. (2007c). Análise estocástico-determinística do incremento da recarga como medida mitigadora dos efeitos das alterações climáticas nos aquíferos costeiros. IV Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. Madeira. Funchal. 17 a 19 de Outubro.

Ranjan, S. Priyantha, So Kazama & Masaki Sawamoto. (2006). Effects of climate and land use changes on groundwater resources in coastal aquifers, Journal of Environmental Management 80, pp 25–35.

Scibek, Jacek, Diana M. Allen, Alex J. Cannon & Paul H. Whitfield. (2007). Groundwater–surface water interaction under scenarios of climate change using a high-resolution transient groundwater model. Journal of Hydrology. Volume 333, Issues 2-4, 15 February 2007, pp 165-181.

Strack, O.D.L. (1989). Groundwater Mechanics, Prentice Hall.

©2009, ISBN 978-972-99991-8-5

O PAPEL DOS SISTEMAS TRADICIONAIS DE GESTÃO DA ÁGUA NA MITIGAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS
The Role of Traditional Water Management Systems in Climate Change Mitigation

CRISTINA RIBEIRO (1), SANDRA VALENTE (2), CELESTE COELHO (3) & ADRIANA ABREU (1)

(1) Bolseira de Investigação, (2) Bolseira de Doutoramento, (3) Professora Catedrática
CESAM – Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Departamento de Ambiente e Ordenamento
Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro
cristinaribeiro@ua.pt, sandra.valente@ua.pt, coelho@ua.pt, adriana.isabel@ua.pt

Resumo

As Alterações Climáticas têm repercussões directas na disponibilidade dos recursos hídricos, amplamente reconhecido como bem escasso e limitado, sendo urgente identificar soluções para a sua gestão sustentável, principalmente nas sociedades mais ameaçadas pela escassez deste recurso. Em Portugal, a escassez de água é já sentida, existindo indicadores que evidenciam um agravamento futuro desta tendência. Nas zonas rurais, onde predomina a agricultura de subsistência, existem Sistemas Tradicionais de Gestão de Água (STGA) que representam uma mais-valia em termos da sustentabilidade das actividades produtivas características destas áreas. No âmbito do Projecto TRADWATER pretendeu-se estudar a forma como os STGA respondem, ou poderão responder, à mudança climática, bem como conhecer a dependência das comunidades locais relativamente a estes sistemas, antecipando os constrangimentos e propondo estratégias de mitigação e adaptação a esta mudança. Os principais resultados do estudo de percepção social evidenciam que a população inquirida reconhece alterações no clima e já sentiu períodos de escassez de água. A construção de mais reservatórios para armazenamento de água tem sido reconhecida como uma medida a implementar face aos cenários de mudança climática.

Palavras-chave: STGA, mudança climática, percepção social, agricultura.

Abstract

Climate change has direct impacts on water resources availability, which is largely known as a scarce and limited resource. In this sense is urgent to identify solutions towards a water sustainable management, especially in communities more threatened by water shortage. In Portugal, water scarcity is already present, and some indicators show an aggravation in the future. In rural areas, dominated by subsidence and traditional agriculture, the use of Traditional Water Management Systems (STGA), represent an added value, for the economic activities present in these areas. The aim of TRADWATER project is to study how STGA respond, or may respond, to climate change, as well as, to understand the dependence of local communities concerning these systems, assessing the constraints and proposing new mitigation and adaptation strategies to these changes. The main results of the social perception study show that the respondents recognized climate changes, having felt already periods of water shortage. The construction of more water reservoirs was a measure pointed out to face climate change scenarios.

Keywords: STGA, climate change, social perception, agriculture.

1. Introdução

Apesar de fundamental para a sobrevivência e para o bem-estar do Homem e dos ecossistemas terrestres, a água é um bem escasso e limitado. A crescente procura deste recurso, resultante, por um lado, do crescimento demográfico e do desenvolvimento das actividades económicas e, por outro, dos efeitos das Alterações Climáticas, nomeadamente ao nível da redução da disponibilidade de água, colocou este assunto na ordem do dia a nível mundial.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) define mudança climática como a mudança que "*… resulta de uma variação estatisticamente significativa no estado médio do clima ou na sua variabilidade que persiste durante um intervalo de tempo extenso.*" (Santos *et al.*, 2001:2).

A Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (CQNUAC) acrescenta ainda que esta mudança "*… resulta directa ou indirectamente das actividades humanas.*" (Santos *et al.*, 2001:2).

Estas duas inferências permitem concluir que uma mudança climática representa uma variação ao nível dos elementos climáticos, sendo induzida ou agravada pelas intervenções humanas e tendo efeitos consideráveis ao nível da qualidade de vida.

Quer o aumento global da temperatura do ar e dos oceanos, quer o degelo e a subida do nível médio da água do mar, entre outros, são sinais evidentes do aquecimento do sistema climático que, por sua vez, tem afectado vários sistemas naturais (IPCC, 2007).

Adicionalmente, existe uma tendência de agravamento futura, onde, segundo o IPCC, a temperatura média do ar aumentará cerca de 0,2ºC por década, provocando alterações nos fenómenos climáticos e atmosféricos, e que propiciará a ocorrência de eventos extremos, como por exemplo chuvas intensas ou secas.

Embora as Alterações Climáticas afectem todo o globo, os seus efeitos e a sua severidade variam de região para região. Na Europa está prevista a intensificação da dimensão e frequência das inundações, o aumento do nível médio da água do mar e o agravamento dos processos de erosão do solo (IPCC, 2007). Nas áreas mais montanhosas está previsto o recuo dos glaciares e a diminuição da neve, enquanto que no Sul está previsto o aumento da temperatura e a redução da água disponível (IPCC, 2007). Estas ocorrências, para além das repercussões ambientais associadas, têm efeitos notórios nas actividades socioeconómicas, interferindo na disponibilidade e qualidade da água.

O Projecto SIAM (Mudança Climática em Portugal, Cenários, Impactes e Medidas de Adaptação) tem como objectivo fundamental avaliar de forma integrada a vulnerabilidade e a adaptabilidade de Portugal às mudanças climáticas. Neste documento é reconhecido que a escassez de água tem-se feito sentir em algumas áreas, sendo de prever um agravamento desta situação devido, por um lado, ao aumento da temperatura e, por outro, à diminuição da precipitação prevista para o Sul da Europa. Esta situação permite antecipar variações expressivas ao nível da procura e da disponibilidade do recurso água para Portugal (Cunha, 2002).

Ao nível hidrográfico prevê-se uma variação sazonal do escoamento resultante da intensificação das chuvadas no Inverno e consequentes inundações e do aumento da temperatura e ausência de escoamento no Verão, o que poderá despoletar situações de risco em termos da qualidade da água. Adicionalmente, a diminuição da precipitação, sobretudo nos meses de Verão e em conjunto com o aumento da temperatura, aumentará também a necessidade de irrigação nas culturas agrícolas.

Sendo Portugal um país com grandes tradições agrícolas e a agricultura o sector que mais água consome, as populações sempre tiveram necessidade de encontrarem mecanismos de gestão face à disponibilidade de água, nomeadamente respondendo às suas variações temporais e espaciais. Estes mecanismos corresponderam à criação de inúmeros sistemas e técnicas de captação, armazenamento e distribuição de água, mas também na definição de regras para a fruição deste recurso.

Os cenários de mudança climática previstos, apontam para o aumento das necessidades hídricas das culturas agrícolas, pelo que a identificação de estratégias de mitigação e adaptação aos efeitos das Alterações Climáticas nesta actividade é determinante.

Nas últimas décadas tem-se verificado o abandono progressivo da actividade agrícola; no entanto esta ainda representa uma das principais actividades produtivas das áreas rurais, sendo uma importante fonte de subsistência para as famílias que aí vivem.

Factores como o declive, a dimensão da propriedade, a ausência de investimento, a idade e formação dos produtores agrícolas, entre outros, contribuíram para que a agricultura patente em muitas destas áreas rurais não sofresse um processo de mecanização, mantendo o seu carácter manual, rudimentar e tradicional, quer em termos das culturas agrícolas praticadas, quer nos sistemas de cultivo e de irrigação adoptados.

Este contexto levou a que muitas das técnicas tradicionais de gestão dos recursos hídricos ainda se mantenham, para uso agrícola, e em algumas áreas mesmo para o abastecimento doméstico.

Os STGA remontam ao período romano, embora existam registos que poderão indicar a utilização de alguns sistemas em tempos mais recuados, e sempre foram utilizados para o abastecimento dos aglomerados urbanos e para a actividade agrícola. As fontes, ou os chafarizes, frequentes em todas as povoações, eram o sistema mais utilizado para o abastecimento doméstico.

A introdução da rede de abastecimento público levou a um abandono destes sistemas, no entanto os chafarizes continuam a representar importantes elementos do património arquitectónico local. Em termos de captação de água subterrânea, os poços, as minas e as nascentes são, ainda hoje, muito utilizados para obtenção de água para a agricultura e em alguns casos também para abastecimento doméstico.

A estas técnicas estão geralmente associadas outras de armazenamento de água, como tanques, represas ou corgas, e de distribuição de água, como os tradicionais aquedutos, levadas, água de lima, entre outros.

Tradicionalmente, os STGA proporcionavam momentos de convívio nas comunidades locais, nomeadamente pela utilização dos lavadouros públicos e das fontes, e também pela alta exigência em termos de manutenção regular, como a limpeza das nascentes e levadas, que favorecia a entreajuda nas comunidades. Actualmente, com a menor utilização destes sistemas e com a sua modernização, foram-se perdendo algumas das tradições associadas aos STGA.

No entanto, em muitas áreas rurais estes sistemas continuam a desempenhar funções de captação, armazenamento e condução de água e representam "… elementos da identidade cultural e patrimonial e uma mais-valia em termos da sustentabilidade das actividades produtivas locais no futuro." (Valente *et al.*, 2006).

Todo o conhecimento tradicional existente nas populações agrícolas no que respeita à gestão dos STGA e aos mecanismos utilizados para lidar com eventos extremos é de crucial importância para lidar com o fenómeno de mudança ambiental global, estando reconhecido no processo de Agenda 21 que "… é necessário planear estratégias adequadas para estimular o sentido de responsabilidade e envolver as pessoas na procura de soluções." (Hawthorne e Alabaster, 1999). É neste sentido que o conhecimento das percepções sociais locais e o envolvimento dos cidadãos na definição e implementação de medidas para lidar com as Alterações Climáticas se revela fundamental.

2. Projecto TRADWATER

O projecto TRADWATER[1] (PPCDT/CLI/60784/2004) cujo tema é a utilização do saber tradicional na gestão sustentável da água para diferentes cenários de alterações climáticas tem como principal objectivo estudar a forma como os STGA respondem, ou poderão responder, à mudança climática, antecipando os constrangimentos e propondo estratégias de mitigação e adaptação à mudança global. Num sentido mais lato, pretende-se dar um contributo para a reestruturação do processo de tomada de decisão, no que respeita à preparação para a mudança global, integrando a dimensão ambiental e socioeconómica nos sistemas de gestão de água e incorporando as percepções da população local e dos principais agentes socioeconómicos.

No âmbito deste projecto foram seleccionadas duas áreas de estudo na Região Centro de Portugal, podendo ser consideradas áreas rurais marginais, com uma agricultura tradicional de subsistência muito expressiva, mas com características geológicas distintas. Assim, foram seleccionadas duas freguesias da Serra do Caramulo, onde está presente o xisto e o granito e sete freguesias da Serra do Sicó, caracterizada pela existência de calcários, Figura 1.

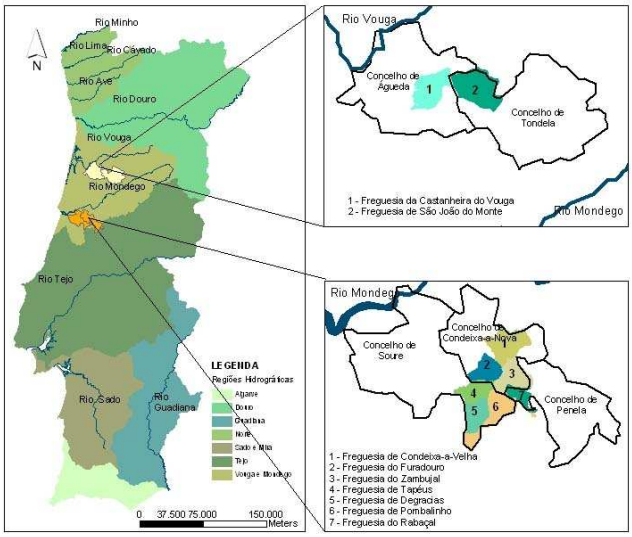


Figura 1. Localização das áreas de estudo do projecto TRADWATER.

Como foi referido, uma das tarefas cruciais do projecto corresponde à avaliação da dependência das comunidades locais relativamente aos STGA, num contexto de Alterações Climáticas, através da análise da percepção social relativamente a este fenómeno e às potenciais mudanças ocorridas na disponibilidade do recurso água. Neste sentido foram implementados inquéritos por questionário (IQ) e por entrevista (IE) aos habitantes e principais agentes socioeconómicos numa das freguesias da área de estudo da Serra do Caramulo – Freguesia de São João do Monte, Figura 1. Pretende-se, deste modo, que a definição de estratégias seja estabelecida através de um processo participativo.

[1] Este projecto é coordenado pela Universidade de Aveiro, tendo como parceiro a Escola Superior Agrária de Coimbra (ESAC) e financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

3. Estudo de Percepção Social em São João do Monte

São João do Monte pertence ao concelho de Tondela, e enquadra-se numa paisagem granítica, que faz a transição entre o Litoral e o Interior. É atravessada pelo Rio Águeda e pelo Ribeiro Dornas, apresentando valores de precipitação muito elevados e onde dominam os *cambissolos húmicos*.

A freguesia de São João do Monte, regista cerca de 1100 habitantes (INE, 2001) e uma densidade populacional da ordem dos 23 hab/km^2, tem assistido a uma diminuição progressiva da sua população nos últimos 50 anos. Associado a este declínio populacional encontra-se o envelhecimento da população remanescente e um enfraquecimento do número de residentes em idade activa.

Subjacente à articulação dos factores hidrografia, geologia e precipitação, observa-se uma paisagem riquíssima em água, formando pequenos vales geralmente aproveitados para a agricultura, sobretudo de subsistência ou complementar, e geralmente pouco produtiva. A esta paisagem encontra-se ainda associado um saber tradicional secular utilizado, desde sempre, nos sistemas agrícolas e de gestão da água.

De facto, uma das actividades económicas mais importantes, pelo menos em termos de ocupação do território, corresponde à agricultura, embora actualmente não represente o principal sector empregador de mão-de-obra.

Esta situação deve-se, por um lado, ao facto do sector primário ter perdido progressivamente importância em detrimento do sector secundário e terciário e, por outro, ao facto de muitos habitantes manterem a actividade agrícola num regime complementar ou de subsistência.

Pelo Recenseamento Geral Agrícola verificou-se que, em 1999, São João do Monte contava com 186 explorações agrícolas, resultando num total de 389 ha de Superfície Agrícola Útil (SAU), sendo 237 ha de superfície irrigável. No entanto e à semelhança do que aconteceu a nível nacional, de 1989 para 1999, assistiu-se a uma diminuição do número de explorações e da SAU.

Em 1999, a actividade agrícola nesta área era exercida maioritariamente a tempo parcial, no entanto 45% dos produtores agrícolas despendiam entre 75 a 100% do seu tempo nesta actividade.

Por sua vez, grande parte dos produtores agrícolas tinha mais de 55 anos de idade e um baixo nível de instrução, o que dificulta o investimento e manutenção da actividade.

A multiplicidade de STGA em São João do Monte mostra a sua importância tanto para o abastecimento doméstico, pois não existe rede pública de abastecimento nesta freguesia, como para a irrigação das culturas agrícolas.

Neste contexto, é frequente observar-se na paisagem os tanques, as represas, os fontanários, localizados nas proximidades das habitações, ou as minas e nascentes que geralmente se localizam em terrenos agrícolas ou florestais mais afastados das povoações.

Associados aos STGA, existem ainda sistemas de organização de gestão de água, como por exemplo a "água de herdeiros", onde a frequência e duração da rega é distribuída pelos proprietários das nascentes.

3.1. População Inquirida

O IQ, dirigido à população residente na freguesia de São João do Monte com mais de 15 anos, foi aplicado a 8% dos habitantes, segundo informação do INE de 2001, o que resultou na implementação de 76 IQ.

A escolha da amostra baseou-se na técnica de amostragem por quotas (sexo, idade, nível de escolaridade, lugar de residência), assegurando, sempre que possível, as respectivas proporções da população residente.

Verificou-se que 51% da população inquirida é do sexo masculino e que a faixa etária mais inquirida foi acima dos 64 anos, com 34% dos inquiridos a situarem-se nestas idades.

O nível de escolaridade da população residente é baixo, pelo que 47% dos inquiridos apenas tinha o 1.º CEB e cerca de 13% nunca tinha frequentado a escola.

Em termos de condição perante o trabalho, 47% dos inquiridos exercem uma actividade económica, 26% são reformados, 16% são domésticas, 5% são estudantes e 5% são desempregados.

Mais uma vez, reforçando a importância do sector agrícola nesta área, verificou-se que 72% dos inquiridos praticam agricultura.

Relativamente à criação de gado e à actividade florestal a percentagem de inquiridos que afirmou manter estas actividades diminui ligeiramente, sendo notório que a maioria mantém as três actividades em simultâneo.

3.2. Alterações Climáticas

Quase todos os inquiridos (92%) afirmaram sentir alteração no estado do tempo/clima, sendo que a grande maioria referiu que estas alterações têm vindo a ocorrer nos últimos 25 anos, Figura 2.

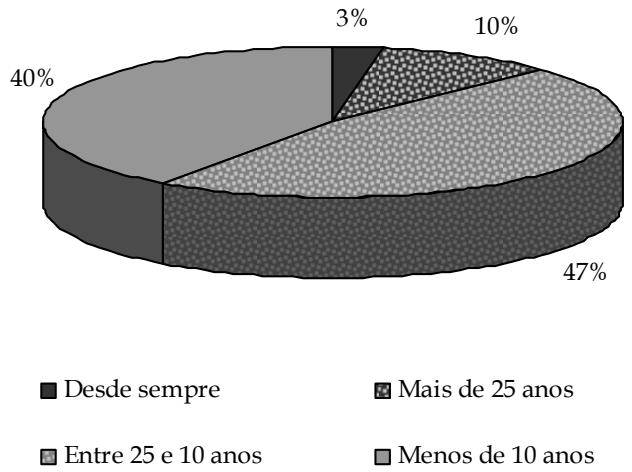


Figura 2. Há quantos anos nota alteração no estado do clima?

Considerando apenas os inquiridos que percepcionaram alterações no clima (92%), verificou-se que 37% aponta como principais causas a conjugação de factores naturais com a intervenção humana/evolução tecnológica.

Cerca de 36% referiu que as Alterações Climáticas apenas estão relacionadas com a actuação humana/evolução tecnológica e 10% atribuiu causas naturais. De destacar ainda que mais de 15% dos inquiridos não identificaram ou desconhecem as causas das Alterações Climáticas.

Dados obtidos num outro estudo de percepção social, realizado para o concelho de Águeda, no âmbito do Projecto CLIMED[2], permite constatar que 94% dos inquiridos identificaram alterações no clima, percentagem aproximada à da freguesia de São João do Monte (Pinho *et al.*, 2004). Relativamente às causas identificadas, os resultados diferem na medida em que para os inquiridos do concelho de Águeda as Alterações Climáticas estão sobretudo relacionadas com a intervenção humana (64% dos inquiridos).

Relativamente aos efeitos das Alterações Climáticas, foi referido que alguns já se fazem sentir a nível local. Segundo os inquiridos que identificaram alterações no estado do tempo, alguns dos impactos sentidos correspondem a alterações nos terrenos agrícolas (50%), à falta de água (40%), ao aumento da intensidade e frequência de períodos de seca (34%) e ao aumento da ocorrência de incêndios (30%), Figura 3.

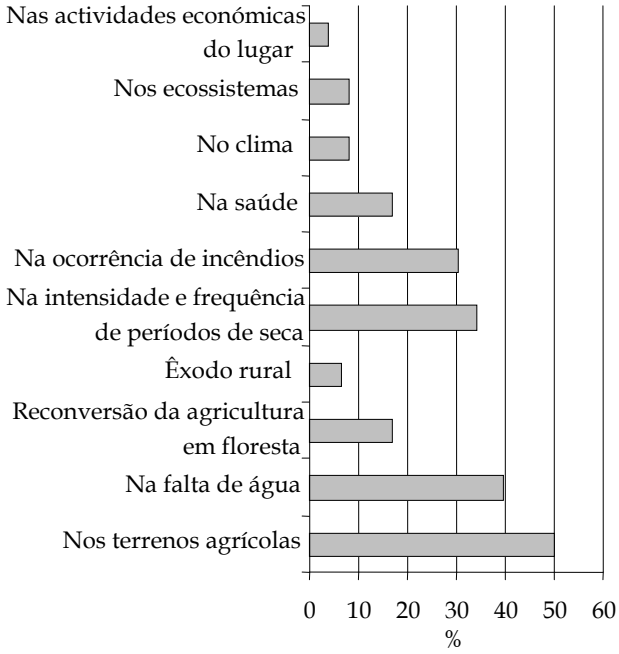


Figura 3. Efeitos das Alterações Climáticas.

No que concerne às medidas a implementar para a mitigação e adaptação ao fenómeno das Alterações Climáticas, foram mencionadas o controlo da poluição (60%), a sensibilização das pessoas (47%) e o aproveitamento de água (36%).

3.3. Disponibilidade de água

A grande maioria dos inquiridos (70%) referiu já ter sentido falta de água, tendo apontado como principais causas as mudanças do clima (47%), a exploração comercial da "água das Varzielas" (43%), a predominância da monocultura em áreas florestais com *eucalyptus globulus* (26%) e a redução da precipitação (17%).

[2] Projecto CLIMED - Impactes das alterações climáticas na disponibilidade e gestão dos recursos hídricos - coordenado pela Universidade de Aveiro, tendo como parceiros instituições de Portugal, Holanda, Marrocos e Tunísia, e financiado pelo 6.º FP da Comissão Europeia, desenvolvido entre 2001 e 2004.

Embora a escassez de água seja apontada como uma realidade pela maior parte dos inquiridos, apenas uma pequena percentagem destes (9%) adoptou medidas para se adaptar a estas situações, nomeadamente armazenamento de água para um eventual período de seca.

Sendo a agricultura uma actividade muito importante na área de estudo, verificou-se que os inquiridos percepcionaram que os períodos de seca têm impactos significativos (41%) ou muito significativos (32%) nesta actividade, Figura 4.

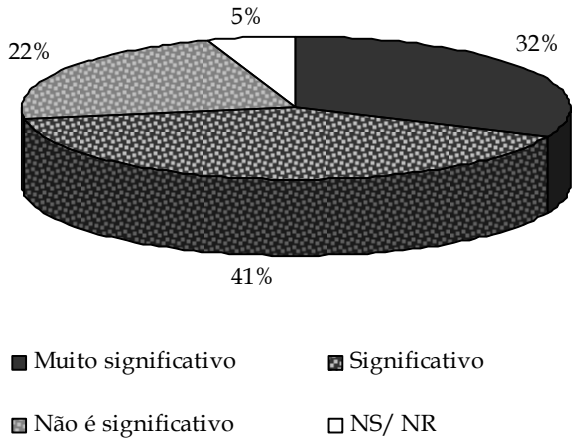


Figura 4. Impacto da seca na agricultura.

Para a mitigação dos impactos da seca, foram apontadas pelos inquiridos, medidas como o armazenamento de água através da construção de mais reservatórios, poços e açudes (54%), o aumento do nível freático, através da protecção das florestas e matas (37%), a adopção de medidas para economizar água (33%), a introdução de culturas agrícolas mais resistentes à seca (32%), a criação de sistemas de aproveitamento das águas pluviais e a manutenção das técnicas tradicionais de gestão de água (22%).

3.4. Sistemas Tradicionais de Gestão de Água

Existe na área de estudo uma multiplicidade de STGA que, ao longo de décadas, têm permitido a gestão e manutenção do recurso água, quer para consumo humano, quer para as actividades agrícola, pecuária e mesmo florestal. Cerca de metade dos inquiridos considerou os STGA importantes para a mitigação das Alterações Climáticas e um quarto considerou mesmo muito importantes, Figura 5.

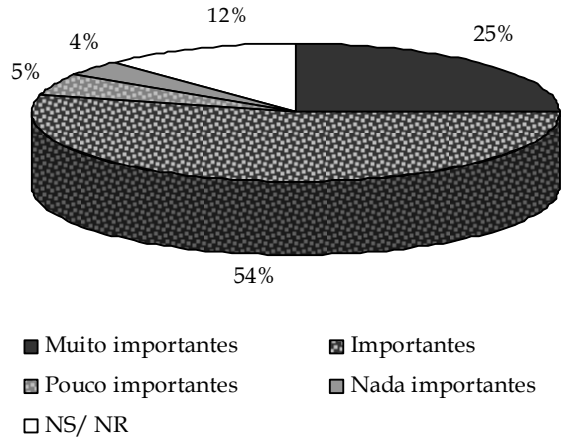


Figura 5. Importância dos Sistemas Tradicionais de Gestão de Água na mitigação das Alterações Climáticas.

A importância destes sistemas recai sobre o facto de constituírem reservas de água determinantes para enfrentar um período de seca ou para o combate aos incêndios florestais, que representam um dos riscos naturais mais reconhecidos nesta área. Adicionalmente, os inquiridos reconheceram ainda que os STGA são importantes dado que contribuem para uma maior abundância/poupança de água e são regra geral os sistemas utilizados para o abastecimento e armazenamento de água nesta área.

4. Conclusões

Factores como o aumento da temperatura, a subida do nível médio da água do mar, o aumento da intensidade e frequência de eventos extremos, a ocorrência de incêndios florestais, entre outros, são alguns dos sinais de alteração no clima. As populações locais percepcionam que estão a ocorrer alterações no estado do tempo/clima, reconhecendo que essas alterações são provocadas por uma combinação de factores naturais e humanos e têm impactos nas suas actividades socioeconómicas.

Associada à percepção de mudanças no clima, a população identifica uma alteração na disponibilidade do recurso água, sendo o aproveitamento da água, nomeadamente através da construção de reservatórios, uma das medidas apontadas para a mitigação deste fenómeno.

Os STGA são considerados importantes para a mitigação das alterações climáticas, sendo de salientar que grande parte dos STGA, existentes em São João do Monte, cumprem essa função. Aliás, vários estudos (Reij, Scoones e Toulmin, 1996) demonstram que os sistemas tradicionais de gestão de água estão mais adaptados às condições locais, onde a variabilidade climática está incluída, e por esta razão merecem uma análise mais profunda.

Estes STGA atravessam no entanto uma fase determinante em termos da sua manutenção, em que o abandono das áreas rurais, associado ao declínio da actividade agrícola, colocam em risco a perpetuação deste conhecimento tradicional essencial na adaptação ao fenómeno das Alterações Climáticas.

Agradecimentos

As autoras agradecem o financiamento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia do projecto TRADWATER (PPCDT/CLI/60784/2004) e à população de São João do Monte que participou nos inquéritos.

Referências Bibliográficas

Cunha L.V.; Oliveira R. & Nunes V.B. (2002). *"Impactos das Alterações Climáticas sobre os recursos hídricos de Portugal"*, III Congresso Ibérico sobre a Gestão e Planeamento da Água - A DQA: realidades e futuros, 13-17 Novembro, Sevilha (http://alojamientos.us.es/ciberico/archivos_acrobat/sevilla3veiga.pdf).

Hawthorm, M & Alabaster, T. (1999). Citizen 2000: development a model of environmental citizenship, Global Environmental Change 9 (1999) p. 25-43.

Pinho, L.; Coelho, C.; Valente, S.; Figueiredo, E.; Carvalho, T. & Ferreira, A. (2004). O 'olhar' do cidadão sobre as Alterações Climáticas. Em: F. Santana, G. Martinho, I. Peres, J. Farinha, J. Melo, L. Amaral (Org.). 8.ª Conferência Nacional de Ambiente. Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, 27- 29 Outubro, pp. 44-45 (Livro de resumos e publicação em CDrom).

Santos F.D.; Farbes, K. & Moita, R. (2001). *Mudanças Climáticas em Portugal, Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação SIAM*, Sumário Executivo e Conclusões, Grávida, Lisboa, 2001.

Valente S.; Ferreira A.; Coelho C.; Malta M. & Moreira J. (2006). *"Utilização do saber tradicional na gestão sustentável da água para diferentes cenários de alterações climáticas – Projecto Tradwater"*, 5.º Congresso Ibérico Gestão e Planeamento da Água – Bacias Partilhadas, 4-8 Dezembro, Faro, Portugal.

www.ipcc.ch/: IPCC, Maio/2009

1.º Seminário sobre Gestão de Bacias Hidrográficas
"As Regiões Hidrográficas do Norte e as Perspectivas Futuras de Gestão"
©2009, ISBN 978-972-99991-8-5

MODELAÇÃO E PREVISÃO DE SUCESSÕES CRONOLÓGICAS DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS
Modelling and Prediction of Surface Water Quality Time Series

JÚLIO F. FERREIRA DA SILVA [(1)], SOFIA M.P. BRAGANÇA SALGADO [(2)] & RAQUEL MENEZES [(3)]

[(1)] *Doutor em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil*
[(3)] *Doutora em Matemática, Departamento de Matemática para a Ciência e Tecnologia*
Universidade do Minho, Campus de Azurém 4800-058 Guimarães
juliofs@civil.uminho.pt; rmenezes@mct.uminho.pt

[(2)] *Msc em Biotecnologia – Engenharia de Bioprocessos,*
sofiabraganca@gmail.com

Resumo

Neste trabalho, são apresentadas e aplicadas ferramentas para a modelação e previsão das sucessões cronológicas de parâmetros de qualidade das águas superficiais. Analisam-se registos horários de oxigénio dissolvido e de turvação e os resultados das análises laboratoriais a amostras recolhidas no rio Ave. Os resultados indicam que os modelos ARIMA têm um bom ajuste aos valores reais e que podem ser usados para a realização de previsões a curto prazo dos valores dos caudais e dos parâmetros de qualidade da água.

Palavras-chave: Sucessões cronológicas, qualidade da água.

Abstract

In this work, tools for modeling and prediction of quality parameters time series of surface water are presented and applied. Records schedules of dissolved oxygen and turbidity and the results of laboratory tests on samples collected in the river Ave were analyzed. The results indicate that the ARIMA models give good fits to the real values and can be used to forecast the short-term values of flow and water quality parameters.

Keywords: Time series, water quality.

1. Introdução

O desenvolvimento, selecção e aplicação de ferramentas matemáticas para a caracterização, modelação e previsão a curto prazo dos valores de parâmetros de qualidade da água constituem tarefas primordiais para a gestão racional, optimizada e sustentável da água nas bacias hidrográficas e nos sistemas de utilização da água.

Os programas de vigilância e de controlo da qualidade da água distribuída necessitam de uma adequada gestão da informação, nomeadamente da evolução ao longo do tempo dos principais parâmetros indicadores da qualidade da água. Para a consecução desta tarefa é fundamental dispor dos registos de parâmetros como o oxigénio dissolvido, condutividade, turvação, etc., medidos na origem e em diversos pontos do sistema de abastecimento e distribuição, fazer o seu tratamento e análise estatística e construir modelos que sejam capazes de se ajustar às séries cronológicas e de antecipar as evoluções futuras. Assim, será possível melhorar a garantia da qualidade do serviço e executar as tarefas de "produção" da forma mais económica possível.

A gestão optimizada das estações de tratamento e a supervisão da qualidade são casos típicos onde é necessário dispor previamente de modelos de previsão a curto prazo da qualidade da água, nomeadamente de parâmetros como o oxigénio dissolvido e a turvação de água.

É sabido que a redução do oxigénio dissolvido na água da origem é um indicador do agravamento da qualidade e que a turvação condiciona a eficiência da desinfecção, seja esta por cloro, ozono ou raios UV.

Para a correcta fundamentação dos procedimentos de gestão, seja em situações correntes ou em caso de contingência, é necessária a previsão para as próximas horas dos valores dos parâmetros de qualidade da água em observação.

A utilização de modelos estocásticos na análise e previsão de sucessões cronológicas de caudais e de parâmetros de qualidade de águas superficiais tem justificação em múltiplos factores, entre os quais se destacam: a irregularidade das diversas afluências, a ocorrência de descargas clandestinas não identificadas, a heterogeneidade da qualidade das descargas, a aleatoriedade dos factores climáticos, o elevado número de parâmetros que, por vezes, os modelos de simulação dos fenómenos incluem e a dificuldade de calibração desses modelos.

A modelação e previsão de sucessões cronológicas de caudais e de parâmetros de qualidade de água constituem assuntos que têm merecido a atenção de diversos investigadores, engenheiros e dos gestores dos sistemas hídricos naturais e de abastecimento de água.

São diversos os relatos de desenvolvimentos de modelos teóricos e da aplicação de diversas técnicas, como os métodos estatísticos convencionais, os modelos estocásticos auto-regressivos, integrados e de médias móveis ARIMA, ou os métodos heurísticos, designadamente as redes neuronais artificiais, os algoritmos genéticos, etc. Por exemplo, em Sun *et al.* (2001), Ferreira da Silva *et al.* (2006), Anderson *et al.* (2007) e Ferreira da Silva (2008) podem ser encontrados exemplos da aplicação de técnicas de análise e previsão de sucessões cronológicas. Srinivasulu (2009) usa em conjunto e de forma integrada diversas ferramentas, entre as quais as redes neuronais artificiais e algoritmos genéticos para fazer a análise e previsão de caudais de rios.

Outros autores procuram associar modelos de sucessões cronológicas a modelos determinísticos de simulação dos fenómenos, como o escoamento e transporte de poluentes na água. São exemplos Bruen *et al.* (2006) e Vazquez-Amabile *et al.* (2008).

O principal objectivo deste trabalho consiste no desenvolvimento, selecção e aplicação de ferramentas de análise de sucessões cronológicas para a modelação e previsão de parâmetros de qualidade da água. Em concreto, far-se-á a análise dos valores registados na estação automática INAG 05G/06-Taipas e dos resultados das análises laboratoriais a amostras recolhidas na curva do Bioso-Gondomar e na captação das Taipas/Prazins Sta. Eufémia no Rio Ave.

2. Descrição Geral da Metodologia

Box & Jenkins (1970) apresentaram uma metodologia de modelação de sucessões cronológicas que inclui as componentes: identificação, estimação e avaliação do diagnóstico. Seguindo de perto esta referência, então o esquema geral proposto para a modelação e previsão de sucessões cronológicas de parâmetros de qualidade da água é o seguinte:

1. Análise da sucessão cronológica de parâmetros de qualidade da água e de caudais.
2. Identificação dos intervalos de tempo com medições anómalas, por exemplo valores nulos que resultam de avaria da sonda, e remoção destes valores da série;
3. Caracterização da sazonalidade. Determinação dos índices sazonais;
4. Identificação dos parâmetros a incluir no modelo;
5. Estimação dos parâmetros do modelo;
6. Avaliação do diagnóstico. Avaliação da qualidade do modelo;
7. Estudo de modelos alternativos;
8. Selecção do modelo;
9. Realização de previsões.

A metodologia deve incluir, desde logo, como tarefa preliminar a detecção de erros ou a falta de coerência nos dados, já que a eficiência dum modelo de previsão está muito dependente da informação base usada.

A caracterização quantitativa da sazonalidade (ou periodicidade) pode fazer-se com recurso a um procedimento que determina índices sazonais baseado no conceito de médias móveis.

Na etapa da identificação o objectivo consiste em procurar um modelo que descreva a sucessão cronológica. Alguns parâmetros de qualidade da água dum rio onde existem infra-estruturas para aproveitamento hidroeléctrico apresentam um carácter periódico com ciclo idêntico às descargas realizadas a montante. Será sensato investigar a hipótese dos valores do parâmetro em análise num dado instante estarem relacionados com o(s) valor(es) ocorrido(s) no(s) instante(s) imediatamente anterior(es), com os valores do mesmo instante dos ciclos anteriores e com os valores dos caudais descarregados a montante.

Na etapa de estimação são determinados os parâmetros do modelo. Esta tarefa pode ser realizada, por exemplo, com recurso ao software SPSS (2007).

Na avaliação do diagnóstico, verifica-se a adequação do modelo já identificado e estimado, à qual se seguem as duas seguintes subetapas: controlo da qualidade estatística do modelo e da qualidade do ajustamento.

Na fase seguinte procuram-se modelos alternativos, eventualmente vizinhos do primeiro modelo seleccionado, já que muitas vezes existem alguns modelos a descrever a sucessão cronológica com igual elevado grau de qualidade.

A selecção do modelo a adoptar poderá basear-se em critérios como os apresentados por Akaike (AIC) ou a extensão Bayesiana (BIC). O coeficiente de correlação (r) e a raíz do erro quadrático médio ($REQM$) poderão, também, ser usados para este efeito.

Sendo o objectivo último da análise o estabelecimento de previsões, deve então definir-se um período, pós-amostral não utilizado na estimação, para se fazer um estudo comparativo, com o cálculo dos erros de previsão, dos diversos modelos que passaram nos filtros da avaliação do diagnóstico.

3. Identificação da Sazonalidade

Os índices sazonais revelam a evolução das utilizações ao longo dum determinado período. Estes índices podem ser facilmente determinados recorrendo ao conceito de médias móveis que incluem, dinamicamente, os registos mais recentes.

A caracterização do comportamento típico dos valores de caudal ou dum qualquer parâmetro de qualidade da água ajuda na identificação de comportamentos anómalos, eventualmente, indicadores da presença de poluentes e/ou contaminantes na água.

O periodograma surge como uma possível ferramenta preliminar para investigar se a sucessão cronológica apresenta ciclos, e para auxiliar na identificação das respectivas amplitude e frequência.

A componente sazonal ou estacional (E_t) pode, de acordo com Murteira (1993), ser caracterizada usando-se modelos determinísticos através de uma análise de regressão em termos de polinómios trigonométricos, já que muitas funções periódicas podem ser representadas por uma combinação linear de senos e cosenos.

Uma alternativa, mais simples e muito utilizada para a definição de curvas padrão, consiste na utilização do método das médias (simples ou móveis).

Esta metodologia tem como principal vantagem a sua fácil programação ou utilização, já que qualquer *software* comercial dedicado a *time series* tem a possibilidade do cálculo e representação gráfica destes índices sazonais.

No modelo multiplicativo, que é o tradicionalmente usado, a componente estacional representa a taxa de acréscimo em relação ao valor médio. Quando o período sazonal é S e para qualquer inteiro k,

$$\sum_{t=k+1}^{k+S} E_t = S \qquad [1]$$

com $S = 2k$ igual ao período sazonal par, define-se a média móvel bilateral e centrada de S termos

$$M_t = \frac{1}{S}\cdot\left(\frac{1}{2}C_{t-\frac{S}{2}} + C_{t-\frac{S}{2}+1} + \ldots + C_t + \ldots + C_{t+\frac{S}{2}-1} + \frac{1}{2}C_{t+\frac{S}{2}}\right) \qquad [2]$$

$$t = \frac{S}{2}+1,\ldots,N-\frac{S}{2}$$

sendo t o instante médio das observações incluídas na média móvel e C_t o caudal de água (ou a concentração dum elemento químico ou o valor dum qualquer parâmetro em análise) no instante t.

Calculando-se os valores:

$$E_j^* = \frac{1}{N-1}\sum_{i=2}^{N}\left[\frac{C_{S(i-1)+j}}{M_{S(i-1)+j}}\right] \qquad j = 1,2,\ldots,k \quad k = S/2 \qquad [3]$$

$$E_j^* = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N-1}\left[\frac{C_{S(i-1)+j}}{M_{S(i-1)+j}}\right] \qquad j = k+1, k+2,\ldots,S \qquad [4]$$

obtém-se a estimativa da componente sazonal

$$E_t = E_t^*\left[\frac{S}{\sum_{i=1}^{S} E_i^*}\right] \qquad t = 1,2,\ldots,S \qquad [5]$$

4. Identificação de Modelos

Dispondo duma sucessão de valores horários de caudais, ou dum parâmetro de controlo da qualidade da água, com observações até ao instante t, $\{C_t, C_{t-1}, C_{t-2}, \ldots\}$, é nosso objectivo caracterizar o valor no instante t, C_t que se considera ser função dos valores históricos, ou seja:

$$C_t = f\left(C_{t-1}, C_{t-2}, \ldots, C_{t-24}, \ldots, C_{t-48,\ldots}\right) \qquad [6]$$

Um modelo ARIMA $(p,d,q)(P,D,Q)_S$ univariado pode ser representado por:

$$\Phi(B)\left[\nabla^d \nabla_S^D (C_t - \mu)\right] = \Theta(B) a_t \qquad [7]$$

em que p e P representam a ordem do polinómio autoregressivo da parte regular e sazonal, respectivamente; q e Q a ordem do polinómio de médias móveis da parte regular e sazonal, respectivamente; ∇^d e ∇^D os operadores diferença; $\Phi(B) = \phi_p(B)\Phi_P(B)$ com $\phi_p(B)$ e $\Phi_P(B)$ representando os polinómios autoregressivos da parte regular e sazonal, respectivamente; $\Theta(B) = \theta_q(B)\Theta_Q(B)$ com $\theta_q(B)$ e $\Theta_Q(B)$ representando os polinómios de médias móveis da parte regular e sazonal, respectivamente; a_t representa um ruído branco e por último, μ é uma constante opcional que identifica o valor esperado para C_t.

Caso se pretendam incluir variáveis independentes explicativas, o modelo pode ser escrito como:

$$\Phi(B)\left[\nabla\left(C_t - \sum_{i=1}^{m} c_i x_{it} - \mu\right)\right] = \Theta(B) a_t \qquad [8]$$

em que $\nabla = (1-B)^d (1-B^S)^D$; x_i - variável independente i e c_i o coeficiente de regressão.

Os processos mistos (autoregressivo e médias móveis) têm-se revelado como modelos parcimoniosos, isto é, com poucos parâmetros, o que é uma característica a procurar.

Em alternativa, podem procurar-se outros modelos como o seguinte:

$$C_t = (\phi_1 C_{t-1})\frac{E_t}{E_{t-1}} + \phi_2 C_{t-24} + \theta_1\left(\frac{C_{t-1}+C_{t-2}}{2}\right) + \\ + \theta_2\left(\frac{C_{t-24}+C_{t-48}}{2}\right) + \varepsilon_t \qquad [9]$$

em que ϕ_1, ϕ_2, θ_1 e θ_2 são números reais e ε_t o erro aleatório.

5. Estimação dos Parâmetros do Modelo

Nesta etapa procede-se à estimação dos parâmetros ϕ_1, $\phi_2,\ldots,\phi_p$, $\theta_1,\theta_2,\ldots$, θ_q. Para a estimação dos parâmetros dos modelos auto-regressivos e de médias móveis existem três metodologias mais utilizadas que são: a máxima verosimilhança, os mínimos quadrados e os momentos.

A estimativa dos parâmetros usando o método dos mínimos quadrados pode fazer-se minimizando:

$$S(\phi_1,\ldots,\phi_p,\theta_1,\ldots,\theta_q,\Phi_1,..\Phi_P,\Theta_1,\ldots\Theta_Q) = \\ = \sum_{t=1}^{N}\left(C_t - \phi_1 C_{t-1} - \phi_2 C_{t-2} - \ldots,\right)^2 \qquad [10]$$

Ora, a minimização da soma do quadrado dos erros pode ser conseguida adoptando uma ferramenta de optimização que recorre ao conceito de gradiente reduzido generalizado, o GRG2 desenvolvido por Leon Lasdon da Universidade do Texas e Allan Waren da Universidade de Cleveland incorporado no Microsoft Excel®.

O problema pode ser formulado através de:

$$\text{Minimizar} \sum_{t=1}^{N}\varepsilon_t^2 = f(\phi_1, \phi_2,\ldots,\phi_p, \theta_1,\theta_2,\ldots,\theta_q) \qquad [11]$$

sujeito a:

$0 \le \phi_i \le 1$;

e

$0 \le \theta_i \le 1$

em que,

$$\sum_{t=1}^{N}\varepsilon_t^2 = \sum_{t=1}^{N}\left[C_t(real) - C_t(mod)\right]^2 \qquad [12]$$

sendo $C_t(real)$ o valor real do parâmetro no instante t e $C_t(mod)$ o valor determinado pelo modelo para o mesmo instante t.

6. Avaliação da Qualidade do Modelo

Para a avaliação da qualidade dum modelo podem seguir-se os diversos procedimentos recomendados em publicações dedicadas à modelação de sucessões cronológicas, como Murteira *et al.* (1993). Os passos são os seguintes:

1. Verificar se os parâmetros estimados são significativamente diferentes de zero;
2. Verificar se os parâmetros estimados estão afastados das regiões de não estacionaridade e de não invertibilidade (o rácio-t em módulo, $|t| \geq 1$);
3. Verificar se as correlações entre estimadores apresentam valores inferiores a 0,7;
4. Verificar se a função de autocorrelação (FAC) residual tem valores dentro dos limites críticos;
5. Verificar se a estatística Q é manifestamente inferior ao quantil 0,95 da distribuição Qui-quadrado com m-p-q graus de liberdade;
6. Verificar se a função de autocorrelação parcial (FACP) residual tem valores dentro dos limites críticos.

A análise da qualidade da aproximação entre o conjunto de valores reais e o determinado pelo modelo pode, também, fazer-se usando como critério o coeficiente de correlação e a raiz do erro quadrático médio, dado pela expressão,

$$REQM = \sqrt{\frac{[C_t(real) - C_t(mod)]^2}{N}} \qquad [13]$$

7. Aplicações

Os procedimentos de análise de sucessões cronológicas preconizados e os modelos estocásticos ARIMA, foram aplicados aos registos de oxigénio dissolvido e turvação medidos em duas secções do rio Ave localizadas em Guimarães.

7.1 Caracterização da Sazonalidade através de Índices

As primeiras tarefas para a análise duma sucessão cronológica de dados de qualidade da água são a representação gráfica dos valores registados e a procura da informação contida. Uma observação rápida da Figura 1 poderia desencorajar qualquer análise. Nesta figura constam os valores horários de oxigénio dissolvido registados na estação de monitorização do INAG 05G/06.

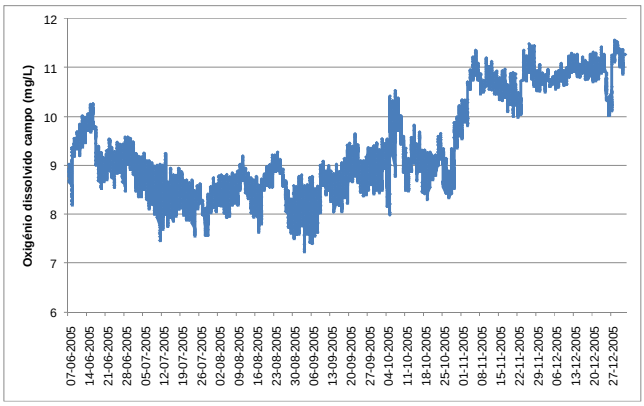


Figura 1. Representação dos valores horários do oxigénio dissolvido registados pela sonda INAG 05G/06.

No entanto, uma procura mais minuciosa revela que a sucessão cronológica apresenta em diversos intervalos de tempo um comportamento sazonal típico, conforme pode constatar-se na Figura 2.

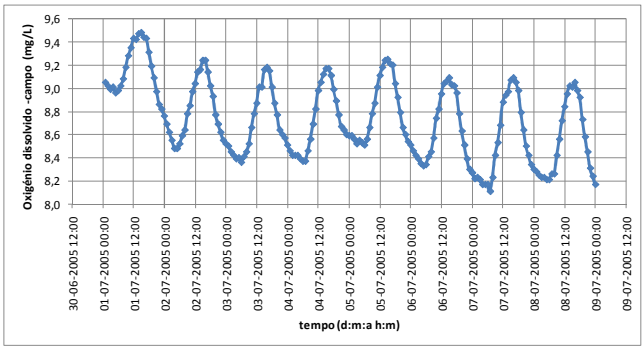


Figura 2. Comportamento sazonal dos valores de oxigénio dissolvido registados pela sonda INAG 05G/06.

Na Figura 3 estão registados os índices sazonais relativos ao oxigénio dissolvido medido pela sonda INAG 05G/06-Taipas registados no intervalo de tempo que consta na Figura 2. Estes índices foram calculados pelo *software* SPSS (2007).

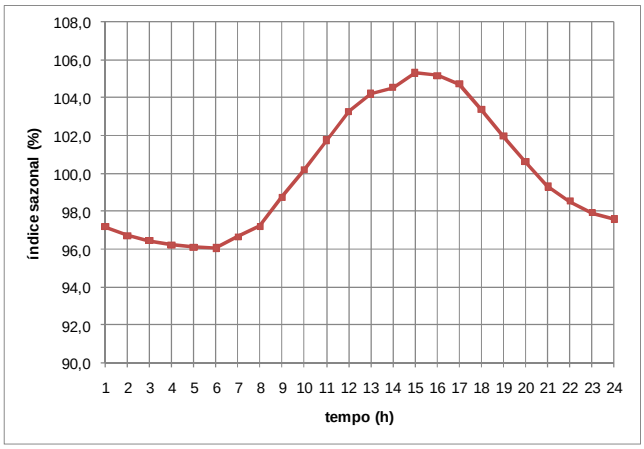


Figura 3. Exemplo de cálculo de índices sazonais relativos ao oxigénio dissolvido registados pela sonda INAG 05G/06.

7.2. Modelo ARIMA Univariado para Oxigénio Dissolvido

Considerando os valores horários registados ao logo das 24 horas pela sonda INAG 05G/06 de 08-06-2005 a 31-12-2005 o modelo que melhor representa a sucessão cronológica de valores do oxigénio dissolvido é o ARIMA $(2,1,5)(1,0,1)_{24}$.

As Figuras 4 e 5 são dois exemplos da aplicação da modelação ARIMA a intervalos de tempo onde os dados apresentam comportamentos distintos.

Nestas figuras estão representados os valores determinados pelo modelo e os valores reais.

O coeficiente de correlação entre os dois conjuntos de valores em todo o intervalo de tempo compreendido entre 08-06-2005 e 31-12-2005 é de r=99,77%.

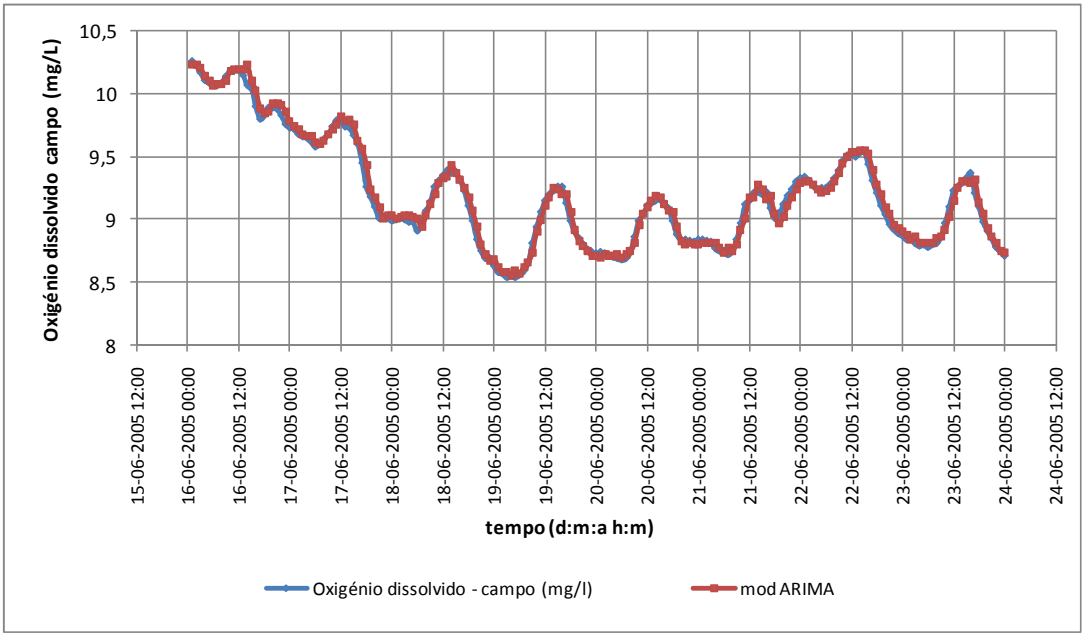


Figura 4. Exemplo 1 do modelo ARIMA(2,1,5)(1,0,1)$_{24}$ para a sucessão cronológica de oxigénio dissolvido considerando os valores registados pela sonda INAG05G/06 de 08-06-2005 a 31-12-2005.

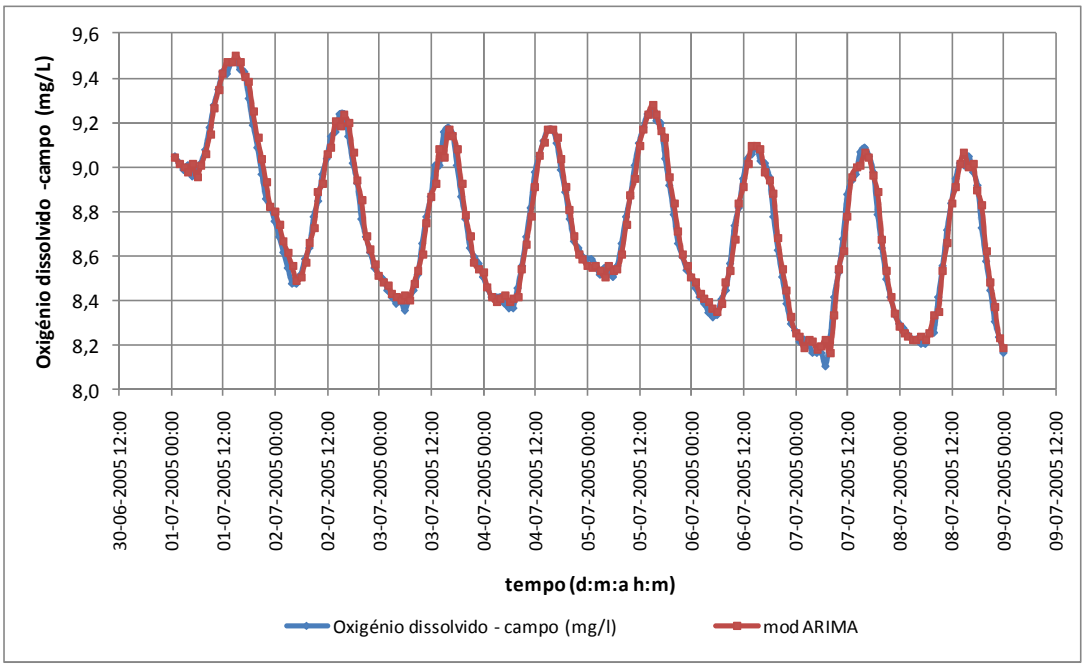


Figura 5. Exemplo 2 do modelo ARIMA(2,1,5)(1,0,1) $_{24}$ para a sucessão cronológica de oxigénio dissolvido considerando os valores registados pela sonda INAG05G/06 de 08-06-2005 a 31-12-2005.

7.3. Modelo ARIMA para Oxigénio Dissolvido Incluindo como Variável Independente o Caudal do Rio

A tentativa de explicar o comportamento sazonal da série de oxigénio dissolvido através dum factor que o condiciona directamente, como é o caudal do rio, leva-nos a recorrer aos modelos representados pela expressão [8], ou seja a incluir no modelo como variável independente o caudal escoado no rio.

A montante do local onde estava instalada a estação de monitorização INAG 05G/06 existem aproveitamentos hidroeléctricos, cujas descargas condicionam o caudal do rio Ave. A medição do caudal na localidade de Garfe que se situa a montante das Taipas apresenta, muitas vezes, a evolução representada na Figura 6.

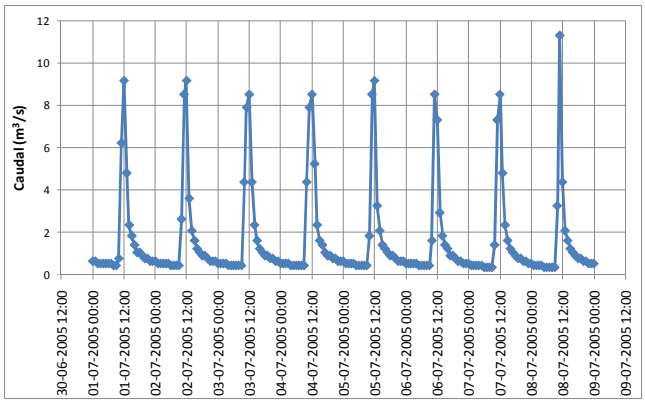


Figura 6. Valores horários do caudal registado em Garfe, a montante do local onde estava instalada a sonda INAG 05G/06.

Incluindo no estudo a variável independente *Q*, o modelo que melhor se ajusta às séries é o ARIMA(2,1,2)(1,0,1)$_{24}$.

Na Figura 7 estão representados os valores determinados pelo modelo e a sucessão cronológica dos registos.

Conforme se pode observar os resultados são semelhantes ao do modelo anterior onde não se considerava o caudal *Q* como variável independente.

O coeficiente de correlação vale, neste caso, *r*=99,75%.

7.4. Utilização da Modelação ARIMA para Realização de Previsões a 24 h.

Neste item recorrer-se-á à modelação ARIMA para a realização duma previsão a 24 h do oxigénio dissolvido. A título de exemplo mostrar-se-á a previsão para as 24 h do dia 09-07-2005 usando como dados os registos de oxigénio dissolvido entre 01-07-2005 e 08-07-2005.

Na Figura 8 pode verificar-se que relativamente ao dia 09-07-2005 só constam os dados históricos. O coeficiente de correlação entre os dois conjuntos de valores (registos *vs* Previsão) é *r* = 98,89%.

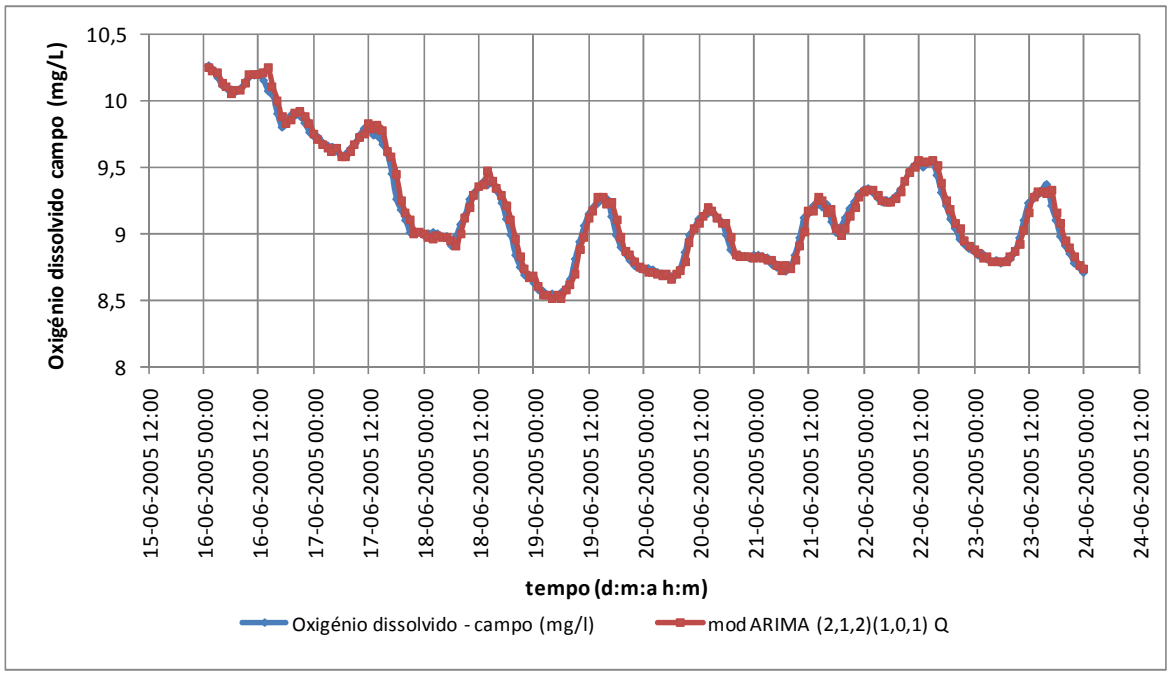


Figura 7. Exemplo do modelo ARIMA(2,1,2)(1,0,1)$_{24}$ incluindo *Q* como variável independente.

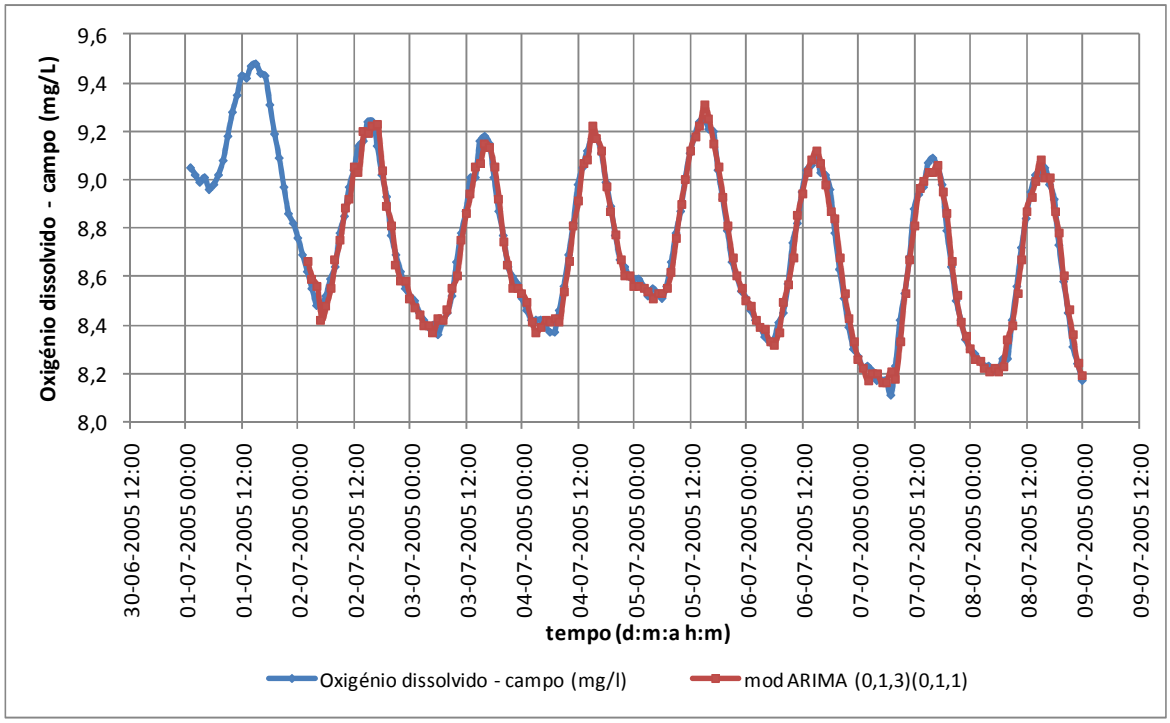


Figura 8. Previsão para 24 h do dia 09-07-2005 usando o modelo ARIMA(0,1,3)(0,1,1)$_{24}$ para a sucessão cronológica de oxigénio dissolvido, considerando os valores registados pela sonda INAG05G/06 entre os dias 01-07-2005 e 08-07-2005.

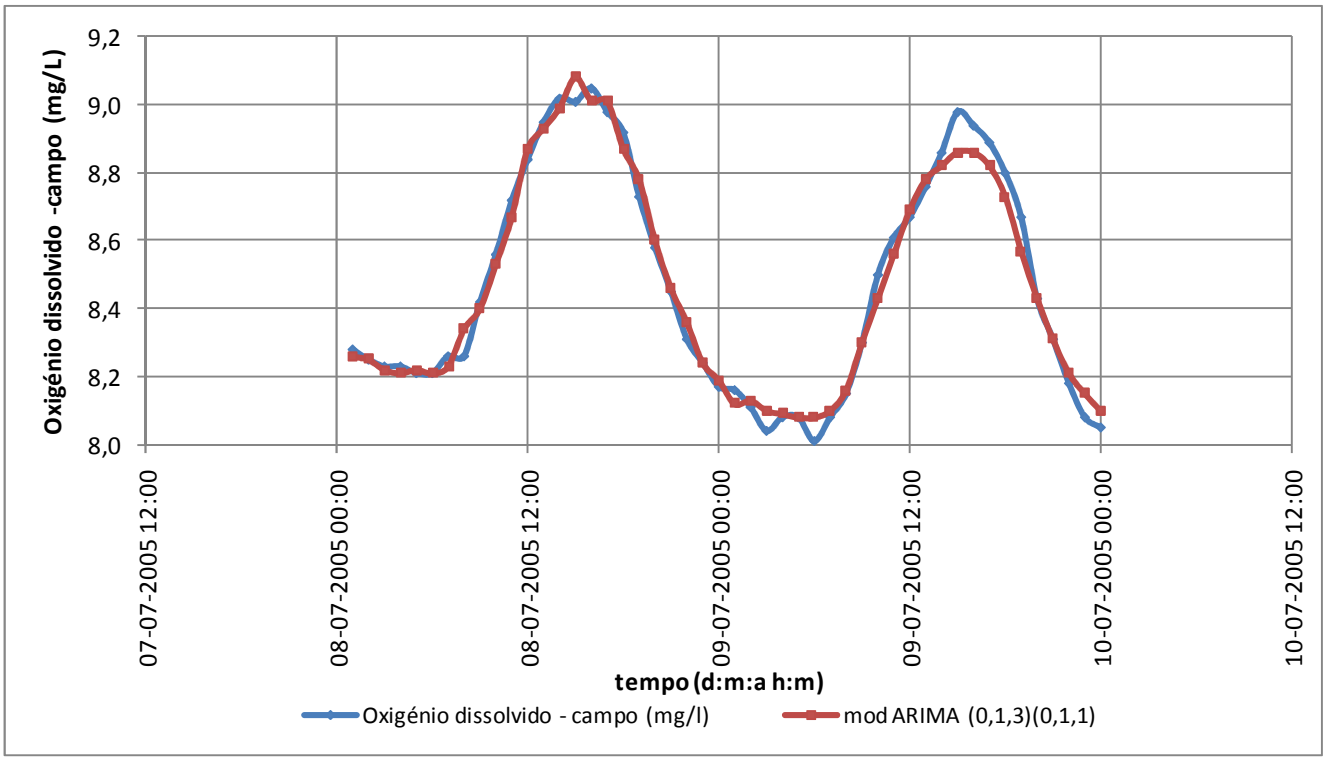


Figura 9. Pormenor dos valores previstos a 24 h usando o modelo ARIMA(0,1,3)(0,1,1)$_{24}$ *versus* valores registados no dia 09-07-2005.

7.5. Modelo ARIMA Univariado para Turvação

Fazendo a análise da sucessão cronológica dos valores da turvação registados pela sonda INAG 05G/06 de 08-06-2005 a 24-07-2005, o modelo ARIMA(2,0,1)(1,01)$_{24}$ é o que apresenta melhor qualidade.

Na Figura 10 estão representados os valores determinados pelo modelo e os valores reais. Neste caso o coeficiente de correlação entre os dois conjuntos de valores é de r=92,91%.

7.6 Análise de Sucessões Cronológicas de Resultados Laboratoriais

Os resultados de análises laboratoriais disponíveis para estudo são relativos a amostras de água do rio Ave recolhidas nas captações de Bioso - Gondomar e das Taipas/Prazins Sta. Eufémia, recolhidas, em geral, de duas em duas semanas.

Neste estudo far-se-á a análise comparativa da evolução da turvação nestas duas captações.

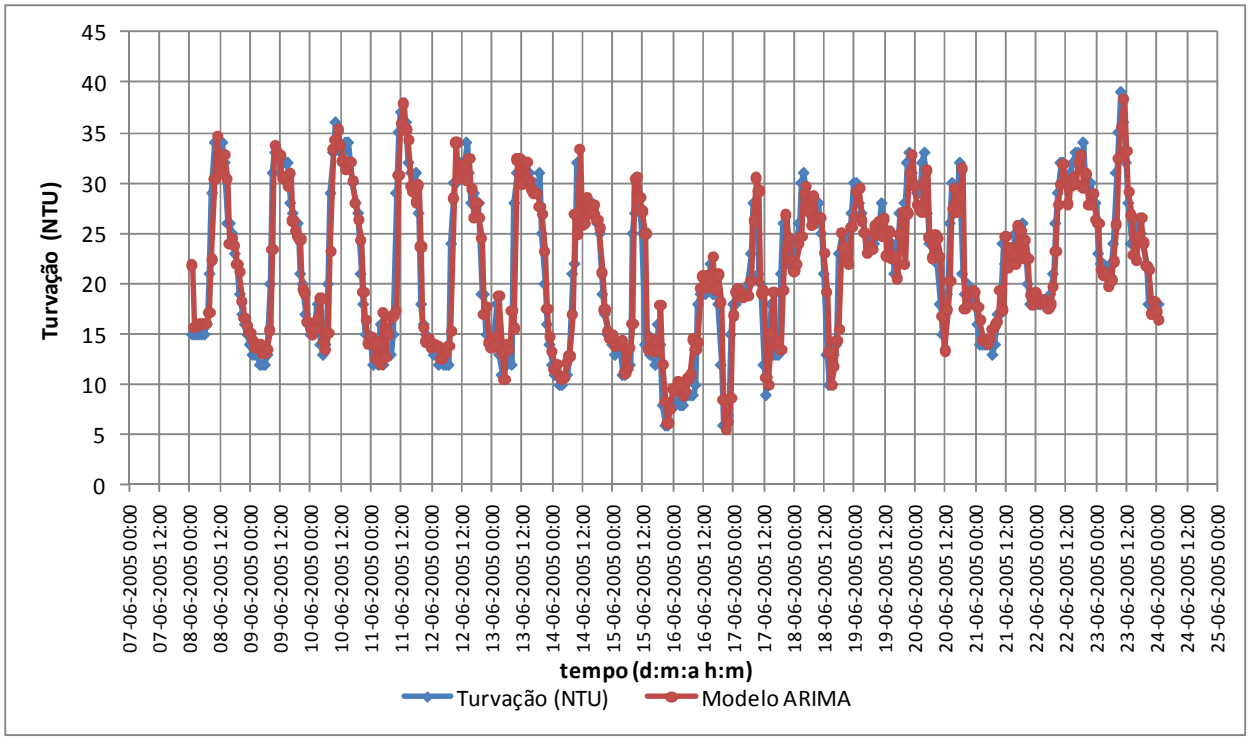


Figura 10. Modelo ARIMA(2,0,1)(1,01)$_{24}$ *verus* valores de turvação registados pela sonda INAG05G/06 entre os dias 08-06-2005 e 24-06-2005.

A observação da Figura 11 revela que existem valores que destoam da sucessão cronológica. O primeiro passo será a remoção destes *outliers* da série. O passo seguinte foi procurar uma relação entre os valores das duas sucessões cronológicas de turvação relativas às duas captações.

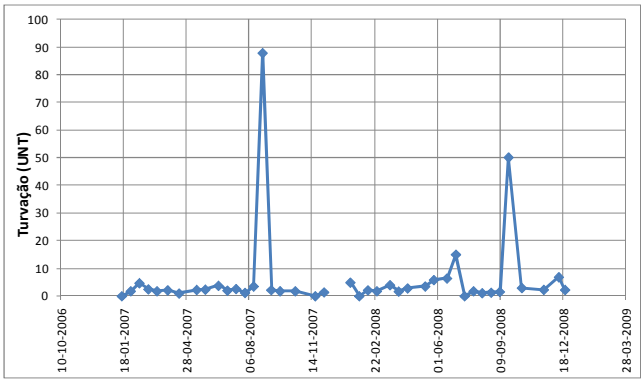


Figura 11. Resultados de análises laboratoriais – Turvação na captação das Taipas/Prazins Sta. Eufémia.

Usando uma técnica de optimização para minimizar a soma do quadrado do erro no intervalo considerado chegou-se à seguinte expressão:

$$Turv_{Taipas} = 1{,}32 Turv_{Gondomar} \qquad [14]$$

em que $Turv_{Taipas}$ representa a turvação na captação das Taipas e $Turv_{Gondomar}$ a turvação na captação de Gondomar.

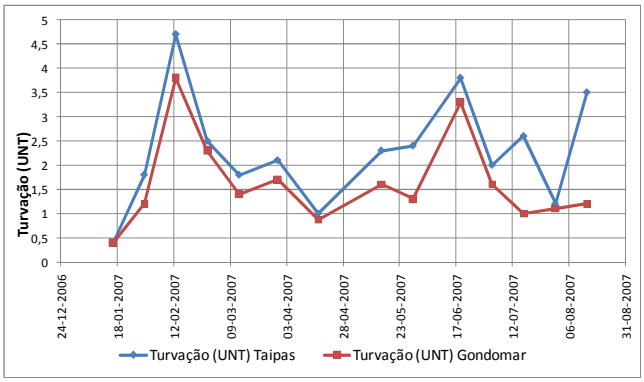


Figura 12. Resultados de análises laboratoriais – Turvação nas captações das Taipas/Prazins Sta. Eufémia e de Bioso-Gondomar.

A procura dum modelo que quantificasse a turvação nas Taipas a partir dos valores anteriormente verificados e dos relativos à captação de montante sita em Bioso-Gondomar conduziu à seguinte expressão:

$$\left(Turv_{Taipas}\right)_t = 1{,}075\left(Turv_{Gondomar}\right)_t + 0{,}182\left(Turv_{Taipas}\right)_{t-1} \qquad [15]$$

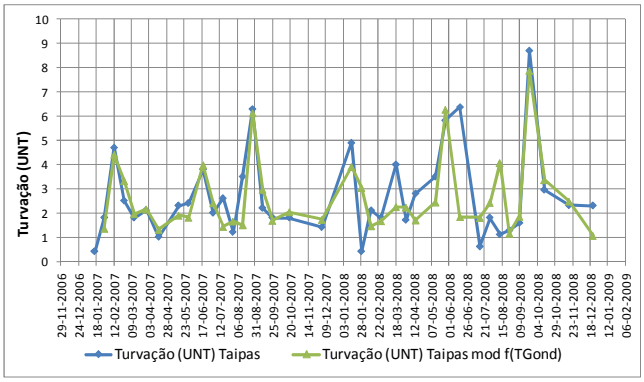


Figura 13. 1.º Modelo para a Turvação nas captações das Taipas/Prazins Sta. Eufémia *versus* valores reais.

O coeficiente de correlação entre os valores determinados pelo modelo e os valores reais da turvação nas captações das Taipas/Prazins Sta. Eufémia foi de r=73%.

Em alternativa, recorreu-se à modelação ARIMA, considerando a turvação na captação de Bioso-Gondomar como variável independente. O melhor modelo é o ARIMA(3,0,1) cujo coeficiente de correlação r=81%.

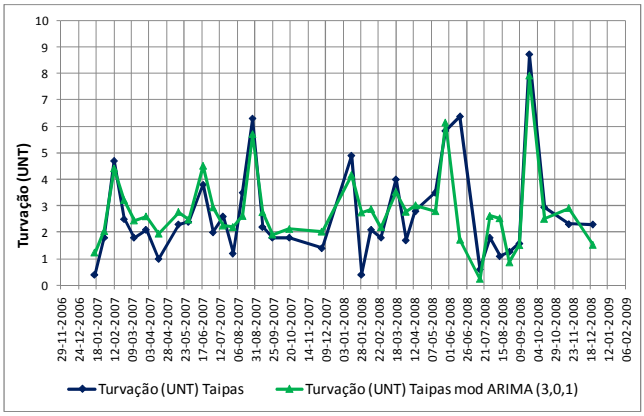


Figura 14. Modelo ARIMA (3,0,1) para a Turvação nas captações das Taipas/Prazins Sta. Eufémia com Turvação em Gondomar como variável independente *versus* valores reais.

8. Conclusões

Para a implementação de políticas e programas operacionais racionais, optimizados e sustentáveis, de gestão das bacias hidrográficas, é necessário que estejam disponíveis ferramentas que procedam à caracterização, modelação e previsão da quantidade e da qualidade da água.

À realização de previsões para um qualquer parâmetro de qualidade da água dum rio está sempre associado um grau de incerteza quanto ao comportamento que apresentará no futuro.

A aleatoriedade dos factores climáticos, especialmente da precipitação, a irregularidade das diversas afluências, a heterogeneidade das descargas de águas residuais e a incerteza relacionada com a tentativa de prever o futuro justificam a utilização de ferramentas estocásticas para a análise e modelação destas sucessões cronológicas.

A caracterização, modelação e previsão das sucessões cronológicas de caudais e de parâmetros de qualidade da água são tarefas indispensáveis para a vigilância e controlo da qualidade, seja nas origens ou nos sistemas urbanos de utilização da água.

A caracterização do comportamento típico ao longo dum ciclo diário, dos valores registados numa determinada secção dum rio, ajuda na identificação de comportamentos anómalos.

A modelação de dados recolhidos num local a montante duma estação de tratamento e a aplicação dum procedimento de previsão permitem em caso de eventual situação anómala a emissão dum aviso de alerta e o desencadear de procedimentos que evitem ou mitiguem os efeitos da afluência ao sistema de abastecimento de água com qualidade imprópria.

Os modelos auto-regressivos, integrados e de médias móveis têm, em geral, a capacidade de se ajustar bem às variações distintivas das sucessões cronológicas de valores horários de caudais e de parâmetros de qualidade da água, conforme se constatou pelas aplicações a casos concretos.

A sua aptidão fica provada através dos critérios de aferição da qualidade dos modelos de análise de sucessões cronológicas e dos elevados coeficientes de correlação.

Estes indicadores conferem o bom ajuste dos modelos ARIMA e indicam que esta metodologia de análise e de modelação pode ser usada para a realização de previsões a curto prazo dos caudais e dos parâmetros de qualidade de águas superficiais.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto da Água INAG, IP e à Vimágua, E.I.M, SA a disponibilização dos dados usados neste trabalho.

Referências

Anderson, Paul L.; Yonas Gebeyehu Tesfaye & Mark M. Meerschaert (2007). *Fourier-PARMA Models and Their Application to River Flows*. J. Hydrologic Engrg. Volume 12, Issue 5, pp. 462-472 (Sep./Oct. 2007).

Box, G.E.P. & G.M. Jenkins, (1970). *Time series analysis forecasting and control*, San Francisco.

Bruen, Michael, M. & Jianqing Yang. (2006) *Combined Hydraulic and Black-Box Models for Flood Forecasting in Urban Drainage Systems*. J. Hydrologic Engrg. Volume 11, Issue 6, pp. 589-596 (Nov./Dec. 2006).

Ferreira da Silva, Júlio F. (2008). Modelação e previsão de utilizações de água usando uma ferramenta de optimização para a estimação de parâmetros, Revista Engenharia Civil n.º 33, pp 53-64.

Ferreira da Silva, Júlio F. & Marta Pinto, (2006). *Caracterização, modelação e previsão de utilizações de água utilizando ferramentas estatísticas*, 8.° Congresso da Água, Figueira da Foz, 13-17 Março.

Murteira, Bento J.F., Daniel A. Muller & K. Feridun Turkman. (1993). *Análise de sucessões cronológicas*, McGraw-Hill, Lisboa.

SPSS (2007). *Manual do Software* SPSS V17, SPSS Inc.

Srinivasulu, Sanaga & Ashu Jain (2009). *River Flow Prediction Using an Integrated Approach*. J. Hydrologic Engrg. Volume 14, Issue 1, pp. 75-83 (Jan. 2009).

Sun, Hongbing & Manfred Koch. (2001). *Case Study: Analysis and Forecasting of Salinity in Apalachicola Bay, Florida, Using Box-Jenkins ARIMA Models*. J. Hydr. Engrg. Volume 127, Issue 9, pp. 718-727 (Sep. 2001).

Vazquez-Amabile, Gabriel G. & Bernard A. Engel (2008). *Fitting of Time Series Models to Forecast Streamflow and Groundwater Using Simulated Data from SWAT*. J. Hydrologic Engrg. Volume 13, Issue 7, pp. 554-562 (Jul. 2008).

©2009, ISBN 978-972-99991-8-5

DOMÍNIO PÚBLICO HÍDRICO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO AVE. UMA BREVE PERSPECTIVA HISTÓRICA
Public Waters in Basin of Rio Ave. A Brief Historical Perspective

FRANCISCO SILVA COSTA
Professor Auxiliar, Departamento de Geografia, Instituto de Ciências Sociais, Universidade do Minho
Campus de Azurém, 4810-058, Guimarães
costafs@geografia.uminho.pt

Resumo

Este artigo tem por base o trabalho de pesquisa que decorreu no Arquivo da Administração da Região Hidrográfica do Norte, onde foram analisados 23.249 processos relativos ao Domínio Público Hídrico da Bacia Hidrográfica do rio Ave.

Palavras-chave: Licenciamento, usos da água, formas de ocupação, impactes.

Abstract

This article is based on a research work that took place in the Archive of Administração da Região Hidrográfica do Norte, where 23.249 cases related with the public hydric domain from river Ave were analyzed.

Keywords: Licensing, uses of water, forms of occupation, impacts.

1. Introdução

O trabalho de pesquisa para o caso de estudo apresentado decorreu no Arquivo da ARH-NORTE, onde foram consultados 23249 processos relativos ao Domínio Público Hídrico (DPH)[1].

O período de tempo analisado decorre entre 1902 e 1973, resultando as razões da escolha deste intervalo de tempo de duas justificações:

- o arquivo que serviu de base encontra-se organizado em pastas, a partir de 1902, de forma sistemática, com um conjunto de processos numerados que varia de ano para ano;
- foram considerados 72 anos, terminando em 1973 em virtude da publicação da Portaria 953 de 31 de Dezembro de 1973, que veio redefinir as áreas de jurisdição de cada Direcção Hidráulica. Esta portaria reformou a organização das divisões hidráulicas a partir das bacias hidrográficas, instituindo um quadro de carácter mais administrativo o que provocou a dispersão dos arquivos a partir dessa data.

2. Aspectos Metodológicos

Depois de analisados 23.249 processos relativos ao DPH, foram validados 31.837 registos numa base de dados, tendo em conta, os seguintes conjuntos de campos, Figura 1:

- identificação – tipo de processo e requerente;
- descrição – breve sumário do objecto dos processos;
- referências geográficas – localização relativa ao conteúdo do processo;
- procedimentos administrativos – andamento do processo.

N.º	Tipo	Nome
753-1952	Licenciamento	António Torres Moreira

Descrição	Características Técnicas
Construção de poço, ligando-o à corrente por meio de cano; construção de muro de suporte w outro de vedação; instalação de canalização subterrânea e construção de cabina, para rega	1m; 128x1; 35x3; 142 m; 11.000m²

Curso de Água	Sub-bacia	Margem	Concelho	Freguesia	Lugar
Macieira	Ave	ME; MD	Vila do Conde	Macieira da Maia	Igreja

Data de Entrada	Data de Despacho	Andamento	Forma de Despacho
11.12.1952	9.2.1953	Inquérito público	Alvará de Licença; Título de Responsabilidade; Ligação ao Processo 1169-52

Figura 1. Campos considerados na elaboração da base de dados.

A distribuição geográfica dos registos, ao nível da freguesia, permite ter uma perspectiva mais aproximada, da expressão espacial das variáveis em análise.

A primeira conclusão prende-se com as 21 freguesias que não possuem representatividade, e que correspondem a 6,5% do número total de freguesias abrangidas pela área da bacia hidrográfica.

São 21 freguesias que pertencem a 13 concelhos e que na maior parte se situam nas franjas do limite da bacia hidrográfica do rio Ave, sendo, no entanto, de realçar, que 5 freguesias, 4 de Guimarães e 1 de Vila Nova de Famalicão, estão localizadas no interior da mesma, Figura 2.

[1] Este artigo é resultante duma investigação enquadrada no âmbito da Tese de Doutoramento "A gestão das águas públicas – O caso da bacia hidrográfica do rio Ave no período 1902-1973", defendida na Universidade do Minho, em 2008.

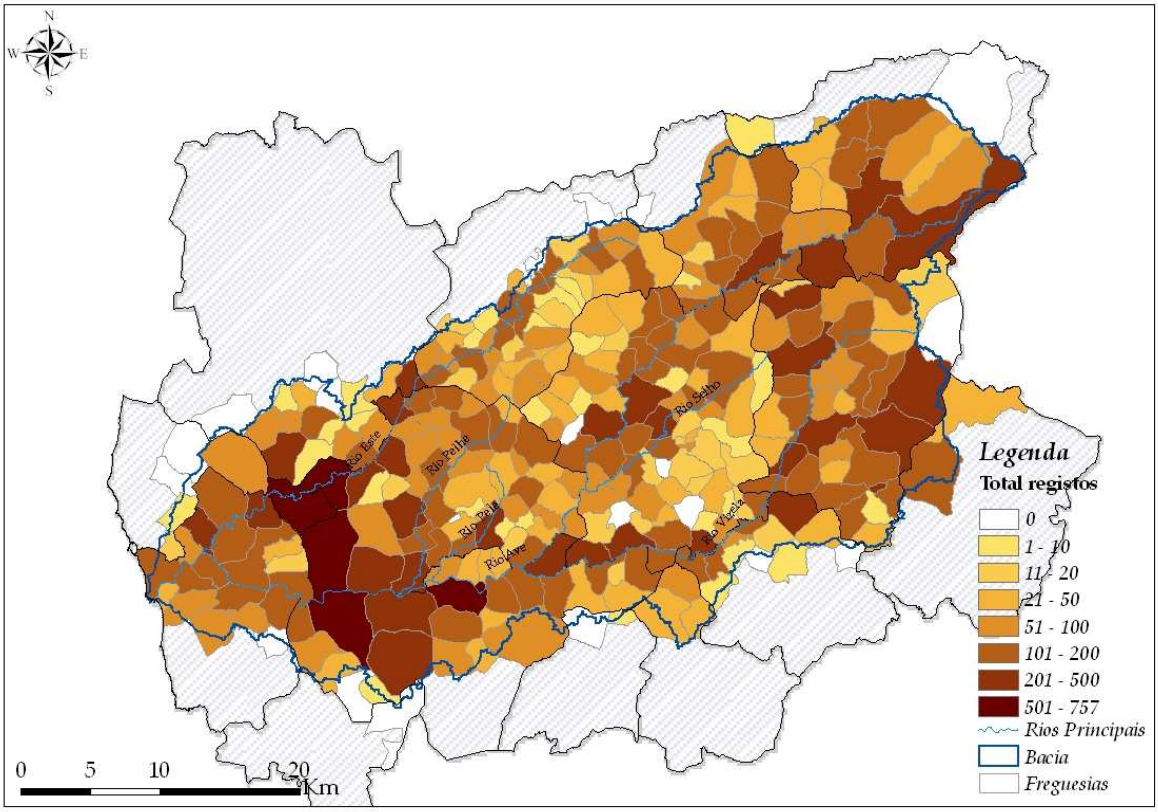


Figura 2. Total de registos por freguesias.

Embora se verifique uma grande heterogeneidade na distribuição dos registos por freguesia, é possível, no entanto, estabelecer áreas-tipo:

- uma mancha contínua que atravessa o curso inferior do rio Ave, e que corresponde às freguesias mais ocidentais dos concelhos de Santo Tirso (Bougado-Santiago, Santo Tirso, Bougado-São Martinho e Covelas), Vila Nova de Famalicão (Fradelos, Gondifelos, Ribeirão e Lousado), e de Póvoa de Varzim (Balazar). Trata-se da área da bacia onde se concentra o maior número de registos;
- um elevado número de registos diz respeito às freguesias do baixo Ave (superior a 200);
- as freguesias ribeirinhas dos principais cursos de água da bacia (Ave, Este e Vizela) e de algumas nas áreas de confluência (Selho com Ave, Ferro e Bugio com Vizela) estão associadas a elevados valores de ocorrência;
- muitas freguesias do alto Ave, nomeadamente nos concelhos de Fafe e Vieira do Minho, possuem um número elevado de registos;
- as freguesias das sedes de concelho revelam também uma certa dinâmica em termos de procedimentos administrativos;
- as freguesias com menor frequência de registos tendem a localizar-se nas áreas mais afastadas das sedes dos respectivos concelhos e manifestam uma maior dispersão.

3. Processos de Licenciamento e Procedimentos Administrativos – Alguns Resultados

Os registos foram agrupados conforme a sua natureza administrativa, em licenciamentos e afins, procedimentos jurídicos e processos de reivindicação e serviços internos.

Nos processos de licenciamento, teve-se em conta as seguintes categorias, em função da importância administrativa:

- a concessão – refere-se à transferência temporária do direito de exploração dum serviço público para uma entidade privada (concessionária);
- o licenciamento – entendida como faculdade concedida a privados e outras entidades públicas;
- a legalização – refere-se aos procedimentos ilegais que precisavam de certificação conforme a lei;
- a autorização – consiste num pedido simples devidamente referenciado e regulamentado;
- a participação – é o acto administrativo mais simplificado e que consiste na comunicação verbal do requerente ao representante local das autoridades oficiais;
- a prova testemunhal – meio de reconhecimento da pertença dum aproveitamento hidráulico muito antigo.

A quase totalidade dos registos (87%) é referente a "licenciamentos e afins", Quadro 1, sendo constituída, essencialmente, por requerimentos ligados ao uso das águas públicas ou à ocupação do DPH.

Dos 31.837 registos, mais de metade (56,3%) referem-se a pedidos de licenciamentos.

Os processos de licenciamento, de concessão e por inerência os processos de legalização, constituem 20.064 registos, o que corresponde a 70% do total de registos da bacia hidrográfica do rio Ave.

Quadro 1. Total absoluto e relativo de registos, por tipo de procedimento administrativo.

Tipo de procedimento administrativo		Total	%
Licenciamentos e afins	*Concessão*	59	0,2
	Licenciamento	17915	56,3
	Legalização	2090	6,6
	Autorização	2746	8,6
	Participação	3182	10,0
	Prova testemunhal	1683	5,3
Procedimentos jurídicos e processos de reivindicação	*Transgressão*	2535	8,0
	Reclamação	482	1,5
	Intimação	17	0,1
	Notificação	34	0,1
	Exposição	23	0,1
Serviços internos	*Circulares, ordens e notas de serviço*	246	0,8
	Correspondência	59	0,2
	Portaria 953/73	766	2,4
	Total acumulado	31837	100,0

Destaca-se o predomínio dos pedidos associados à licença (90%) e o baixo número relacionado com a concessão. Importante, sem dúvida, é a relação entre o número de processos entrados e de processos diferidos, que atinge valores superiores a 90%, com excepção das concessões, Quadro 2.

Quadro 2. Total absoluto e relativo de processos de licenciamento diferidos.

Tipo de procedimento administrativo	Total	Diferido	%
Concessão	59	35	59,32
Licenciamento	17.915	16.662	93,01
Legalização	2090	1908	91,29
Total	20.064	18.605	92,73

Vários motivos podiam levar ao arquivamento dos processos. Dos 1459 registos arquivados, mais dum terço (569) não têm causa conhecida (S/r. na Figura 3).

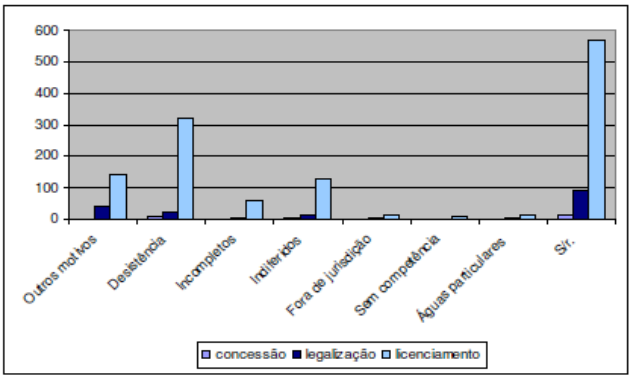


Figura 3. Causas do arquivamento de processos de licenciamento.

É de salientar o facto de, somente em 129 situações, se ter verificado despacho de indeferimento (0,73% do universo dos registos), um valor muito baixo que reflecte o normal funcionamento administrativo dos pedidos apresentados.

A abertura de inquérito público tornou-se um processo administrativo obrigatório em várias situações, relacionadas com modificações no leito e nas margens, ou com outras obras ou utilizações com interferência em direitos de terceiros. No caso da bacia hidrográfica do rio Ave, e tendo em conta o tipo de processos referidos, foram abertos 4987 inquéritos públicos, o que corresponde a quase 25% do total de registos, Quadro 3.

Quadro 3. Total absoluto e relativo de inquéritos públicos, reclamações e vistorias.

Processo	Total	Inquérito público	%	Reclamação	%	Vistoria	%
Concessão	59	11	18,64	7	63,64	2	28,57
Legalização	2090	518	24,78	77	14,86	18	23,38
Licenciamento	17915	4458	24,88	595	13,35	190	31,93
Total	20064	4987	24,86	679	13,62	210	30,93

Destes quase 5000 inquéritos públicos, resultaram 679 reclamações (13,6%), um valor que vem demonstrar o baixo nível de conflitualidade, se tivermos em conta que, somente em 210 situações ocorreram vistorias. Embora na maior parte das reclamações se desconheça o desfecho final, Figura 4, existiam também outros resultados:

- o acordo entre as partes envolvidos ocorreu em 244 vezes (quase 35% do total);
- somente 3% das reclamações acabaram em tribunal;
- o número de desistências (11) e de reclamações sem fundamento (7) é também muito baixo.

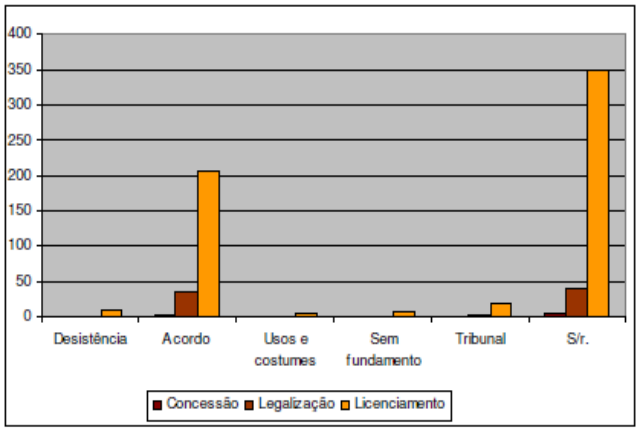


Figura 4. Resultado das reclamações apresentadas em inquérito público.

Dos processos com diferimento, em quase 8% foi solicitada a prorrogação ou revalidação, sendo que a maior parte desses pedidos (85%) correspondem a revalidações, Quadro 4.

Quadro 4. Total absoluto e relativo de prorrogações e revalidações.

Tipo	Prorrogação	%	Revalidação	%	Total	%
Concessão	4	0,02	0	0	4	0,02
Legalização	12	0,06	10	0,05	22	0,11
Licenciamento	208	1,04	1230	6,13	1438	7,17
Total	224	1,12	1240	6,18	1464	7,87

4. DPH – Usos, Utilizações e Formas de Ocupação

São múltiplas as utilizações dos recursos e meios hídricos e diversas as formas seguidas para codificar tais utilizações. É assim possível identificar três grandes conjuntos, no que respeita ao DPH na bacia hidrográfica do rio Ave, no período que decorreu entre 1902 e 1973:

- a utilização e os principais usos das águas públicas;
- a ocupação do leito e das margens, destacando-se as obras que serviram de suporte à utilização das águas públicas;
- os problemas e os impactes de tais licenciamentos, principalmente as formas mais agressivas de utilização e ocupação do DPH.

Dentro das actividades que apresentaram maior relação com o DPH, destacam-se as práticas agrícolas e a indústria têxtil. As práticas agrícolas representam metade do total de registos, Figura 5, destacando-se a rega, que contabiliza 6655.

A evolução de anos secos e anos húmidos é um dos principais factores na variação do número de pedidos de captação de água para rega, Figura 6.

No caso dos registos relacionados com o linho, verifica-se uma distribuição temporalmente concentrada entre 1914 e 1937, o que torna esta actividade como a mais importante durante quase todo este período.

No entanto, contrariamente ao que acontece com os registos associados a outras actividades, os processos associados ao linho deixam praticamente de dar entrada nos Serviços Hidráulicos, a partir da década de 40.

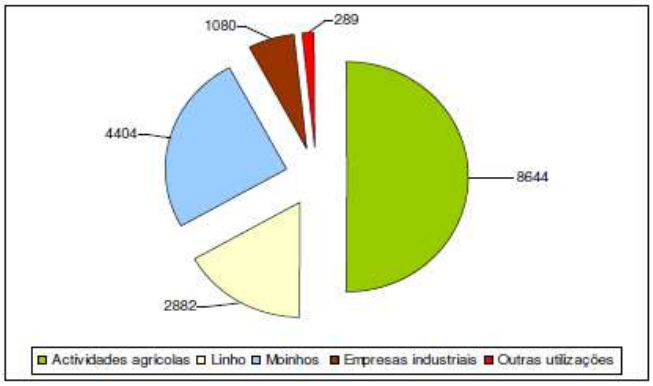


Figura 5. Distribuição absoluta dos registos por principais actividades.

Embora em alguns troços de rios, a maceração do linho tenha sido proibida ou condicionada, não há registo de casos de degradação ambiental, o que revela o baixo grau de risco de poluição associado a este tipo de actividade.

Os moinhos são a segunda actividade mais representativa em termos de registos, sendo de destacar a concentração destes no início dos anos quarenta, decorrente do período de legalização, a partir do Decreto-Lei n.º 30.850 de 5 de Novembro de 1940.

Tradicionalmente, a água foi sendo utilizada como força motriz em moinhos ou azenhas, serrações, engenhos.

Tratam-se, em geral de pequenas instalações de tipo artesanal, na sua maioria antigas, muitas delas desactualizadas ou que foram sendo abandonadas, quase sempre implicando a retenção da água, por meio de açudes e a sua derivação, com restituição posterior ao curso de água.

São instalações tradicionais que desempenharam um papel de certo relevo na economia local. Neste tipo de utilização não se verificaram, em regra, fenómenos de poluição da água.

Os registos sobre empresas industriais só começam a ganhar relevância a partir da década de 50, constituindo o segundo maior volume de processos a partir da década seguinte.

O uso da água pela indústria e a sua implantação no DPH aparece mesmo assim como actividade com menor expressão, relativamente aos restantes pedidos.

A utilização da água por parte da indústria é realizada de forma excessivamente concentrada na confluência dos principais rios situados no médio Ave e com o predomínio claro do sector têxtil.

No que respeita às diferentes actividades com maiores impactes no corredor fluvial, destacam-se as acções ligadas à regularização dos cursos de água, Figura 7, sendo a principal obra, a construção de muros marginais.

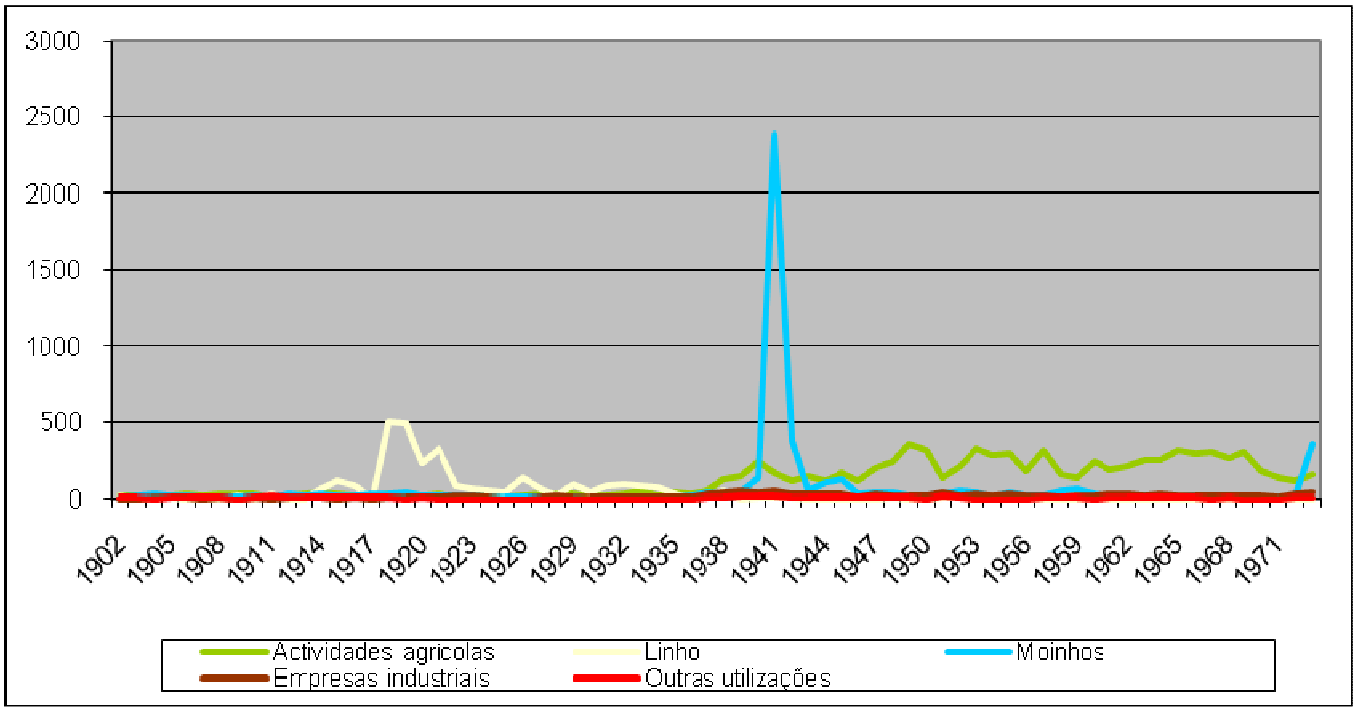


Figura 6. Variação do total de registo relativo às principais actividades, entre 1902 e 1973.

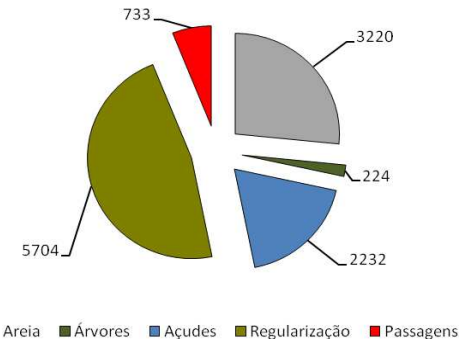


Figura 7. Total de registos por principais tipos de intervenção no DPH.

A segunda actividade antrópica mais relevante no sistema fluvial da bacia hidrográfica do rio Ave foi a extracção de inertes.

Outro aspecto importante tem a ver com o período em que decorreram este conjunto de intervenções. Podemos falar duma conjuntura que permitiu uma concentração destas intervenções nos corredores fluviais dos principais rios entre as décadas de 40 e 60, Figura 8, o que associado ao aumento da poluição industrial na mesma altura, provocou a intensificação da degradação do ambiente aquático.

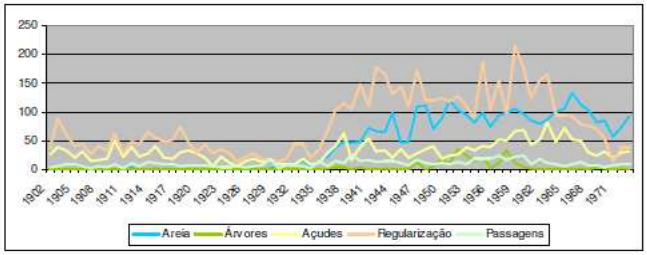


Figura 8. Variação do total de registos por principais tipos de intervenção no DPH, entre 1902 e 1973.

5. Considerações finais

Há um elemento que evidencia a interacção entre o ambiente e as características socioeconómicas da área: a água. De facto sempre que se verificaram períodos de maior deterioração, as actividades mais dependentes do seu uso, como a agricultura e a indústria têxtil, foram prejudicadas, tornando-se, em simultâneo, as consumidoras e as agressoras.

A situação do recurso água tornou-se pois paradigmática, porque tem desempenhado o papel de elemento fundamental de todo o sistema hidrológico do rio Ave, bem como esteve na base do desenvolvimento que vigorou no período estudado, apresentando virtualidades inquestionáveis, do ponto de vista económico. Torna-se assim evidente o efeito estruturante que o rio Ave e a sua rede hidrográfica desempenharam na modelação do espaço físico, económico e social. Faz por isso sentido falar dum modelo de território hidrológico, historicamente construído para a bacia do rio Ave.

Um modelo que apresenta lacunas, defeitos e problemas, mas também um conjunto de virtudes que convém identificar e sistematizar.

Os principais problemas decorrem da orientação subjacente à gestão da água e do planeamento dos recursos hídricos desenvolvida pelos Serviços Hidráulicos:

- baseou-se numa abordagem essencialmente técnica e institucional;
- visando a exploração das várias origens da água e a satisfação das várias necessidades, teve como principal preocupação, uma visão quantitativa dos recursos hídricos, centrando a sua actuação num modelo baseado na oferta;
- sustentou a sua acção numa programação a curto prazo dos recursos hídricos, promovendo uma gestão "corrente" das águas públicas;
- revelou uma fraca participação dos particulares e outros agentes directamente envolvidos;
- demonstrou problemas históricos de financiamento, partindo, assim, de níveis de infra-estruturas bastante baixos, e com reduzida capacidade de intervenção em casos coercivos.

Este modelo institucional também possibilitou:

- uma política de proximidade, com particular relevo no papel desempenhado pelos guarda-rios;
- uma estrutura de gestão operacional, com âmbito espacial e responsabilidade bem definidos;
- o bom relacionamento entre os Serviços Hidráulicos e os particulares;
- a baixa conflitualidade em torno da água – os hidro-conflitos;
- a celeridade dos processos administrativos mais simples.

De facto, estamos perante um modelo em que houve uma adaptação local às oportunidades que as águas públicas possibilitaram:

- como recurso natural – na pesca e na colocação de barracas de banhos nas praias públicas;
- como recurso hidráulico - no aproveitamento hidráulico e na produção hidroeléctrica;
- como recurso estratégico – assumindo-se como suporte no desenvolvimento das actividades económicas de base, em toda a bacia, numa perspectiva locativa e complementar - a agricultura, a moagem e a indústria têxtil;
- como recurso aliado às especificidades funcionais locais - o caso dos lagares de azeite, no sector superior do rio Este e no alto Ave e os curtumes na cidade de Guimarães;
- como recurso potencial, em função das particularidades naturais de algumas zonas e em determinadas conjunturas socioeconómicas – o exemplo do linho e do minério.

Por outro lado, trata-se dum modelo centrado numa intensa utilização dos cursos de água e uma forte ocupação do seu DPH, tornando-se:

- um recurso ameaçado – pelas diferentes formas de poluição industrial;
- um recurso modificado – com a extracção de inertes e as obras de regularização.

Mais do que a perspectiva unitária da bacia hidrográfica em termos de planeamento e da gestão dos recursos hídricos, mais do que um conjunto de sub-bacias com comportamentos hidrológicos distintos, ou à escala local, a bacia de drenagem como referência geomorfológica, ou dum ponto de vista mais integrado, a bacia vertente, devemos reconhecer a bacia hidrográfica do rio Ave como um território hidrológico, historicamente construído.

Referências

Costa, F.S. (2008). A gestão das águas públicas – O caso da Bacia Hidrográfica do rio Ave no período 1902-1973, Dissertação de doutoramento, Braga, 857 pp.