



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)

## Análise de Pressões à Escala Espacial numa Bacia Hidrográfica de Características Mediterrânicas (Bacia do Pardiela-Guadiana, Portugal)

Manuela Morais<sup>1</sup>, Ana Pedro<sup>2</sup>, Joana Rosado<sup>2</sup>, Antônio Serafim<sup>2</sup>, Helena Silva<sup>2</sup>,  
 Maria do Carmo Sobral<sup>3</sup>, David Brito<sup>4</sup>, Ramiro Neves<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Laboratório da Água da Universidade de Évora, CGE – Centro de Geofísica de Évora. Rua da Barba Rala nº 1, 7000, Évora Portugal. Endereço eletrônico: [mmorais@uevora.pt](mailto:mmorais@uevora.pt); <sup>2</sup>Laboratório da Água da Universidade de Évora, CGE – Centro de Geofísica de Évora. Rua da Barba Rala nº 1, 7000, Évora Portugal; <sup>3</sup>Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, PE – Brasil; <sup>4</sup>IMAR – Instituto de Pesquisa Marinha, Departamento de Zoologia, Universidade de Coimbra, 3000-517 Coimbra, Portugal

Artigo recebido em 10/10/2012 e aceito em 11/10/2012

### RESUMO

Os rios temporários são definidos como sistemas que durante um determinado período do ano não apresentam caudal superficial. São frequentes em regiões de características mediterrânicas, onde a ausência de precipitação durante os meses mais quentes do ano conduz à interrupção do caudal superficial. Assiste-se assim a uma diminuição natural dos padrões de qualidade da água devido à ausência de corrente, encontrando-se os rios no máximo da sua vulnerabilidade. Em épocas opostas no ano, a ocorrência de enxurradas, com origem em fortes precipitações, tem como consequência a exportação dos materiais acumulados que se depositam em reservatórios situados a jusante. O ciclo de seca e enxurrada, constitui um fator determinante na estrutura e funcionamento dos rios no Sul de Portugal, apresentando as comunidades biológicas adaptações específicas a estes fenómenos perturbadores. Contudo, ao longo da bacia, a temporalidade dos rios segue um gradiente de disponibilidade hídrica. Nas cabeceiras os rios apresentam um regime efêmero muito dependente da ocorrência de eventos extremos de precipitação; para jusante a afluência de água aumenta, apresentando os rios características temporárias do tipo sazonal; nos troços inferiores é comum a ocorrência de um regime hidrológico permanente. Consequentemente, os problemas relacionados com a qualidade da água são locais, surgindo relacionados com a disponibilidade hídrica e com as pressões antropogénicas. Neste trabalho, considerando como caso de estudo a bacia do rio Pardiela localizada no sul de Portugal de características mediterrânicas (bacia do rio Guadiana), pretende-se: (i) caracterizar o ciclo hidrológico em termos de disponibilidade de água, através da utilização do modelo SWAT; (ii) quantificar as cargas de nitrogénio total, fósforo total e sólidos suspensos totais, afluentes ao sistema a uma escala espacial e temporal; (iii) caracterizar o efeito da primeira enxurrada após o período seco de verão; (iii) identificar problemas e propor medidas específicas que promovam, por um lado, a obtenção de um maior conhecimento sobre as questões ambientais que contribuam para a diminuição de conflitos entre setores de atividade e atores sociais e, por outro, sustentem a tomada de decisões pelas entidades competentes. Os resultados obtidos evidenciam a necessidade de em função das pressões identificadas na bacia hidrográfica se propor objetivos e medidas, e promover sistemas de gestão à escala da sub-bacia. Só assim se permitirá identificar os fatores que controlam o sistema, tais como o ciclo hidrológico, as descargas urbanas, a ocupação de solo, as práticas agrícolas e a vegetação ripícola, e compreender a sua variabilidade em função do regime hidrológico.

Palavras-chave: Rios temporários mediterrânicos; ciclo hidrológico; cargas; eventos extremos de enxurrada; objetivos e medidas ambientais.

## Analysing Pressures at Spatial Scale in a Mediterranean Basin (Pardiela Basin -Guadiana, Portugal)

### ABSTRACT

Temporary streams are defined as those that do not present discharge during part of the year. They are widespread in Mediterranean regions, where the nonexistence of rainfall during warmer months leads to the absence of discharge. This originates a decrease in water quality increasing the streams vulnerability. During months with the highest rainfall, flash floods occur, transporting materials accumulated in the riverbed to reservoirs located downstream. The expansion and contraction cycle constitutes a determinant factor in the structure and function of the streams in southern Portugal. Consequently, biological communities present specific adaptations to these disturbances. However, there is a water available gradient along the river basin. In headwaters, stream reaches present an ephemeral discharge, highly dependent on rainfall events. Further downstream, the discharge increases and the river present a seasonal temporary regime. In lower reaches, more frequently, the discharge is permanent. The problems related with water quality are site specific, in regard to anthropogenic pressures and water availability. In this work focused on the study of the Pardiela basin, located in southern Portugal with Mediterranean characteristics Guadiana basin), the main goals are: (i) to characterize the hydrologic cycle in terms of water available, using a SWAT model; (ii) to quantify nitrogen, phosphorus and solid suspended loads (ton/month); (iii) to characterize the effect of the first flood after the summer dry period. The obtained results illustrate the necessity to propose objectives and measures, adapted to the pressures identified in the river basin, and to develop management programmes that operate at sub-basin scale. Only then, it will be possible to identify the factors that control the system, such as hydrology, urban discharges, land use, agriculture, and riparian vegetation in regard to their variability and to the temporary hydrological regime.

Keywords: Mediterranean temporary streams; hydrologic cycle; Loads; flush flood events; environmental objectives and measures.

\*E-mail para correspondência:  
[mmorais@uevora.pt](mailto:mmorais@uevora.pt) (Morais, M.).

## 1. Introdução

Em regiões mediterrânicas, a distribuição anual das precipitações determina que muitos rios desenvolvam descontinuidades espaciais e temporais no sistema de corrente. Após a interrupção do caudal superficial, no Verão, o sistema adquire características lênticas, o que representa um constrangimento para as comunidades biológicas (ex. Smith & Pearson 1987, Gasith & Resh, 1999).

Numa fase oposta do ciclo hidrológico, os rios temporários mediterrânicos, caracterizam-se por sofrer o efeito drástico das enxurradas - a máxima expansão (Stanley *et al.*, 1997). Ligadas a distintos fatores ambientais característicos da bacia de drenagem (ex. climáticos, geológicos, topográficos), as enxurradas foram descritas como acontecimentos catastróficos e perturbadores da dinâmica fluvial, com efeitos sobre a composição físico-química da água, sobre os organismos aquáticos e sobre a quantidade de materiais transferidos ao longo da bacia (ex. Fisher *et al.*, 1982; Grimm & Fisher, 1989; Lake & Schreiber, 1991; Morais, 1995; Ortega *et al.*, 1991). Fisher *et al.* (1982) referem que as perturbações naturais mais frequentes em sistemas lóticos são as enxurradas. Estas podem apresentar-se com diferentes intensidades, causando perturbações que podem variar desde pequenas movimentações do substrato até alterações na estrutura do sistema, tais como exportação de matéria orgânica, deposição de

sedimento e arrastamento das comunidades biológicas.

As perturbações antropogénicas, por seu lado, relacionam-se com todo o tipo de perturbações causadas pelo homem (ex. agricultura, urbanismo, desmatção) e afetam os sistemas naturais. Consequentemente estes podem alterar substancialmente, a curto e a longo prazo, as comunidades biológicas e os fluxos entre os diferentes compartimentos do sistema, produzindo, nalgumas situações, degradações irreversíveis no sistema, sempre que se ultrapassa o limite a partir do qual as comunidades ou os sistemas não têm capacidade de recuperar (ex. Morais, 1995; Morais *et al.*, 2009; Merseburger *et al.*, 2011). A agravar esta situação, em sistemas com características mediterrânicas, a disponibilidade hídrica é reduzida, o que os torna extremamente vulneráveis à degradação da qualidade da água (Rosado & Morais, 2010).

A maioria dos problemas de qualidade é específica de cada local, sendo contudo do conhecimento geral que as descargas de efluentes, independentemente da sua origem, reduzem a disponibilidade de água (Merseburger *et al.*, 2005). Em muitas situações a água é disponibilizada através da construção de barragens, todavia a libertação de nutrientes, matéria orgânica e de substâncias tóxicas das áreas agrícolas e urbanas que se desenvolvem nas bacias de drenagem, aumentam os riscos de desenvolvimento de florescências tóxicas que

afetam o fornecimento de água de qualidade (ex. Chorus & Bartram, 1999; Jarvie *et al.*, 2008). Por outro lado, durante o período seco, a qualidade da água deteriora-se gradualmente à medida que a evaporação aumenta e que a consequente capacidade de diluição das substâncias dissolvidas diminui. De acordo com a bibliografia, a primeira enxurrada, depois do período seco, produz uma ressuspensão da carga poluente e da acumulação de matéria orgânica. Num curto espaço de tempo, algumas horas ou dias, os sistemas a jusante recebem uma grande carga poluente que associada à escassez típica destas regiões pode assumir efeitos drásticos para o ambiente e para o abastecimento humano (ex. Rosado & Morais, 2010).

Considerando que os sistemas aquáticos têm uma interação permanente e dinâmica com as suas bacias de drenagem, é fundamental que se conheçam as interações entre estas bacias e os sistemas aquáticos. Por outro lado, é absolutamente necessário fazer-se um esforço para compreender as interações entre os elementos naturais (físicos, químicos e biológicos), económicos e sociais, dada a interdependência desses componentes. A interação entre os diferentes componentes, muitas vezes com interesses antagónicos, deverá conduzir à formação de parcerias que viabilizem programas de recuperação e conservação, de uma forma integrada e sustentável (Morais *et al.*, 2009). Ações perfeitamente integradas nos requisitos da Diretiva 2000/60/CE, 23 Outubro (Diretiva

Quadro da Água – DQA), transposta para a legislação portuguesa pela Lei 58/2005, 29 de Dezembro (Lei da Água – LA).

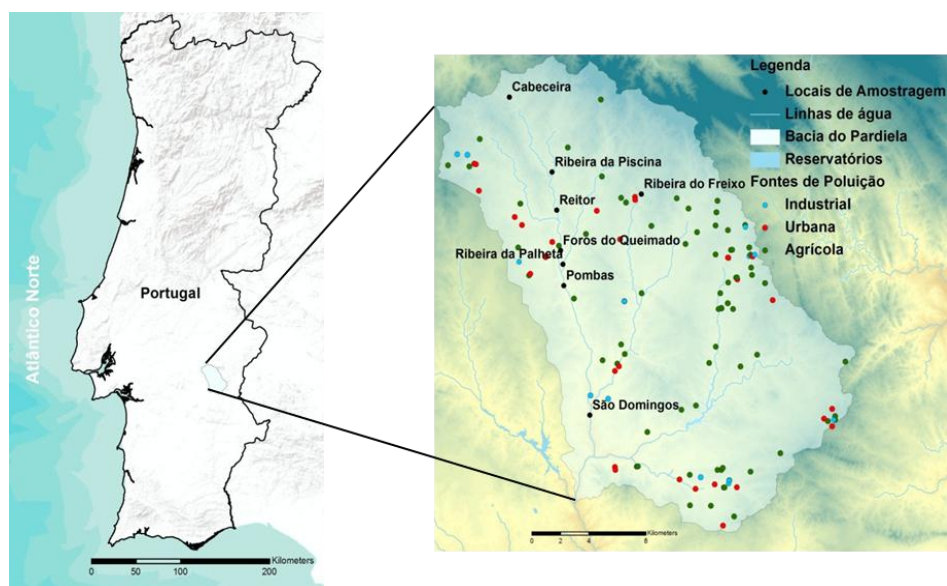
Neste trabalho, considerando como caso de estudo a bacia do rio Pardiela localizada no sul de Portugal, de características mediterrânicas (bacia do rio Guadiana), pretende-se: (i) caracterizar o ciclo hidrológico em termos de disponibilidade de água através da utilização do modelo SWAT; (ii) quantificar as cargas de nitrogénio total, fósforo total e sólidos suspensos totais, afluentes ao sistema a uma escala espacial e temporal; (iii) caracterizar o efeito da primeira enxurrada após o período seco de verão; (iii) identificar problemas e propor medidas específicas que promovam, por um lado, a obtenção de um maior conhecimento sobre as questões ambientais que possam contribuir para a diminuição de conflitos entre setores de atividade e atores sociais e, por outro, apoiem a tomada de decisões pelas entidades competentes.

## 2. Caracterização da bacia do rio Pardiela

O Pardiela é um rio temporário de 4ª ordem que forma uma bacia hidrográfica com 514 Km<sup>2</sup>. Localiza-se no sul de Portugal, especificamente na margem direita do rio Guadiana (38° 26' N, 07° 41' W) (Figura 1). A bacia hidrográfica desenvolve-se a altitudes compreendidas entre 505m nas zonas de cabeceira e 169m na zona de afluência com o rio Degebe (Gallart *et al.*, 2008). A temperatura média do ar varia de 9°C no

inverno a 23°C no verão, com uma precipitação média anual de 600 mm (Lillebo

*et al.*, 2007).



**Figura 1.** Localização da bacia do rio Pardiela em Portugal Continental - Figura da esquerda. Identificação dos locais de amostragem e das fontes de poluição por categoria (industrial, urbana e agrícola) – Figura da direita

No final da primavera assiste-se a uma interrupção do caudal superficial em toda a zona superior e média da bacia, situação que se mantém durante o verão até ao início das primeiras chuvas outonais, que provocam a formação de eventos extremos de enxurrada e repõem a situação de caudal. Durante o verão os troços de cabeceira apresentam-se secos, nos troços médios formam-se pegos de dimensões variáveis mas com profundidade reduzida; os troços de jusante, próximos da foz com o rio Degebe, apresentam caudal durante todo o ano devido à presença de uma barragem num tributário de 3ª ordem (ribeira Vale de Vasco) que liberta um caudal ecológico.

Na bacia do rio Pardiela a ocupação de solo é constituída por floresta de sobreiro e

azinho (montado) com 36%, áreas de pastagens com 34% e olival com 22% (Rosado *et al.*, in press). As pressões antropogénicas são sobretudo de origem agrícola com maior incidência nas zonas de cabeceira (Figura 1). A vegetação ripícola, constituída por freixos (*Fraxinus angustifolia*), salgueiros (*Salix atrocinerea* e *Salix salviifolia*), choupos (*Populus nigra*) e vegetação do tipo xerófico, tais como loendros (*Nerium oleander*) e tamargueiras (*Tamarix africana*), apresenta-se fragmentada e com largura reduzida.

### 3. Material e Métodos

#### 3.1 Amostragem e análises laboratoriais

Na bacia do rio Pardiela foram definidos oito locais cinco situados no curso

principal (Cabeceira; Reitor; Foros do Queimado, Pombas e São Domingos) e três em afluentes de primeira ordem (Ribeira da Piscina; Ribeira do Freixo; Ribeira da Palheta) (Figura 1). Durante os anos hidrológicos de 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010 em cada local, com uma periodicidade mensal, foram colhidas amostras de água para determinação laboratorial de parâmetros químicos: sólidos suspensos totais; nitratos, nitritos, nitrogénio amoniacal; nitrogénio Kjeldahl; nitrogénio total; fosfatos, fósforo particulado; fósforo total. Os parâmetros foram analisados de acordo com as metodologias descritas em APHA (2000).

### 3.2 Tratamento de dados

#### 3.2.1 Ciclo hidrológico

Em cada local foi estudado o ciclo hidrológico através da construção do respectivo hidrograma. Para tal foi utilizado o programa SWAT (Soil and Water Assessment Tool), versão SWAT 2009 em ArcGis 9.3. Pretendeu-se assim, para cada ano, determinar a extensão do período com caudal e identificar os eventos de enxurrada.

O SWAT é um modelo desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América que simula o caudal utilizando dados de clima, textura de solo, uso do solo e agricultura. Este modelo divide a bacia em unidades hidrológicas (sub-bacias) de acordo com a topografia e características do solo e do seu uso. O modelo

hidrodinâmico determina o balanço hidrológico através da interação entre atmosfera, solo, vegetação e água subterrânea.

Na construção do modelo para a bacia do rio Pardiela, foi utilizado o modelo digital do terreno (dados da NASA, com uma resolução de 90m, <http://edcns17.cr.usgs.gov/NewEarthExplorer/>) e incluídos dados disponíveis na internet relativos à textura do solo (European Soil Bureau; <http://eu soils.jrc.ec.europa.eu>) e ao seu uso (Corine Land Cover 2000; <http://dataservice.eea.europa.eu/>).

Complementarmente, para um único local (Foros do Queimado) foram incorporadas medições *in situ* do nível da água e do caudal instantâneo. O nível da água foi obtido através de uma sonda multi-paramétrica YellowSpring, colocada no leito do rio e que efetuou registos cada 30 minutos. O caudal foi determinado pelo método da secção-velocidade com base em medições de velocidade de corrente (Lencastre & Franco, 1984) e tendo em conta os procedimentos estabelecidos na norma ISO 748:2007 (E). Esta norma utiliza o levantamento topográfico da secção transversal do local de medição.

Os parâmetros climáticos foram obtidos numa estação colocada próximo do mesmo local (Foros do Queimado) que registou dados em contínuo. No modelo foram considerados, a temperatura (°C), a precipitação (mm), a velocidade (m/s) e direção do vento, a radiação solar (W/m<sup>2</sup>) e a humidade relativa (%).

### 3.2.2 Estimativas de cargas de nitrogênio, fósforo e sólidos suspensos totais

A carga ( $\Phi$ ) obtém-se multiplicando a concentração de determinado elemento expressa em [mg/L] pelo valor do caudal (Q) que passa numa determinada secção de um rio num dado instante temporal, expresso em [L/s]. Assim, procedeu-se ao cálculo da carga diária para os elementos nitrogênio total, fósforo total e sólidos suspensos totais, para cada local em cada campanha de amostragem, organizando-se os resultados em matriz EXCEL.

A estimativa da carga total gerada ao longo de um mês pressupõe a existência de medições contínuas de caudal e concentração dos diversos elementos, situação que implicaria um elevado dispêndio de recursos humanos e financeiros. Nesse sentido, o cálculo da carga mensal em cada local de amostragem foi efetuado recorrendo ao princípio da concentração constante (Chapman, 1996). Segundo este princípio, assume-se que a concentração ( $C_i$ ) determinada para um dado instante ( $t_i$ ) é constante durante um intervalo de tempo ( $\delta t_i$ ) em redor do momento da amostragem. Assume-se assim que as características hidrológicas se mantêm durante o mesmo intervalo de tempo.

A carga ( $\Phi$ ) obteve-se integrando a concentração (C) e o caudal (Q) para um intervalo de tempo diário ( $t_1$  e  $t_2$ ) dentro de um universo mensal ( $\delta t$ ), segundo a seguinte equação :

$$\Phi = \int_{t_1}^{t_2} C(t)Q(t)\delta t$$

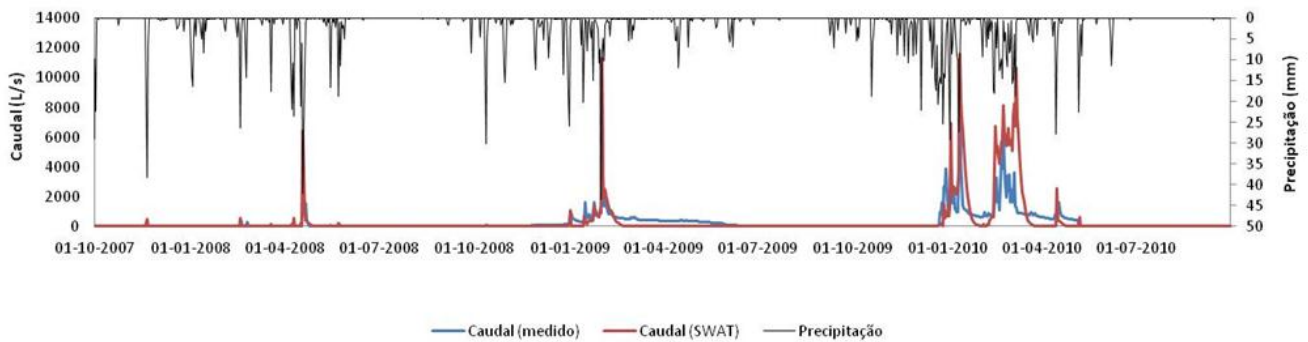
### 3.2.3 Estudo da primeira enxurrada

Considerando o período estudado (2007/2008 a 2009/2010), identificou-se o primeiro evento de enxurrada de maior magnitude e graficaram-se valores de concentração de nitrogênio total, fósforo total e sólidos suspensos ao longo do gradiente longitudinal da bacia, definido pelos locais amostrados. Pretendeu-se estudar a existência de padrões de dispersão e transporte que possam refletir as diferentes pressões existentes na bacia.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Ciclo hidrológico

A validação do modelo SWAT foi efetuada com base em medições de caudal obtidas mensalmente *in situ* no local Foros do Queimado (3ª ordem). O resultado desta validação revelou-se satisfatório, com um  $r^2$  superior a 0,80 para os três anos e 0,99 para o ano hidrológico 2008-2009 com uma eficiência de 0,95 (coeficiente de Nash-Sutcliffe). Na Figura 2 apresenta-se o caudal diário, medido e estimado, entre outubro de 2007 e setembro de 2010 para o local Foros do Queimado. Verifica-se um bom ajustamento entre as duas curvas, o que demonstra a capacidade do modelo para descrever a ocorrência de picos de caudal instantâneo relacionados com a ocorrência de eventos de precipitação.



**Figura 2.** Caudal diário, medido e estimado, para o local Foros do Queimado entre outubro de 2007 e setembro de 2010 e sua relação com a precipitação. Linha vermelha – caudal estimado pelo modelo SWAT; Linha azul – caudal medido *in situ*; Linha preta – precipitação obtida na estação meteorológica instalada próximo do local.

Ao longo dos três anos estudados, embora com amplitudes diferentes, a evolução do caudal, identifica um período de expansão com picos de elevada magnitude e um período de contração, sem caudal superficial e de maior extensão. Este padrão é típico dos rios temporários de características mediterrânicas que em período com caudal, apresentam um regime torrencial após eventos de precipitação (ex. Morais, 1995; Morais *et al.*, 2009).

Outra característica típica destes sistemas, diz respeito à grande variabilidade inter-anual da precipitação e do consequente regime de caudais (ex. Gasith & Resh, 1999), facto observada ao longo do período estudado. No ano hidrológico de 2007-2008 a precipitação total foi de 510mm. O rio começou a correr em fevereiro, tendo apresentado caudal de uma forma descontínua com interrupção em março e desenvolvimento de uma enxurrada instantânea em abril, após o que parou em maio só voltando a apresentar caudal em outubro do ano seguinte. No ano de 2008-2009, embora a precipitação total fosse

ligeiramente inferior à do ano anterior (485mm) verificou-se a ocorrência de uma forte enxurrada em fevereiro. Em 2009-2010 o rio começou a correr de uma forma contínua em dezembro, tendo-se verificado enxurradas de maior magnitude com especial destaque para a verificada em janeiro. Nesse ano a precipitação total foi superior à média anual (787mm), embora o período seco sem caudal tenha apresentado igual duração.

Em termos médios o rio Pardiela apresenta caudal durante aproximadamente cinco meses, o que corresponde a 40% do ano, dos quais 10-20% são relativos a caudais superiores a  $1\text{m}^3/\text{s}$ , obtidos em situação extremas de enxurrada. Nestas situações, o tempo de residência da água é curto, fluindo rapidamente até aos reservatórios situados a jusante. Os resultados obtidos revelam, ainda, que em termos de gestão da água é importante estudar a relação precipitação/caudal, uma vez que de acordo com as medições efetuadas e com os resultados do modelo SWAT, apenas 13% da precipitação chega ao rio. Facto que

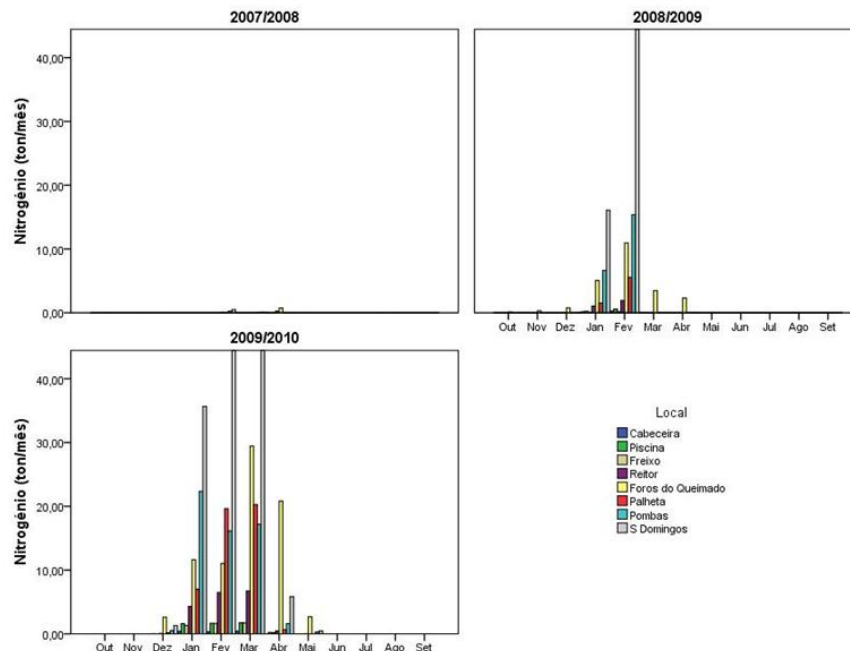
demonstra a importância do processo de evapotranspiração nestes sistemas, que em ano médio retêm 80-90% da precipitação em oposição ao freático que apenas recebe 10% do total. Todavia, estes valores variam em função das características anuais, ou seja, em ano seco ou em ano subsequente a um ano seco, estes valores podem ser menores (ex. ano hidrológico de 2007-2008, após dois anos muito secos), verificando-se o inverso em anos húmidos ou subsequentes.

A extensão do período seco é outro aspeto de extrema importância para uma gestão sustentável destes sistemas, especialmente porque em situação de escassez estival (período seco) é frequente a abstração incontrolada de água e o livre acesso de animais ao leito seco dos rios, o que causa forte degradação dos habitats aquáticos com

erosão do canal e das margens (Rosado *et al.*, 2012).

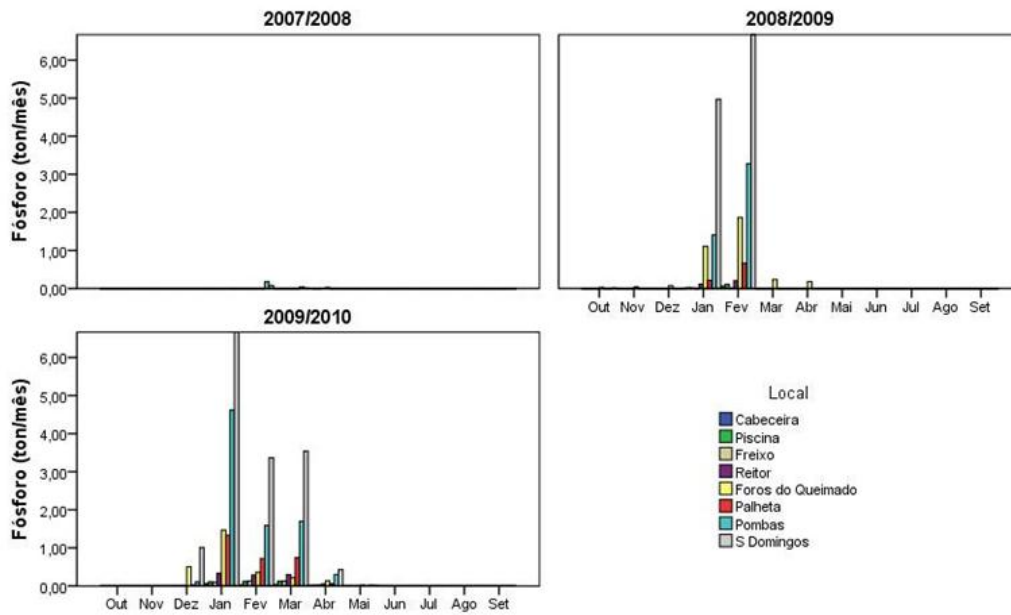
#### 4.2 Estimativas de cargas

As cargas de qualquer elemento expressam a quantidade desse elemento que passa numa determinada secção de rio durante um intervalo de tempo. Se o elemento em análise refletir o efeito de pressões na bacia, as cargas fornecem uma estimativa da poluição transportada que posteriormente será acumulada a jusante, normalmente em reservatórios estratégicos de água. Nas Figuras 3, 4 e 5 apresentam-se as cargas estimadas para os anos hidrológicos de 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010 de nitrogénio total, fósforo total e sólidos suspensos totais em oito locais situados na bacia do rio Pardiela.

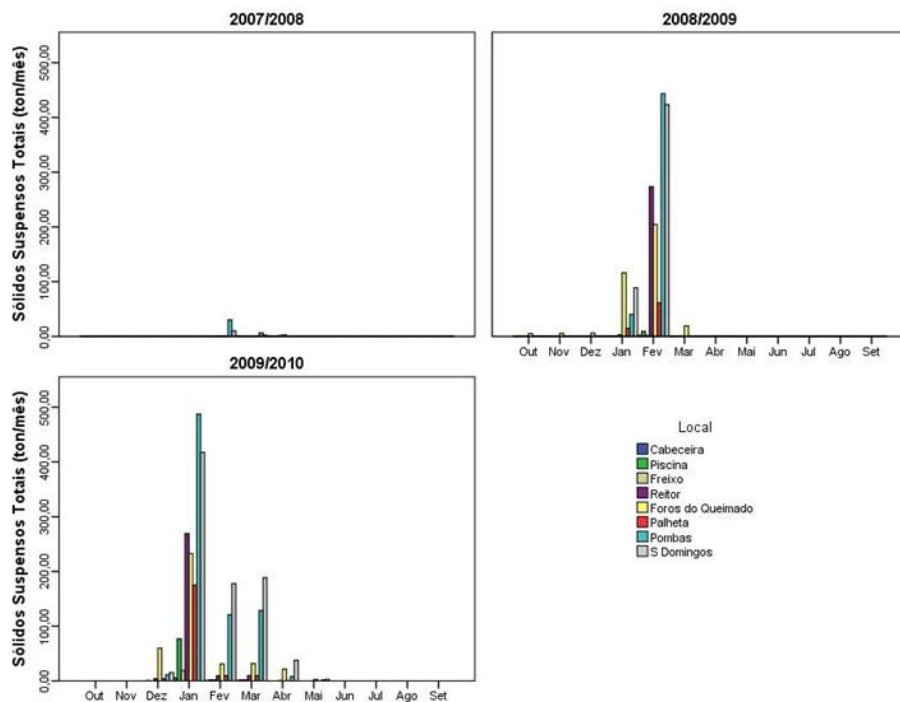


**Figura 3.** Cargas de nitrogénio total (ton/mês) estimadas para os anos hidrológicos de 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010, em oito locais ordenados longitudinalmente ao longo bacia hidrográfica do rio Pardiela





**Figura 4.** Cargas de fósforo total (ton/mês) estimadas para os anos hidrológicos de 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010, em oito locais ordenados longitudinalmente ao longo bacia hidrográfica do rio Pardiela



**Figura 5.** Cargas de sólidos suspensos totais (ton/mês) estimadas para os anos hidrológicos de 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010, em oito locais ordenados longitudinalmente ao longo bacia hidrográfica do rio Pardiela

Tal como seria de esperar tendo em consideração o caudal mais elevado verificado em 2009/2010 comparativamente

com o registado nos dois anos anteriores (Figura 2), também as cargas para os elementos analisados são superiores nesse

ano. Verifica-se uma grande diferença entre os anos de 2007/2008 e 2009/2010, com respectivamente 510mm e 787 mm de precipitação total ano. O ano de 2008/2009, embora com uma precipitação total de 485mm, mais próxima da ocorrida em 2007/2008, em termos de cargas geradas aproxima-se do ano de 2009/2010, com uma precipitação total por ano superior à média para a região. Não nos esqueçamos contudo que nos dois anos anteriores, (2005/2006 e 2006/2007) a precipitação foi muito reduzida, pelo que o solo se apresentava muito seco, retendo grande parte da precipitação ocorrida. Como consequência, o escoamento superficial foi reduzido, gerando cargas de grandeza muito inferiores às ocorridas em ano médio.

Em termos anuais, o padrão é semelhante para os três elementos, com cargas mais elevadas durante os meses de inverno, coincidentes com eventos de enxurrada. Todavia, em 2010 a precipitação que ocorreu na primavera e que desencadeou uma forte enxurrada verificada em março foi responsável pelas elevadas cargas de nitrogénio registadas sobretudo no local situado mais a jusante (i.e. S. Domingos). Mais uma vez se evidencia o efeito das enxurradas no aporte de cargas poluentes ao sistema aquático. Característica típica de rios temporários mediterrânicos (ex. Obermann *et al.*, 2009; Rozalis *et al.*, 2010).

Espacialmente, de uma forma geral para os três elementos analisados, os locais que apresentam maiores cargas são os situados

mais a jusante (4ª ordem) e que por isso apresentam maiores bacias de drenagem. Destaca-se sobretudo o local S. Domingos, (4ª ordem) que recebe as afluições provenientes do rio Pardiela e da ribeira do Freixo, afluente que na sua bacia de drenagem apresenta vários focos de poluição de origem agrícola (Figura 1).

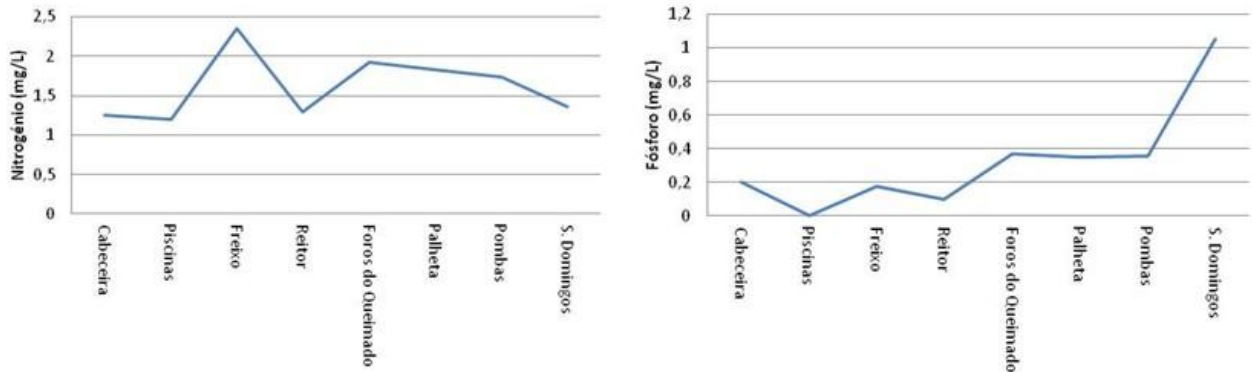
#### 4.3 Estudo da primeira enxurrada após período seco de verão

Tendo-se verificado que a primeira enxurrada de maior magnitude foi a registada em janeiro de 2009/2010, para esse evento graficou-se a evolução longitudinal das concentrações de nitrogénio total, fósforo total e sólidos suspensos totais. Pretendeu-se assim estudar o efeito destes eventos extremos no aporte de cargas poluentes ao sistema. Nas Figuras 6 e 7 apresenta-se a evolução longitudinal das concentrações de nitrogénio total, fósforo total e sólidos suspensos totais, medidas ao longo da bacia em situação extrema de enxurrada.

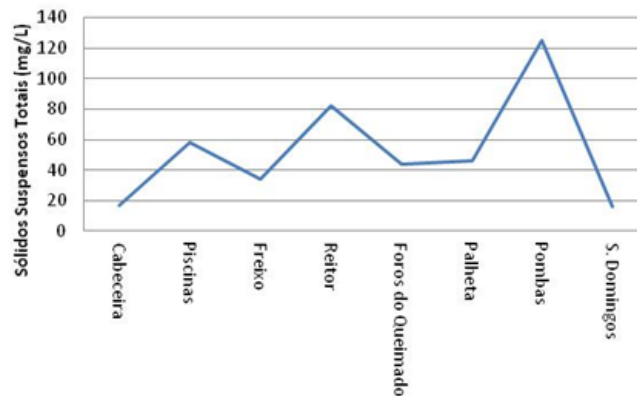
Observando a Figura 6 verifica-se que tendencialmente, as concentrações de nitrogénio total e de fósforo total aumentam para jusante, o que é perfeitamente justificado pelo aumento progressivo da dimensão das bacias de drenagem, com consequente maior número de pressões que se refletem nas concentrações medidas num determinado instante. Notam-se contudo oscilações a este padrão de evolução, devido a entradas pontuais de contaminantes, o que surge

identificado no local Freixo relativamente ao nitrogénio total. Este local situa-se próximo

da povoação do Freixo, refletindo o efeito pontual do escoamento de efluentes urbanos.



**Figura 6.** Evolução longitudinal da concentração de nitrogénio total (mg/L) e de fósforo total (mg/L), medidas ao longo da bacia hidrográfica do rio Pardiela em oito locais em situação de enxurrada (janeiro de 2009/2010).



**Figura 7.** Evolução longitudinal das concentrações sólidos suspenso totais (mg/L) medidas ao longo da bacia hidrográfica do rio Pardiela em oito locais em situação de enxurrada (janeiro de 2009/2010).

A evolução espacial dos sólidos suspensos totais ao longo da bacia, em situação de enxurrada, reflete sobretudo os fatores relacionados com a degradação hidromorfológica, como a erodibilidade dos solos e margens, o efeito do declive e a degradação da vegetação ripícola. De facto, próximo do local Pombas existe uma passagem a vau, as margens estão muito erodidas e a vegetação ripícola apresenta-se

muito danificada, características que contribuem para a quantidade de sólidos orgânicos e minerais que são transportados para as linhas de água durante a ocorrência de eventos extremos de enxurrada.

## 5. Conclusões

Qualquer atividade humana que altere os fatores básicos relacionados com o balanço hídrico acaba por influenciar a

disponibilidade dos recursos hídricos. Nas bacias dos rios temporários, a disponibilidade da água é reduzida, o que as torna extremamente vulneráveis à degradação da qualidade da água (ex. Morais *et al.*, 2009). A má qualidade da água, nestas regiões é sobretudo devida a uma má gestão do uso do solo. É frequente a remoção do coberto vegetal e implementação de uma agricultura sem controlo de erosão que promove o escoamento superficial, na época das chuvas torrenciais, carregando solos e nutrientes acumulados e que contribuem para o assoreamento e para a eutrofização dos rios e dos reservatórios situados a jusante. Por outro lado, a escassez da água em período seco associada ao processo natural de evapotranspiração, conduz a uma baixa capacidade de diluição, podendo resultar numa deterioração extrema da qualidade da água e eliminação das comunidades biológicas naturais (ex. Gasith & Resh, 1999).

A compreensão e a previsão das complexas interações entre a hidrologia e a dinâmica do sistema constituem a base para a gestão e reabilitação de qualquer sistema aquático, perfeitamente integradas nos requisitos da Diretiva Quadro da Água (DQA) que tem como objetivo proteger as massas de água, pelo que estabelece objetivos ambientais a serem atingidos até ao ano de 2015. Estes deverão ser aplicados de uma forma progressiva através da implementação de programas de medidas especificados nos planos de gestão de bacias hidrográficas, por

forma a: (i) evitar a deterioração do estado das massas de água; (ii) proteger, melhorar e recuperar as massas de água naturais com o objetivo de alcançar o bom estado (bom estado ecológico e bom estado químico); (iii) proteger, melhorar e recuperar as massas de água artificiais e fortemente modificadas, com objetivo de alcançar o bom potencial (bom potencial ecológico e o bom estado químico); (iv) reduzir gradualmente a poluição provocada por substâncias prioritárias e cessar as emissões, descargas e perdas de substâncias prioritárias perigosas.

Para alcançar os objetivos ambientais definidos na bacia hidrográfica do rio Pardiela, quer seja a redução da carga total afluente às bacias mais problemáticas (i.e. S. Domingos), quer seja a manutenção da carga reduzida afluente às bacias menos problemáticas (i.e. situadas nas cabeceiras), apresenta-se um conjunto de medidas que vão de encontro ao estabelecido no Plano de Gestão da Bacia Hidrográfica do Guadiana (PGBH) a que pertence a bacia do Pardiela.

Assim, no que respeita ao controlo da poluição pontual, destacam-se as intervenções necessárias em sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais urbanas e industriais (ex. remodelação e construção de Estações de Tratamento de Águas Residuais - ETAR). Refira-se que as fontes de poluição urbana com sistema de tratamento, raramente vão além do primário ou secundário, o que compromete a remoção eficaz do nitrogénio e do fósforo do efluente. Além das fontes de

poluição urbanas estão identificadas algumas fontes industriais (Figura 1) que incluem as boviniculturas e suiniculturas, que por estarem maioritariamente em regime extensivo acabam por não ter qualquer tipo de sistema de tratamento dos efluentes gerados.

Quanto ao controlo da poluição difusa, propõe-se: a realização de ações de sensibilização dos agricultores para a problemática da contaminação com nitratos e de ações de formação sobre o código das boas práticas agrícolas; o aumento do controlo e eventual interdição da aplicação de efluentes agro-pecuários e de lamas de ETAR nos solos, pois são um foco de contaminação microbiológica para as linhas de água, além de constituírem um enorme aporte de nitrogénio, fósforo e matéria orgânica; o estudo sobre a contribuição das várias fontes de poluição difusa para a qualidade da água (nomeadamente, das explorações agro-pecuárias em regime extensivo, com vista a contribuir para a definição de medidas de minimização do impacto produzido por este tipo de explorações); o desenvolvimento de projetos-piloto de aplicação de sedimentos de reservatórios, lamas de depuração e de resíduos orgânicos tratados na agricultura e em campos de golfe (com vista a contribuir para a definição de normas de qualidade relativas à aplicação de lamas de depuração e sedimentos de reservatórios como fertilizante alternativo).

No que se relaciona com a proteção e restauro ambiental, destacam-se as medidas

de beneficiação do canal fluvial e da vegetação ripícola. Para tal será necessário efetuar o levantamento dos troços críticos das massas de água com situações de degradação e descontinuidade da vegetação ripícola, estabelecendo-se um plano de recuperação e eventual interdição de pessoas e animais às linhas de água.

Todavia, tendo em consideração as particularidades dos rios temporários de características mediterrânicas, é fundamental que as práticas de gestão considerem o ciclo hidrológico natural, tendo simultaneamente presente que as alterações climáticas vão agravar os problemas atuais de desertificação e escassez de água, introduzindo novas ameaças para os ecossistemas. Não esquecendo nunca, que à medida que a procura de água aumenta, a disponibilidade de água diminui, especialmente durante o período seco.

A aplicação das medidas no caso específico da bacia hidrográfica do rio Pardiela assume especial importância, uma vez que o sistema de Alqueva-Pedrogão se situa a jusante, sendo por isso fundamental promover a melhoria da qualidade da água afluente ao maior reservatório estratégico de água no Alentejo. Será ainda necessário aprofundar o conhecimento sobre o estado de cada sub-bacia, para posterior definição de medidas menos gerais e mais aplicadas à realidade de cada uma, começando pelas mais problemáticas, neste caso a sub-bacia de S. Domingos.

## 6. Agradecimentos

Este estudo foi suportado pelo projeto “Estratégias de Conservação e Reabilitação de Rios Temporários: Caso de estudo da bacia do rio Pardielas, Sul de Portugal (Bacia do Guadiana)”, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCOMP-01-0124-FEDER-007031).

## 7. Referências

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. EATON, A.D., CLESCERI, L.C. AND GREENBERG, A.E. (eds.). (2000). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 ed. Washington, DC: APHA.

Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments, a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*, 2nd Ed. UNESCO, WHO, UNEP. E & FN Spon, 626pp.

Chorus I. & J. Bartram (1999). *Toxic Cyanobacteria in Water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*. Spon Press, London and New York, pp 416 pp.

Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, de 22 de Dezembro de 2000.

Fisher S. G., L. J. Gray, N. B. Grimm & D. E. Busch (1982). Temporal succession in a desert stream ecosystem following flash flooding.

*Ecol. Monog.*, 52 (1): 93-110.

Gallart F., Y Amaxidis, P. Botti, G. Canè, V. Castillo, P. Chapman, J. Froebrich, J. García-Pintado, J. Latron, P. Llorens, A. Lo Porto, M. Morais, R. Neves, P. Ninov, J. L. Perrin, I. Ribarova, N. Skoulikidis & M. J. Tournoud (2008). Investigating hydrological regimes and processes in a set of catchments with temporary waters in Mediterranean Europe. *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques* 53(3).

Gasith A. & V. Resh, (1999) Streams in Mediterranean climate regions: abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 30, 51-81.

Grimm N. B. & S. G. Fisher (1989). Stability of periphyton and macroinvertebrates to disturbances by flash floods in a desert stream. *J. N. Am. Bent. Soc.*, 8 (4): 293-307.

Jarvie, H. P., P. J. A Paul, Withers, R. Hodgkinson, A. Bates, M. Neal, H. D. Wickham, S. A. Harman & L. Armstrong (2008). Influence of rural land use on streamwater nutrients and their ecological significance. *Journal of Hydrology* 350: 166–186.

Lake P. S. & E. S. G. Schreiber (1991). Colonization of stones and recovery from disturbances: an experimental study along a river. *Verh. Internat. Verein. Linnol.*, 24: 2061-2064.

- Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro (2000). Lei da Água, Assembleia da República Portuguesa.
- Lencastre A. & F. M. Franco (1984). Lições de Hidrologia, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. 450pp.
- Lillebø A.I., M. Morais, P. Guilherme, R. Fonseca, A. Serafim & R. Neves (2007). Nutrient dynamics in Mediterranean temporary streams: A case study in Pardiela catchment (Degebe River, Portugal). *Limnologica*, 37, 337-348.
- Merseburger G., E. Martí & F. Sabater (2005). Net changes in nutrient concentrations below a point source input in two streams draining catchments with contrasting land uses. *Science of the Total Environment* 347: 217– 229.
- Merseburger G., E. Martí, F. Sabater, J. D. Ortiz. (2011). Point-source effects on N and P uptake in a forested and an agricultural Mediterranean streams. *Science of the Total Environment* 409: 957–967.
- Morais, M. (1995). Organização espacial e temporal de um rio temporário mediterrânico (rio Degebe, Bacia Hidrográfica do Guadiana). Tese de Doutoramento, Universidade de Évora. 321 pp.
- Morais, M., A. Pedros, J. Rosado & P. Pinto (2009). Temporary rivers: from the excess to scarcity. in "Sustainable Development: Energy, Environment and natural Disasters". Laura M. G. Duarte & Paulo Pinto (eds.). Fundação Luis de Molina, Évora: 37-49.
- Obermann M., K.H. Rosenwinkel & M. G. Tournoud (2009). Investigation of first flushes in a medium-sized mediterranean catchment. *Journal of Hydrology* 373: 405–415.
- Ortega M., M. L. Suarez, M. R. Vidal-Abarca, R. Gómez & L. Ramires-Días (1991). Aspects of postflood recolonization of macroinvertebrates in a “Rambla” of South-East Spain (“rambla del Moro”: Segura river basin. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24: 1994-2001.
- Rosado J. & M. Morais (2010). Climate change and water scarcity: from a global scale to particular aspects in Mediterranean region. In “Science and Technology for Environmental Studies, Experiences from Brazil, Portugal and Germany”. Maurício Luiz Sens & Renata Iza Mondardo (eds.). Florianópolis, Federal University of Santa Catarina:15-27.
- Rosado J., Morais M., Serafim A., Pedro A., Silva H., Potes M., Brito D., Salgado R., Neves R., Lillebø A., Chambel A., Pires V., Gomes C.P. & Pinto P. (2012). Key long term patterns for the management and conservation of temporary Mediterranean streams: a case study of the Pardiela river, southern Portugal (Guadiana catchment) [273-283]. In: River Conservation Management, Boon P.J. and

Raven P.J. (eds). Willie Blackwell, 412 pp.

Rozalis S., E. Morin, Y. Yair & C. Price (2010). Flash flood prediction using an uncalibrated hydrological model and radar rainfall data in a Mediterranean watershed under changing hydrological conditions. *Journal of Hydrology* 394: 245–255.

Smith R.E.W. & G. Pearson (1987). The macro-invertebrate communities of temporary pools in an intermittent stream in tropical Queensland. *Hydrobiologia* 150:45-61.

Stanley E. H., S. G. Fisher & N. B. Grimm (1997). Ecosystem expansion and contraction in streams. *BioScience* 47: 427-435.