



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

## STRESSES MÚLTIPLOS AO NÍVEL DA BACIA: IMPLICAÇÕES PARA A GESTÃO

**Paulo BRANCO**

*Doutor em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais, CEF – Instituto Superior de Agronomia, [pjbranco@isa.ulisboa.pt](mailto:pjbranco@isa.ulisboa.pt)*

**Maria T. FERREIRA**

*Professora Catedrática, CEF – Instituto Superior de Agronomia, [teferreira@isa.ulisboa.pt](mailto:teferreira@isa.ulisboa.pt)*

**Carina Almeida**

*Mestre em Engenharia Ambiental, MARETEC – Instituto Superior Técnico, [carina.almeida@tecnico.ulisboa.pt](mailto:carina.almeida@tecnico.ulisboa.pt)*

**Ramiro Neves**

*Professor Associado, MARETEC – Instituto Superior Técnico, [ramiro.neves@tecnico.ulisboa.pt](mailto:ramiro.neves@tecnico.ulisboa.pt)*

**Pedro Segurado**

*Doutor em Biologia, CEF – Instituto Superior de Agronomia, [jmsantos@isa.ulisboa.pt](mailto:jmsantos@isa.ulisboa.pt)*

### RESUMO

Os sistemas fluviais são essenciais para a vida e têm sido explorados desde sempre. No entanto, com o aumento da população, aumenta a necessidade de água para vários fins e as pressões exercidas sobre os sistemas aquáticos aumentam de forma contínua. As alterações climáticas futuras podem fazer com que o ritmo de aumento destas pressões se torne ainda mais intenso e podem mesmo levar ao incremento do número de stresses a agir em determinado sistema. Estes stresses não agem de forma isolada, agem em combinação com outros stresses. Esta combinação pode ser simplesmente aditiva, ou pode mesmo haver uma interação entre dois ou mais stresses em que um stress afeta o modo com o outro stress se expressa no meio e podem ser de três tipos: antagonísticas, sinérgicas ou opostas.

A nível de gestão, a unidade natural é a bacia, uma vez que a estrutura hierárquica e direcional das redes hidrográficas faz com que haja uma dependência do que ocorre na bacia de drenagem primária, mas também do que ocorrer na bacia de drenagem a montante. Sendo assim, o que afeta um segmento tem implicações em todos os segmentos a jusante. De modo a conseguir perceber qual a importância de stresses isolados e em interação, este estudo foca-se na bacia do Sorraia e integra modelos de processos e modelos empíricos de modo a conseguir produzir informação com detalhe suficiente para testar o efeito da interação de stresses em vários indicadores bióticos (Macrófitos, Macroinvertebrados, Fitobentos e Peixes). Escolhemos o SWAT (Soil and Water Assessment Tool) como modelo de processos e modelos baseados em árvores de regressão (Boosted Regression Trees e Random Forests) e em modelos lineares mistos (Linear Mixed Models) como modelos empíricos.

Os resultados apontam para uma impossibilidade de aplicar medidas estáticas que tenham um efeito fixo em todo o gradiente do stress, uma vez que o próprio stress pode alterar o seu efeito ao longo do gradiente de outros stresses ou mesmo ao longo



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

de gradientes ambientais. É importante perceber como é que a resposta se altera ao longo desses gradientes de forma a adaptar ações gestão e conservação para enfrentar estes stresses de acordo com o gradiente específico presente na bacia de interesse. Este trabalho teve o objetivo de identificar dificuldades e fornecer métodos para entender a importância de um stress isolado ou interagindo com outro ao longo de uma bacia com diferentes gradientes ambientais e de pressões. Este método pode ainda ser utilizado para prever como as alterações climáticas futuras afetarão o estado ecológico e para testar a eficácia dos planos de medidas para melhorar a resposta aos impactos da interação de stresses.

**Palavras-chave:** Stresses múltiplos, bacia de drenagem, gestão, qualidade biótica, SWAT, LMMs

## Introdução:

Os sistemas dulciaquícolas são afectados por uma grande diversidade de stresses que afectam os elementos bióticos. Estes stresses podem actuar de forma isolada ou podem interagir. A implementação de ações efetivas de gestão em bacias hidrográficas e os alvos adequados de conservação dependem em grande medida da capacidade dos investigadores de entender a complexa cadeia de causa-efeito em modelos simples e capazes de fornecer orientações para gestores (Herring et al., 2015). Por exemplo, técnicas de modelação empírica e de processos fundidas numa única abordagem a estes problemas podem ser ferramentas importantes no apoio à tomada de decisões. Estas ferramentas poderão projectar vários efeitos dos stresses em vários componentes biológicos dos ecossistemas sob cenários de mudanças climáticas e societais. Embora existam vários exemplos de tais tentativas (por exemplo, Fernandes et al. 2016; Segurado et al., 2016), estes são ainda grandes desafios que os cientistas e gestores enfrentam atualmente.

Os rios, devido à sua natureza particular, apresentam desafios adicionais para avaliar e modelar os efeitos de múltiplos stresses. As combinações múltiplas de stresses variam profundamente ao longo dos gradientes longitudinais do rio e entre diferentes eco regiões (Schinegger et al., 2012), causando dificuldades para destrinçar os seus efeitos sobre componentes bióticos dos efeitos causados por variações naturais devido à co variabilidade das condições ambientais. Além disso, muitas vezes o efeito de stresses individuais pode depender das configurações ambientais e bióticas onde eles atuam. Vários estudos mostram alterações bióticas devido a distúrbios induzidos pelo homem (Branco et al., 2013; 2016). Os rios apresentam um desafio adicional em termos da interpretação de stresses, uma vez que a sua rede hidrográfica tem uma configuração especial, dendrítica e hierárquica em que efeitos de escala também desempenham um papel importante.

O objetivo principal deste trabalho é compreender a interação entre os efeitos de stresses múltiplos, uso do solo e clima em vários indicadores de qualidade biótica na Bacia de Sorraia, uma bacia tipicamente mediterrânica, localizada no SW de Portugal. O rio Sorraia é principalmente afetado pela escassez de água - tanto como



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

consequência de sua natureza mediterrânica como duma extensa captação de água para irrigação - e enriquecimento de nutrientes provenientes de poluição difusa da agricultura. Este caso de estudo faz parte de uma das abordagens desenvolvidas no projeto MARS (Managing Aquatic Ecosystems and Water Resources Under Multiple Stress, Hering et al., 2015, Feld et al., 2016) que visa prever os efeitos de stresses múltiplos à escala da bacia sob diferentes modelos de mudanças climáticas futuras. Para este propósito, uma abordagem baseada em processos é usada para estimar vários stresses relacionados com o regime hidrológico e cargas de nutrientes que, em seguida, são acoplados a uma estrutura de modelação empírica para calibrar modelos que relacionam esses stresses e outras fontes de variabilidade com quatro elementos comuns de qualidade biótica da Directiva Quadro da Água (DQA) : peixes, macroinvertebrados, macrófitos e fitobentos. Este trabalho analisa especificamente os stresses e gradientes presentes nesta bacia, identifica a hierarquia do stress e testa as interações entre stresses e os seus efeitos sobre os indicadores bióticos.

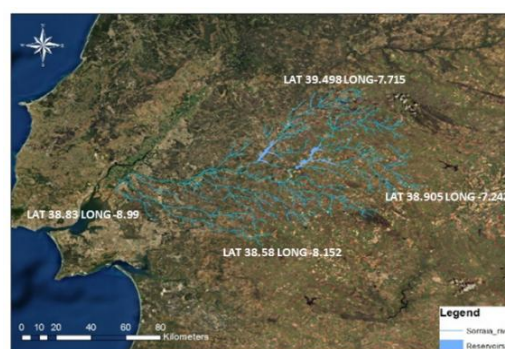
## Materiais e métodos

### Área de estudo

A bacia de Sorraia (Fig. 1) possui uma área de 7730 Km<sup>2</sup> e um comprimento de 155km. Drena para o estuário do rio Tejo (saída - 38,83 de latitude e longitude -8,99) e é o tributário do Tejo com a maior área da bacia.



a)



B)

Figura 1. a) Localização da bacia do Sorraia. b) Coordenadas dos limites da bacia do Sorraia

Ao longo dos anos, o rio Sorraia teve um papel vital para a região. De acordo com registros históricos, romanos e árabes tinham assentamentos no Vale da Sorraia, devido aos seus solos férteis e como forma de comunicação para exportar seus produtos agrícolas na segunda metade do século XX, o Plano de Irrigação do Vale de Sorraia foi posto em prática, através da construção das barragens de Montargil e Maranhão.



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

O rio Sorraia tem, em média, 1,70 m de profundidade e sua origem está localizada perto do Couço na confluência dos rios Sor e Raia (38,994 latitude, longitude -8,27; 50 m). A nascente do rio Sor está localizada a uma altitude de 330m, e a nascente do rio Raia é a junção de outras duas ribeiras que se elevam a 370m e 355m de altitude. Cerca de metade da bacia hidrográfica do Sorraia é coberta por bosques de sobreiros e a outra metade é coberta pela maior área de irrigação em Portugal (cerca de 15 500 ha).

Em termos de população humana, a bacia hidrográfica do Sorraia tem um total de 153 099 habitantes com uma densidade de 20 hab/km<sup>2</sup>. De acordo com o "Censos 2011" do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2012), a população humana concentra-se principalmente em três áreas principais: Ponte de Sôr (16 722 hab), Samora Correia (17 123 hab) e Coruche (19 944 hab). A bacia hidrográfica do Sorraia é caracterizada por um clima mediterrâneo, com verões quentes e secos e invernos frios e húmidos. Considerando um período de 31 anos (entre os anos hidrológicos 1981 e 2011) e 14 estações de hidrométricas, a precipitação anual média é de cerca de 600 mm, de 400 mm nos anos secos e de até 900 mm nos anos húmidos. A precipitação mensal média é de 50 mm, variando entre 25 mm em meses quentes (entre abril e setembro) e 70 mm em meses frios (entre outubro e março). Devido à presença dos dois reservatórios na bacia, o escoamento nas estações de medição é afetado. O caudal natural é afetado pelo uso de água para fins agrícolas, sendo reduzido pela captação de água para irrigação.

## Modelação

Para simular a variação diária de stresses relacionados com processos hidrológicos e cargas de nutrientes, o modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT, Neitsch et al., 2005) foi utilizado através da sua interface ArcSWAT para ArcGIS (ESRI, Redlands, CA, EUA).

A hidrologia do modelo baseia-se na equação do balanço hídrico, que inclui escoamento, precipitação, evaporação, infiltração e fluxo lateral no perfil do solo. Os resultados do modelo foram comparados com os dados disponíveis de duas estações de medição da Bacia de Sorraia: Moinho Novo e Ponte Vila Formosa (SNIRH; <http://snirh.apambiente.pt/>, acesso em 30 de julho de 2017). O período considerado para as análises de calibração e validação foi entre 1996 e 2015. O coeficiente de determinação entre o fluxo médio mensal modelado e observado foi de  $R^2 = 0,69$  para Moinho Novo e  $R^2 = 0,32$  para Ponte Vila Formosa; o enviesamento foi de -0,56 para Moinho Novo e 0,24 para Ponte Vila Formosa; o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) foi de 0,68 para Moinho Novo e 0,02 para Ponte Vila Formosa. Para o Total N, apenas o Moinho Novo apresentou séries de dados temporais suficientes para uma estimativa adequada do desempenho do modelo. Para a média anual média desse parâmetro, o coeficiente de determinação foi  $R^2 = 0,59$ , o enviesamento foi de 0,22 e a NSE foi de -0,98.

Os mapas GIS disponíveis de topografia, uso do solo, tipo de solo e clima, na área de estudo foram utilizados como insumos para o modelo SWAT. A topografia foi derivada da Missão de Topografia de Radares do Shuttle, com resolução de 90 m (Jarvis et al., 2008). As propriedades físicas do solo foram derivadas dos mapas portugueses do solo e da Capacidade de uso do solo (<http://www.dgadr.pt/cartografia>, acesso em 30 de julho de 2017). A classificação do uso do solo, adaptada à classificação SWAT, foi derivada do GSE Land M2.1 (Mateus et al., 2009), com resolução de 20 e 300 m. Os mapas climáticos, incluindo a precipitação diária ou horária, a temperatura, a



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

humidade relativa e a velocidade do vento foram derivadas do SNIRH (<http://snirh.apambiente.pt/>, acesso em 30 de julho de 2017).

Para abranger um gradiente ambiental e de stresses mais amplo, utilizamos dados de toda a Bacia do rio Tejo, onde a Bacia de Sorraia está incluída. O conjunto de dados compreendeu 141 locais do programa de biomonitorização da DQA (Agência Portuguesa do Ambiente, APA), com duas ocasiões de amostragem (2010-11).

O conjunto de dados incluiu informações sobre índices nacionais de qualidade biótica para quatro elementos de qualidade biótica: peixes, macroinvertebrados, macrófitas e fitobentos. Os índices de qualidade biótica foram transformados em uma relação de qualidade ecológica (EQR) calculada como a relação entre o valor original do índice de qualidade biótica para um local e o valor para referência ou locais menos perturbados da mesma tipologia. Um EQR próximo a zero indica um local com uma comunidade biológica que se desvia fortemente daqueles encontrados em condições de referência. Quinze variáveis preditoras foram selecionadas, incluindo quatro variáveis de pressão do uso do solo, dois stresses de nutrientes, quatro stresses hidrológicos e cinco variáveis que descrevem a variabilidade ambiental natural. As variáveis ambientais foram compiladas a partir da base de dados da rede do rio CCM2 (Vogt et al., 2007) para todos os segmentos do rio. As pressões de uso do solo foram derivadas da base de dados do CORINE landcover (European Environmental Agency, 2010). Essas variáveis de pressão foram usadas como proxy de diferentes stresses ambientais (por exemplo, enriquecimento de nutrientes, captação de água, poluição de sedimentos, represamento, regulação de fluxo) em vez de um stress em si mesmo. A percentagem de área na área de drenagem a montante foi calculada com o software RivTool v1.0.0.1 (Duarte et al., 2016).

Foram realizadas várias abordagens empíricas alternativas seguindo o procedimento geral proposto por Feld et al. (2016) para analisar os impactos de stresses nos dados de biomonitorização aquática. Utilizamos as três abordagens de modelagem para classificar a importância relativa dos stresses, o uso do solo, as variáveis climáticas e os atributos de fluxo para cada indicador biótico.

Todas as análises foram realizadas com R versão 3.3.2 (R Core Team, 2017) usando pacotes gbm (Ridgeway, 2007) e dismo versão 1.1-4 (Elith et al., 2008; Hijmans et al., 2017) para executar BRT, randomForestSRC (Ishwaran e Kogalur, 2017) para executar RF, lmerTest (Kuznetsova et al., 2014) e lme4 (Bates et al., 2015) para executar LMM e MuMIN (Bartón, 2016) para realizar a inferência multimodal. Utilizamos códigos R semelhantes aos fornecidos por Feld et al. (2016).

## Resultados

Entre os quatro elementos de qualidade biótica e as diferentes técnicas de modelação empírica, as variáveis mais frequentemente classificadas nas três primeiras posições de importância relativa (Tabelas 1 a 4) foram: % de agricultura (para fitobentos, macroinvertebrados e peixes) e a temperatura média anual (para macroinvertebrados e peixe). As variáveis mais frequentemente classificadas nas últimas três posições de importância relativa foram a alteração de caudal (todos os elementos de qualidade biótica) e o número de eventos de caudal baixo (fitobentos e macroinvertebrados). Para o EQR de fitobentos (Tabela 2), duas variáveis de uso do solo, % de agricultura e





7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

% de urbano, foram consistentemente as variáveis preditoras mais importantes entre os três modelos. Uma variável de stress relacionada com a escassez de água (duração média dos eventos de baixo caudal) foi classificada na terceira posição, seguida da inclinação do rio e da temperatura média anual. A % de floresta, o número de eventos de caudal baixo e a alteração do caudal foram consistentemente as variáveis menos importantes. As variáveis preditoras mais importantes que afetam os macrófitos EQR (Tabela 2) foram um atributo do segmento do rio (declive do rio), uma variável de uso do solo (% de floresta) e um stress hidrológico (caudal médio anual), embora classificado de forma inconsistente em primeiro, segundo ou terceiro lugar entre os três modelos. A temperatura média anual, as culturas irrigadas e a alteração do caudal foram consistentemente classificadas nas últimas três posições entre os modelos.

Para os macroinvertebrados EQR (Tabela 3), as variáveis preditoras classificadas nas três primeiras posições foram: % agricultura, temperatura média anual e % de culturas irrigadas. Nesse caso, as variáveis segundo LMM mostraram uma inconsistência geral com as de BRT e RF. Por exemplo, o ano foi classificado na primeira posição na LMM, mas nas últimas três posições nos modelos BRT e RF. O tamanho da captação, a alteração do caudal e o número de eventos de baixo caudal foram classificados nas últimas três posições, embora sua classificação mostre consistência fraca entre os métodos.

A temperatura média anual, a quantidade total de N e % de agricultura foram as variáveis que tiveram o maior grau de importância para o EQR dos peixes (Tabela 4). A duração média dos eventos de baixo caudal foi o segundo stress mais importante, embora mostrando a maior inconsistência entre os modelos.

Tabela 1 - Importância relativa das variáveis como preditores de EQR de fitobentos em cada modelo (BRT – Boosted Regression Trees, RF – Random Forests, LMM - Modelos Lineares Mistos), importância média entre modelos (Mean rank).

Variable	BRT	RF	LMM	Mean rank
% Agriculture	23.13	35.91	17.35	1.00
% Urban areas	15.61	19.60	16.99	2.00
Mean duration of low flow events	6.42	8.57	6.44	5.33
River slope	6.80	4.28	10.97	5.67
Mean annual temperature	7.29	3.57	6.13	6.00
Mean annual flow	10.49	5.49	4.64	6.00
Size of catchment	7.25	6.35	4.65	6.33
% Irrigated croplands	7.26	3.55	5.84	7.00
Total N	5.59	7.44	4.53	7.67
Year	1.49	0.00	9.38	9.67
% Forest	4.39	3.17	4.47	10.33
Number of low flow events	4.27	1.91	4.35	11.33
Flow alteration	0.00	0.15	4.27	12.67



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

Tabela 2 - Importância relativa das variáveis como preditores de macrófitas EQR em cada modelo (BRT – Boosted Regression Trees, RF – Random Forests, LMM - Modelos Lineares Mistos), importância média entre modelos (Mean rank).

Variable	BRT	RF	LMM	Mean rank
River slope	17.80	22.95	15.56	2.33
% Forest	18.76	31.63	8.06	2.67
Mean annual flow	24.05	30.12	8.02	3.00
% Urban areas	15.82	10.08	7.39	5.00
Number of low flow events	4.66	0.16	11.45	6.33
Total N	5.51	0.51	6.52	6.67
% Agriculture	2.41	2.49	5.18	7.33
Mean duration of low flow events	5.22	1.17	5.09	7.33
Size of catchment	1.77	0.43	8.95	7.67
Year	0.53	0.46	10.28	7.67
Mean annual temperature	1.99	0.00	4.46	10.67
% Irrigated croplands	1.48	0.00	4.78	11.67
Flow alteration	0.00	0.00	4.26	12.67

Tabela 3 - Importância relativa das variáveis como preditores de macroinvertebrados EQR em cada modelo (BRT – Boosted Regression Trees, RF – Random Forests, LMM - Modelos Lineares Mistos), importância média entre modelos (Mean rank).

Variable	BRT	RF	LMM	Mean rank
% Agriculture	23.88	31.63	18.42	1.33
Mean annual temperature	9.69	9.39	9.11	3.00
% Irrigated croplands	9.21	12.49	7.89	3.33
% Urban areas	7.85	7.31	6.72	5.33
Total N	7.35	9.98	4.15	6.33
River slope	4.70	5.47	8.70	7.33
Year	6.18	2.68	18.74	7.33
Mean annual flow	7.83	4.77	3.67	8.67
% Forest	7.50	4.58	3.99	8.67
Mean duration of low flow events	6.58	6.35	3.47	9.00
Size of catchment	6.55	5.00	3.96	9.33
Flow alteration	0.95	0.36	7.00	10.33
Number of low flow events	1.73	0.00	4.18	11.00



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

Tabela 4 - Importância relativa das variáveis como preditores de EQR de peixe em cada modelo ((BRT – Boosted Regression Trees, RF – Random Forests, LMM - Modelos Lineares Mistos), importância média entre modelos (Mean rank).

Variable	BRT	RF	LMM	Mean rank
Mean annual temperature	57.92	45.82	21.67	1.00
Total N	12.44	14.73	16.41	2.67
% Agriculture	14.12	16.44	6.57	3.33
% Forest	6.20	3.77	6.70	4.67
Mean duration of low flow events	0.26	4.64	8.41	6.00
River slope	2.14	3.02	5.15	7.00
% Irrigated croplands	0.84	3.90	5.13	7.67
Number of low flow events	0.48	2.19	6.62	8.33
% Urban areas	2.56	2.37	4.52	8.33
Size of catchment	1.33	2.57	4.36	9.67
Mean annual flow	1.63	0.54	4.42	10.00
Year	0.08	0.00	5.25	10.67
Flow alteration	0.00	0.00	4.79	11.67

## Discussão

No caso de estudo apresentado, houve um elevado impacto do uso do solo na bacia de drenagem a montante em indicadores bióticos (ver Liuzzo et al., 2015, Santos et al., 2015 e Sellami et al., 2016 para resultados anteriores comparáveis). Isto foi evidente para todos os elementos bióticos estudados, e é uma consequência do fato de que as variáveis de uso do solo tenderem a ser um proxy para múltiplos stresses (Feld et al., 2016). Além disso, as variáveis hidrológicas e climáticas foram consideradas variáveis importantes, embora para diferentes elementos bióticos. Os efeitos de extração de água podem afetar severamente os sistemas (Dewson et al., 2007; Wooster et al., 2016; Benejam et al., 2010; Lange et al., 2014), especialmente nas regiões mediterrâneas e sob o efeito de alterações climáticas. No entanto, todos os elementos bióticos variaram em termos das principais variáveis de classificação. Para os macrófitos o declive do rio, uma variável que reflete o gradiente natural entre as cabeceiras e os troços de planície – foi uma variável muito importante e este foi o único elemento biótico para o qual uma variável "estrutural" teve uma importância elevada. Isto é devido à ecologia deste elemento biótico e aos múltiplos efeitos da inclinação do rio - velocidade da água, transporte de sedimentos e tempo de residência - que cria uma variação longitudinal muito acentuada na composição e estrutura das comunidades de vegetação aquática e ripícola (Manolaki e Papastergiadou, 2013). Os peixes, por outro lado, foram o único elemento a classificar um stress (total N) entre as variáveis mais importantes. Isso ocorre porque o N total está relacionado com uso do solo que por sua vez também estão intimamente ligados a mudanças conhecidas na comunidade de peixes seguindo as alterações estruturais "ao longo do rio". Um aumento na concentração de nutrientes pode levar, em áreas isoladas, à proliferação de macrófitas submersas e consequentemente a impactos severos em peixes de água doce (Pusey e Arthington, 2003).





7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

Os resultados deste trabalho destacam claramente a importância de ter mais do que um elemento biótico como objetivo de gestão/conservação, ou como um indicador de priorização de gestão/conservação. Cada elemento responde de forma muito diferente às diversas categorias de variáveis ambientais. Além disso, é importante considerar várias variáveis ambientais de cada categoria (por exemplo, hidrologia, clima, uso do solo). A imagem geral é importante para perceber de forma holística qual o estado de uma bacia e definir práticas de gestão/conservação, porque cada elemento biótico é afetado de forma diferente pela variação ambiental e pelos stresses a atuar no sistema. Mesmo que um stress seja considerado como uma variável importante para dois elementos bióticos, a resposta de cada um pode ser diferente à medida que os limiares de “subsidy-stress” mudam (ou não) entre os elementos (Odum, 1979).

Uma vez que o aumento dos nutrientes e usos do solo ligados à agricultura tiveram um grande impacto em todos os indicadores avaliados, deve ser dirigido esforço para limitar as cargas de nutrientes que chegam ao rio. Por exemplo aumentando a eficiência das práticas de fertilização. É esperado um aumento futuro do número de eventos de caudal reduzido extremo nas regiões do Mediterrâneo de acordo com a maioria dos modelos de circulação globais e regionais (IPCC, 2001), com um impacto negativo esperado na qualidade biótica dos rios. A agricultura pode exacerbar esse efeito através da captação de água e, portanto, também é recomendado um esforço centrado na implementação de esquemas de irrigação mais eficientes.

Este trabalho demonstra as potencialidades de se combinar modelação empírica e modelação com base em processos. Assim, através de projeções de modelos sob cenários hipotéticos futuros e do teste do efeito de medidas de gestão/restauro/conservação, a tomada de decisões à escala da bacia pode ser facilitada.

## Agradecimentos

Agradecemos à Agência Portuguesa do Ambiente (APA) por fornecer dados de biomonitorização da Bacia do Tejo. Este trabalho faz parte do projeto MARS (Managing Aquatic ecosystems and water Resources under multiple Stress) financiado pelo 7º Programa-Quadro da UE, Tema 6 (Meio ambiente, incluindo alterações climáticas), contrato nº 603378. Pedro Segurado é apoiado por um contrato financiado pela Fundação para Ciência e Tecnologia (FCT) no âmbito do Programa IF (IF / 01304/2015). Paulo Branco é apoiado por uma bolsa FCT (SFRH / BPD / 94686/2013). CEF é uma unidade de pesquisa financiada pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), Portugal (UID/AGR/00239/2013).

## Referências

- Bartoń, K. 2016. MuMIn: Multi-Model Inference. R Package Version 1.15.6. <https://cran.rproject.org/web/packages/MuMIn/index.html>.
- Bates, D., Maechler M. Bolker B. Walker S. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. Journal of Statistical Software 67(1), 1-48.
- Benejam, L., Angermeier, P. L., Munne, A., García-Berthou, E., 2010. Assessing effects of water abstraction on fish assemblages in Mediterranean streams. Freshwater Biology 55(3), 628–642.



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

Branco, P., Boavida, I., Santos, J.M., Pinheiro, A., Ferreira M.T., 2013. Boulders as building blocks: improving habitat and river connectivity for stream fish. *Ecohydrology* 6(4): 627-634.

Branco, P., Santos, J.M., Amaral, S., Romao, F., Pinheiro, A.N., Ferreira, M.T., 2016. Potamodromous fish movements under multiple stressors: Connectivity reduction and oxygen depletion. *Science of the Total Environment* 572, 520-525.

Dewson, Z.S., James, A.B., Death, R.G., 2007. A review of the consequences of decreased flow for instream habitat and macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society* 26(3), 401-415.

Duarte G., Oliveira T., Segurado P., Branco P., Haidvogel G., Pont D Ferreira M.T., 2016. River Network Toolkit (RivTool) – A new software for river networks. CCM2 River and Catchment Database for Europe – Applications workshop in the 19th AGILE International Conference on Geographic Information Science. Helsinki, Finland

Elith, J., Leathwick, J.R., Hastie, T., 2008. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology* 77, 802–813.

European Environmental Agency, 2010. Corine Land Cover 2006 raster data. (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-3>).

Feld, C.K., Segurado, P., Gutiérrez-Cánovas, C., 2016. Analysing the impact of multiple stressors in aquatic biomonitoring data: A “cookbook” with applications in R. *Science of the Total Environment* 573, 1320-1339.

Fernandes, M.R., Segurado, P., Jauch, E., Ferreira, M.T., 2016. Riparian responses to extreme climate and land-use change scenarios. *Science of the Total Environment* 569–570, 145–158.

Hering, D., Carvalho, L., Argillier, C., Beklioglu, M., Borja, A., Cardoso, A.C., Duel, H., Ferreira, T., Globevnik L., Hanganu, J., Hellsten, S., Jeppesen, E., Kodeš, V., Lyche Solheim, A., Nöges, T., Ormerod, S., Panagopoulos, Y., Schmutz, S., Venohr, M., Birk, S., 2015. Managing aquatic ecosystems and water resources under multiple stress - an introduction to the MARS project. *Science of Total Environment* 503-504, 10–21.

Hijmans, R.J., Phillips, S., Leathwick, J., Elith, J., 2013. Species distribution modeling. Package “dismo”. <https://cran.r-project.org/web/packages/dismo/dismo.pdf> (Accessed 30 July 2017).

INE, 2012. Censos 2011 - XV Recenseamento Geral da população e V Recenseamento Geral da Habitação. Resultados definitivos. INE, I.P., Lisboa.

IPCC, 2001. Climate change 2001: the scientific basis. In Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Houghton, J.T., Ding, Y., Grigg, D.J., Noguer, M., Linden, P.J., Dai X., Maskell, K., Johnson, C.A. (eds). Cambridge. University Press: Cambridge, UK and New York, NY, USA; 881 pp. <http://www.ipcc.ch/>.

Ishwaran, H. Kogalur, U.B., 2017. Random Forests for Survival, Regression, and Classification (RF-SRC), R package version 2.5.0.

Jarvis, A., Reuter, H.I., Nelson, A., Guevara, E., 2008. Hole-filled seamless SRTM data V4. International Centre for Tropical Agriculture (CIAT). Available at: <http://srtm.csi.cgiar.org> (accessed 30 July 2017).



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
NOVOS  
DESAFIOS

Kuznetsova, A., Brockhoff, P.B., Christensen, R.H.B., 2014. lmerTest: Tests for Random and Fixed Effects for Linear Mixed Effect Models (Lmer Objects of Lme4 Package). R Package Version 2.0-6. <https://cran.r-project.org/web/packages/lmerTest/lmerTest.pdf>.

Lange, K., Townsend, C.R., Gabrielsson, R., Chanut, P., Matthaei, C.D., 2014. Responses of stream fish populations to farming intensity and water abstraction in an agricultural catchment. *Freshwater biology* 59(2), 286-299.

Liuzzo, L., Noto, L.V., Arnone, E., Caracciolo, D., La Loggia, G., 2015. Modifications in water resources availability under climate changes: a case study in a Sicilian Basin. *Water resources management* 29(4), 1117-1135.

Manolaki, P., Papastergiadou, E., 2013. The impact of environmental factors on the distribution pattern of aquatic macrophytes in a middle-sized Mediterranean stream. *Aquatic Botany*, 104, 34-46.

Mateus, V., Brito, D., Chambel-Leitão, P., Caetano, M., 2009. Produção e utilização de cartografia multi-escala derivada através dos sensores LISSIII, AWiFS e MERIS para modelação da qualidade da água para a Bacia Hidrográfica do Rio Tejo. Conference Paper. <https://www.researchgate.net/publication/272885901> (accessed 30 July 2017).

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., 2005. Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation, Version 2005. Blackland Research Center/Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, Grassland/Temple, TX.

Odum, E.P., Finn, J. T., Franz, E.H., 1979. Perturbation theory and the subsidy-stress gradient. *Bioscience* 29(6), 349-352.

Pusey, B.J., Arthington, A.H., 2003. Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: a review. *Marine and Freshwater Research* 54(1), 1-16.

R Core Team, 2017. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Austria. URL, Vienna. <https://www.R-project.org> (accessed 30 July 2017).

Ridgeway, G., 2007. Generalized Boosted Models: A Guide to the gbm Package. 12pp.-490. <http://cran.r-project.org/web/packages/gbm/vignettes/gbm.pdf>

Santos, R.M.B., Fernandes, L.S., Varandas, S.G.P., Pereira, M.G., Sousa, R., Teixeira, A., ... Pacheco, F. A. L., 2015. Impacts of climate change and land-use scenarios on *Margaritifera margaritifera*, an environmental indicator and endangered species. *Science of the Total Environment* 511, 477-488.

Schinegger, R., Trautwein, C., Melcher, A., Schmutz, S., 2012. Multiple human pressures and their spatial patterns in European running waters. *Water Environ. J.* 26 (2), 261-273.

Segurado, P., Branco, P., Jauch, E., Neves, R., Ferreira M.T. 2016. Sensitivity of river fishes to climate change: the role of hydrological stressors on habitat range shifts. *Science of the Total Environment* 562: 435-445.

Sellami, H., Benabdallah, S., La Jeunesse, I., Vanclooster, M., 2016. Quantifying hydrological responses of small Mediterranean catchments under climate change projections. *Science of the Total Environment* 543, 924-936.



7, 8 e 9  
Março 2018  
ÉVORA  
Évora Hotel

GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS:  
**NOVOS  
DESAFIOS**

Vogt, J., Soille, P., de Jager, A., Rimavičiūtė, E., Mehl, W., Foisneau, S., Bodis, K., Dusart, J., Paracchini, M.L., Haastруп, P., Bamps, C., 2007. [A Pan-European River and CatchmentDatabase](#). European Commission - JRC, Luxembourg (EUR 22920 EN).

Wooster, D., Miller, S.W., DeBano, S.J., 2016. Impact of season-long water abstraction on invertebrate drift composition and concentration. *Hydrobiologia* 772(1), 15-30. Zuur, A., Ieno, E.N., Walker, N., Saveliev, A.A., Smith, G.M., 2009. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology With R*. Springer, New York.