



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

IMPACTES DAS ALTERAÇÕES DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E DA MUDANÇA DEMOGRÁFICA NOS RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SABOR

Regina, SANTOS¹; Luís, SANCHES FERNANDES²; Rui, CORTES³; Fernando, PACHECO⁴

¹Bolseira de Investigação, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados 5000-801 Vila Real, rsantos@utad.pt, telefone: 259 350 356

² Professor Auxiliar com Agregação, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados 5000-801 Vila Real, lfilipe@utad.pt, telefone: 259 352 397

³ Professor Catedrático, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados 5000-801 Vila Real, rcortes@utad.pt, telefone: 259 352 863

⁴ Professor Auxiliar com Agregação, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados 5000-801 Vila Real, fpacheco@utad.pt, telefone: 259 352 280

Resumo

O presente estudo pretende avaliar o impacto das alterações de uso e ocupação do solo e da demografia, no caudal da bacia hidrográfica do Rio Sabor, entre 1960 e 2009. Assim como, estimar os efeitos da projeção da reflorestação e da densidade demográfica para os anos de 2025 e 2045. Para o cumprimento do objetivo proposto foram utilizados dois softwares: o SWAT e o MIKE HYDRO Basin. O primeiro é um modelo físico capacitado para modelar o impacto das alterações do uso e ocupação do solo nos caudais, o segundo é utilizado como ferramenta de suporte à decisão, para a gestão e planeamento integrado de recursos hídricos. Desta forma, o SWAT foi utilizado na construção do modelo hidrológico e o MIKE HYDRO Basin na simulação da alocação de água, nomeadamente irrigação e consumo doméstico.

Os principais resultados indicam que as alterações do uso e ocupação do solo, ocorridas entre 1960 e 2009, foram muito pequenas e não tiveram impacto significativo no caudal, bem como a baixa densidade demográfica registada na área da bacia. No entanto, por se tratar de uma bacia onde a área agrícola ocupa 59%, o consumo de água para irrigação representou, em média, 27% do escoamento superficial, entre 1960 e 2009. O resultado da projeção do aumento da área florestal em 26% e 28% até 2025 e 2045 respetivamente, indicou o aumento dos fluxos subterrâneo e intermédio e a diminuição do fluxo superficial.

Palavras-chave: SWAT, MIKE HYDRO Basin, Modelação hidrológica, Irrigação, Reflorestação e Projeção demográfica.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

Tema: Gestão de hidrográficas.

recursos hídricos e bacias

1. INTRODUÇÃO

A interferência do homem na quantidade e na qualidade dos recursos hídricos é hoje tão significativa, que pode ser definida em função da gestão do uso e ocupação do solo praticada na bacia hidrográfica. As práticas afetam de forma considerável o caudal, os sedimentos e os nutrientes numa bacia hidrográfica. O conjunto de ações voltadas para a gestão racional dos recursos hídricos pode ser potenciada, quando a escala de trabalho é a bacia hidrográfica com todos os impactes a que está sujeita. Esta abordagem permite avaliar as várias utilizações da água e os aspetos relacionados com o uso e ocupação do solo. Neste sentido a modelação hidrológica constitui uma ferramenta importante para avaliar de forma detalhada os processos hidrológicos, permitindo, por um lado, analisar as consequências das atuais práticas de gestão, e por outro, prever o impacte das projeções ambientais e demográficas no médio e longo prazo.

O software SWAT (Soil and Water Assessment Tool) foi o modelo hidrológico utilizado para modelar os processos físicos ocorridos na bacia do Rio Sabor. Este software baseia-se num modelo matemático que tem sido continuamente desenvolvido pelo USDA (United States Department of Agriculture) (Neitsch et al., 2011; Arnold et al., 2012). Este software foi selecionado por se tratar de um modelo físico que requer a introdução de uma série de dados espaço-temporais, com o objetivo de prever o impacte das intervenções humanas (e.g. alterações no uso e ocupação de solo e utilização de fertilizantes agrícolas) nos processos hidrológicos e químicos de bacias hidrográficas (Neupane e Kumar, 2015; Rocha et al., 2015).

O MIKE HYDRO Basin é um software desenvolvido pela Danish Hydrologic Institute (DHI, 2017) e é utilizado como ferramenta de suporte à decisão para a gestão e planeamento integrado de recursos hídricos. Este software comporta uma modelação hidrológica abrangente para fornecer soluções à escala da bacia. É utilizado para gerir a distribuição de água numa bacia, onde se incluem as operações com reservatórios e hidroelétricas, assim como, problemas de qualidade da água (Bangash et al., 2012; Santos et al., 2015). Neste estudo, o MIKE HYDRO Basin foi selecionado para criar o modelo de alocação de água no que refere à irrigação e consumo doméstico.

O objetivo deste estudo consiste em avaliar os impactes das alterações de uso e ocupação do solo e da demografia, na quantidade de água da bacia hidrográfica do Rio Sabor, nas últimas décadas; bem como estimar os efeitos da projeção da reflorestação e da densidade demográfica no médio e longo prazo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O Rio Sabor localiza-se no nordeste de Portugal e é um afluente do Rio Douro. O curso de água principal tem 212,6 km de extensão e a bacia hidrográfica uma área aproximada de 3834,5 km² (Figura 1). Os dados meteorológicos médios anuais da bacia, entre 1960 e 1999, foram de 745 mm de precipitação, 565 mm de evapotranspiração e 151 mm de escoamento superficial. De acordo com o Corine Land Cover 1990 disponível em EEA (2017) a agricultura ocupa 59% da área da bacia, os meios seminaturais 31%, a floresta 9% e as áreas artificiais e corpos de água menos de 1%. No Rio Sabor foram construídas recentemente duas barragens, designadas de escalão de montante e escalão de jusante, localizadas respetivamente a 12,6 e 3 km da foz do Rio Sabor (Santos et al., 2017).

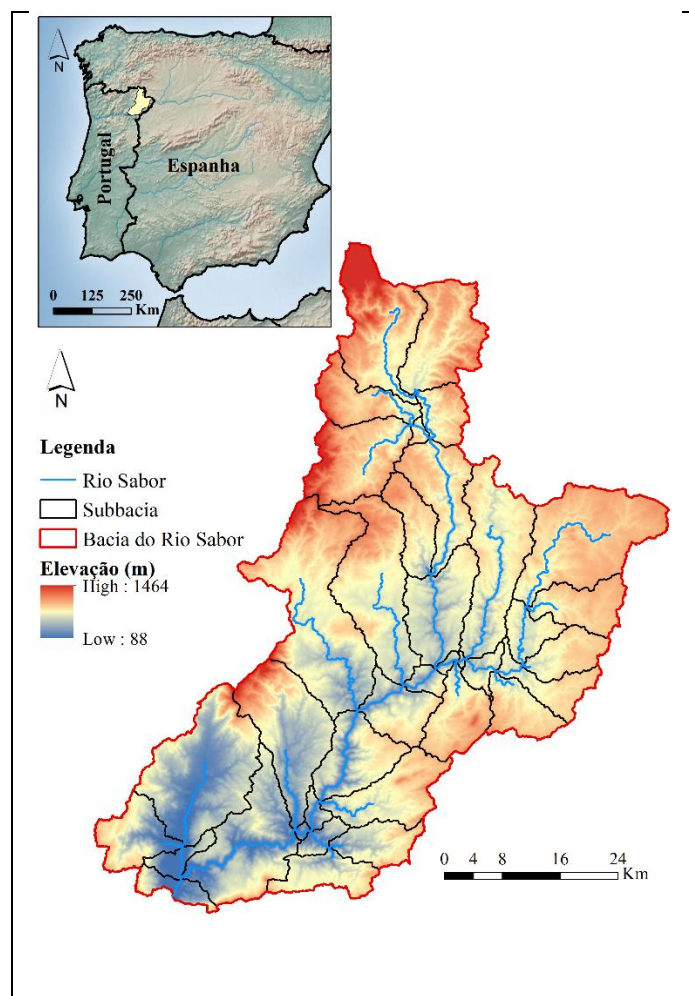


Figura 1. Enquadramento da bacia hidrográfica do Rio Sabor. Localização espacial da rede hidrográfica, das subbacias e do modelo digital do terreno.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

2.2. SWAT e MIKE HYDRO Basin

No SWAT o modelo da bacia hidrográfica do Rio Sabor foi dividido em 37 subbacias, e sustentado por dados meteorológicos, hidrológicos, tipo de solo, uso e ocupação do solo, modelo digital do terreno, entre 1960 e 2009 (DGT, 2017; EEA, 2017; SNIRH, 2017) (Figura 2). Na modelação das alterações de uso e ocupação do solo foi utilizado o Corine Land Cover 1990 e as mudanças registadas no CLC 2000 e 2006. Os caudais obtidos no modelo foram calibrados no SWAT-CUP. Os caudais, depois de calibrados, foram integrados no MIKE HYDRO Basin, para modelar as utilizações da água (o consumo doméstico e a irrigação). O consumo doméstico foi calculado com dados da densidade populacional e do consumo de água per capita, obtidos no portal do INE e do PORDATA, entre 1960 e 2009 (INE, 2017; PORDATA, 2017). A figura 3 representa a densidade populacional por município e foi selecionado como exemplo o ano de 2005. A quantidade de água utilizada na irrigação foi calculada com base nas culturas de regadio e áreas agrícolas identificadas no COS 2007 (DGT, 2017), e nos dados das características de cada cultura provenientes das tabelas da FAO (Allen et al., 1998). As culturas definidas para irrigação foram: hortícolas, olival, pastagens, pomares, vinha, milho e batata. O Olival representa a cultura com maior área, distribuída pelo centro e sul da bacia hidrográfica do Rio Sabor (Figura 3).

Em termos de projeções foi modelada a reflorestação proposta no Plano Regional de Ordenamento Florestal do Douro (Machado e Bento, 2006a) e Nordeste (Machado e Bento, 2006b), e a densidade demográfica estimada pelo INE para os anos de 2025 e 2045. A reflorestação foi modelada no SWAT e os caudais foram inseridos no MIKE HYDRO Basin, onde foram posteriormente modeladas as projeções demográficas.

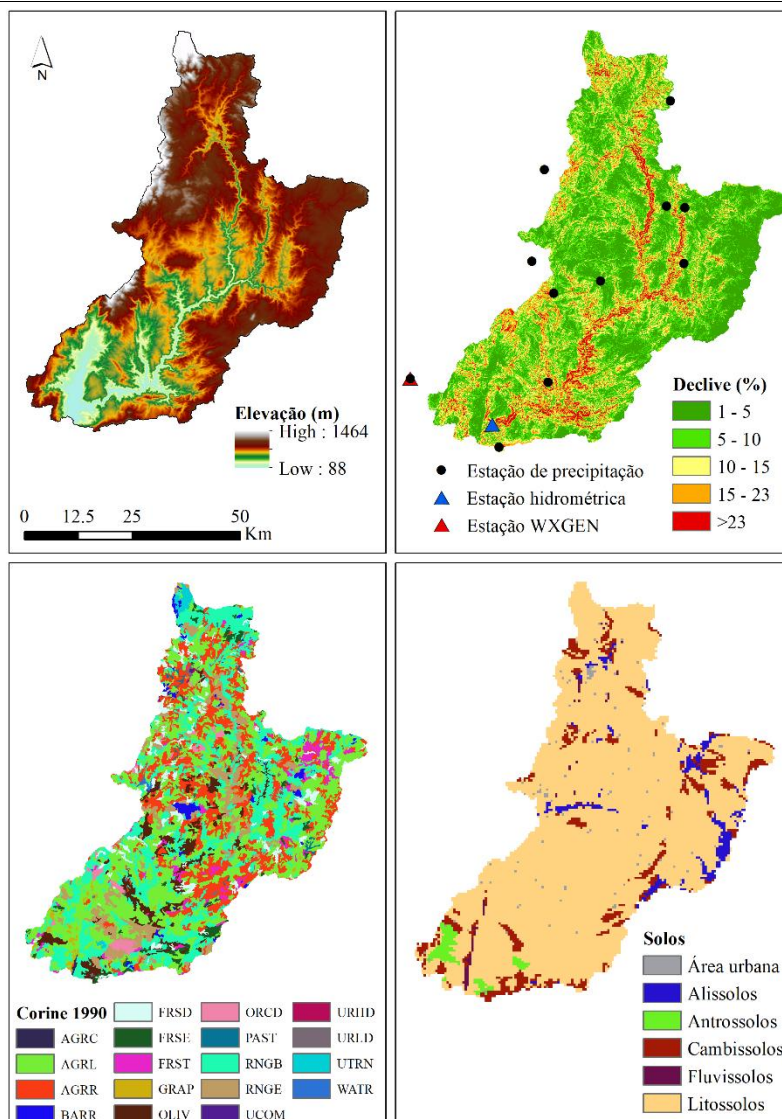


Figura 2. Dados inseridos no SWAT para a construção do modelo hidrológico: Elevação, declive, Corine Land Cover de 1990, solos e dados das estações meteorológicas e hidrométrica.

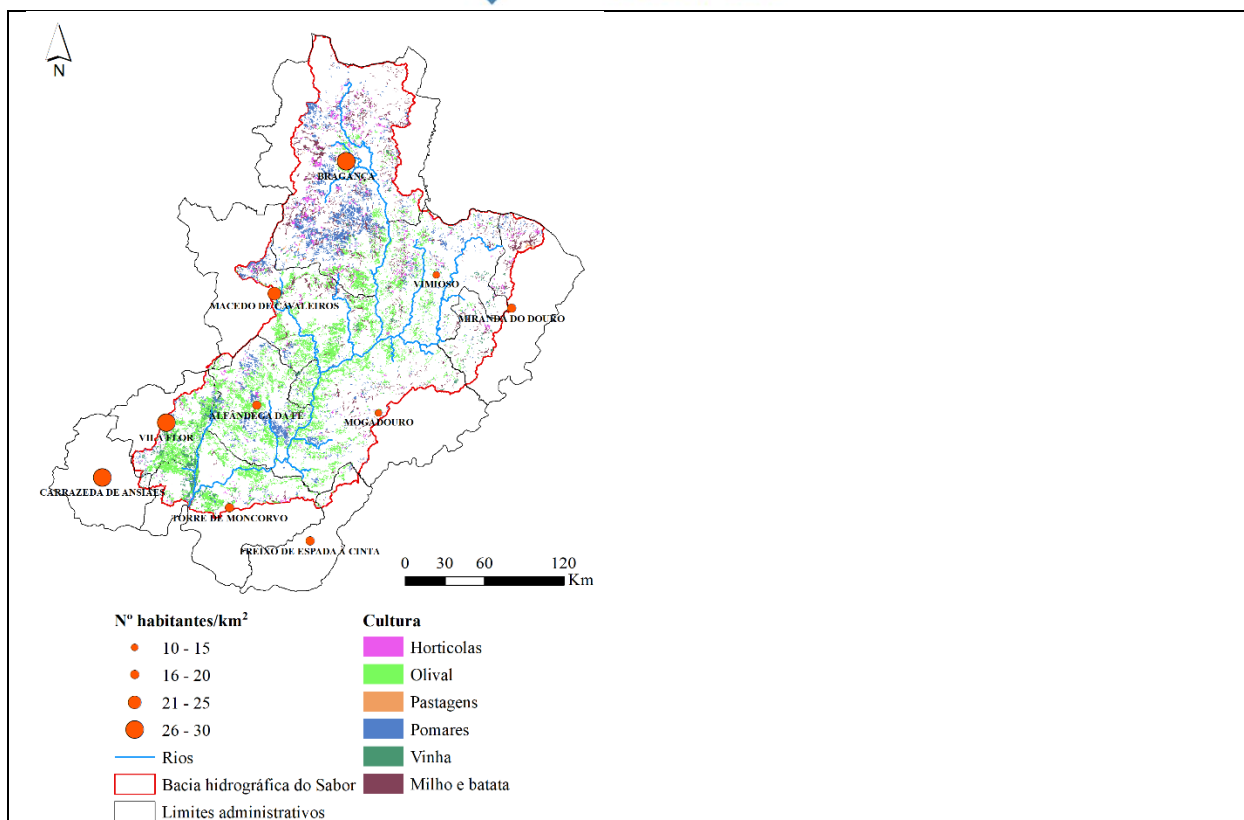


Figura 3. Dados inseridos no MIKE HYDRO Basin para a distribuição de água no modelo hidrológico: densidade demográfica e culturas agrícolas segundo o COS 2007.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O SWAT-CUP foi utilizado para fazer a análise de sensibilidade e a calibração dos caudais. A análise de sensibilidade permitiu identificar os parâmetros que mais influenciaram o resultado do modelo para serem utilizados na calibração. Na tabela 1 estão representados os parâmetros utilizados na calibração mensal do modelo hidrológico, entre 1960 e 1999, e respetivo intervalo de valores. Entre o caudal calibrado e o observado obteve-se um ajuste razoável (Figura 4). Também as medidas de qualidade do ajuste do modelo hidrológico apontaram no mesmo sentido, com o RSR (standardized root mean square error) e NS (Nash-Sutcliffe Coeficiente) a apresentar resultados bastante bons, o coeficiente de determinação de aceitável e a percentagem de PBIAS de satisfatório (Moriassi et al., 2007; Makungo et al., 2010) (Tabela 2).

Tabela 1. Parâmetros utilizados na calibração do modelo hidrológico.

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Descrição
r__CN2.mgt	-0.2	0.2	Curve number for moisture condition II
v__ALPHA_BF.gw	0	1	Base flow alpha factor
v__GWQMN.gw	0	2	Flow threshold depth of water in shallow aquifer
v__GW_REVAP.gw	0	0.2	Groundwater re-evaporation coefficient
v__ESCO.hru	0.2	1	Soil evaporation compensation factor
r__SOL_AWC(1).sol	-0.2	0.4	Soil available water capacity (soil 1st layer)
v__REVAPMN.gw	0	500	Threshold depth of water in the shallow aquifer

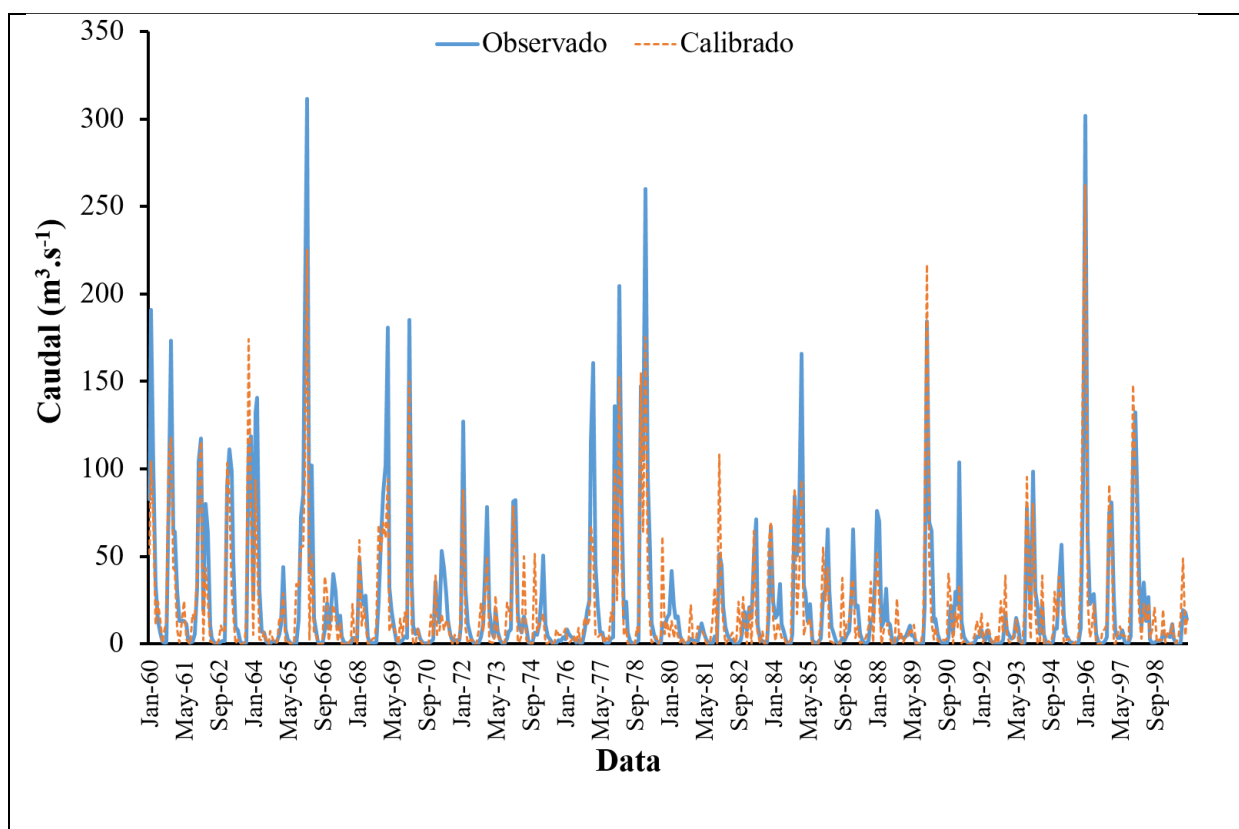


Figura 4. Calibração do caudal mensal na bacia do Rio Sabor entre 1960 e 1999.

Tabela 2. Medidas de qualidade do ajuste do modelo hidrológico. As medidas resultam da calibração mensal com valores de caudal entre 1960 e 1999.

Estação hidrométrica	R2 (Coeficiente de determinação)	RSR (Estandarizado RMSE)	NS (Nash-Sutcliffe Coeficiente)	PBIAS
Quinta das Laranjeiras	0.77 (> 0.5 aceitável ^a)	0.49 (Muito bom ^b)	0.76 (Muito bom ^b)	19.2 (Satisfatório ^b)

^a Makungo, R., Odiyo, J., Ndiritu, J., Mwaka, B. (2010). Rainfall-runoff modelling approach for ungauged catchments: a case study of Nzhelele River sub-quaternary catchment. Phys Chem Earth Parts A/B/C 35:596–607.

^b Moriasi, D., Arnold, J., Van Liew, M., Bingner, R., Harmel, R., Veith, T. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Trans Asabe 50:885–900.

Os resultados da análise das alterações do uso e ocupação do solo ocorridas na bacia do Rio Sabor, no período entre 1960 e 2009, foram muito pequenas e não tiveram impacto significativo no caudal (Figura 5). A baixa densidade populacional também representou um reduzido consumo de água. Temos como exemplo o ano de 2005, com a densidade média de 20,4 habitantes/Km², em que cada habitante consumiu, em média, 49 litros/dia de água, o que representou o consumo insignificante de 0,03%, no entanto, no período de verão, o consumo subiu para 1,4%, devido a imigração. Em contrapartida, o consumo de água para irrigação foi mais expressivo por se tratar de uma bacia com 59% de área agrícola (Figura 3). Desta forma, a água despendida para irrigação representou, em média, 27% do escoamento superficial da bacia, entre 1960 e 2009.

A modelação da projeção do aumento da área florestal em 26% e 28% até 2025 e 2045 respetivamente, resultou no aumento dos fluxos subterrâneo e intermédio e na diminuição do fluxo superficial. Na estação húmida os fluxos subterrâneo e intermédio aumentaram 7% e 2% respetivamente, e o fluxo superficial diminuiu 9%. Na estação seca os fluxos subterrâneo e intermédio aumentaram 0,3% e 6% respetivamente, e o fluxo superficial diminuiu 7% (Tabela 3). A diferença nos componentes do balanço hídrico entre as duas projeções (2025 e 2045) revelou-se insignificante. As projeções demográficas para 2025 e 2045 estimaram a redução da população de 6,5% e 16,5%, respetivamente, contudo, o consumo de água para uso doméstico foi pouco expressivo.

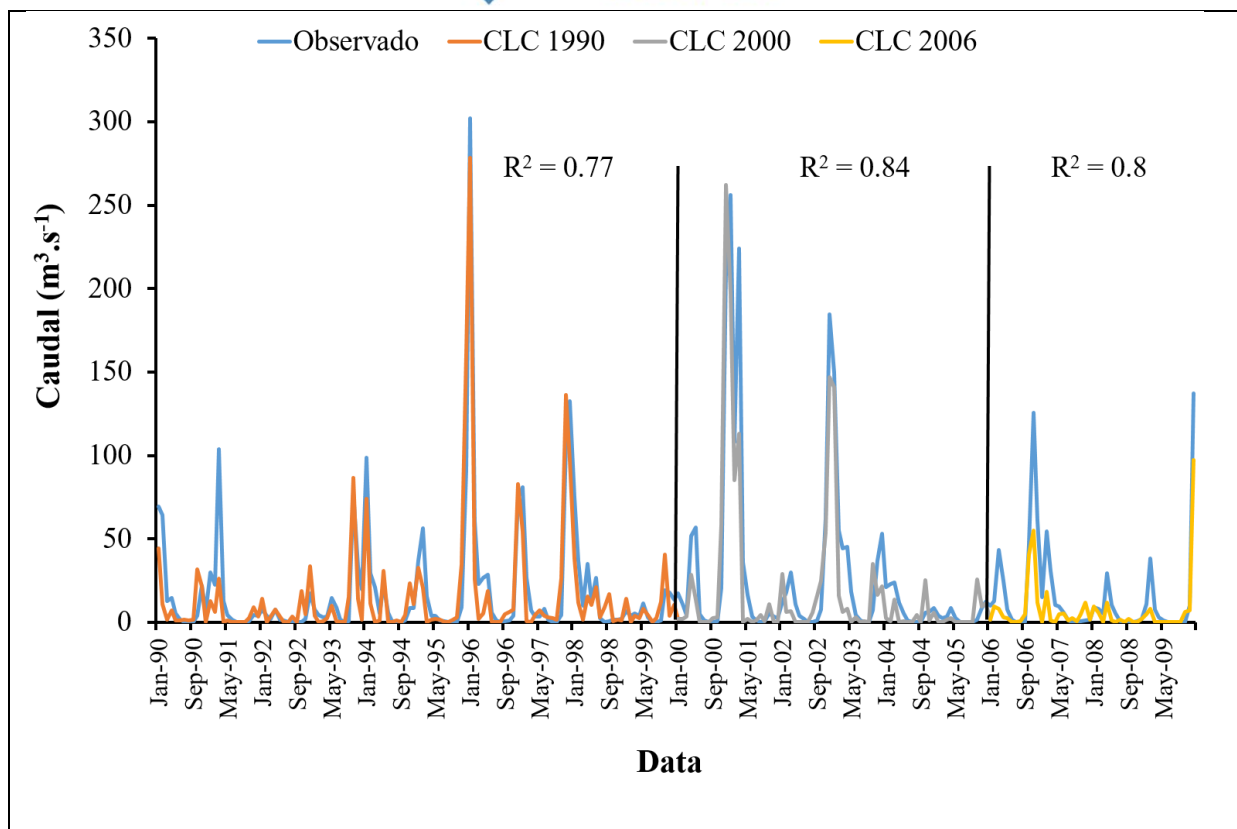


Figura 5. Comparação do caudal mensal observado e simulado na bacia do rio Sabor. Os caudais foram simulados entre 1990 e 1999 com o CLC 1990, entre 2000 e 2005 com o CLC 2000 e entre 2006 e 2009 com o CLC 2006.

Tabela 3. Influência da projeção do aumento da área florestal em 26% e 28% até 2025 e 2045 no fluxo superficial, lateral e subterrâneo. AAA20 e AAA40 - área arborizada prevista para daqui a 20 e 40 anos respetivamente. CLC90 – Corine Land Cover 1990.

	Fluxo superficial (%)	Fluxo intermédio (%)	Fluxo subterrâneo (%)
Senário AAA20-CLC90			
Estação seca	-6.8	5.5	0.3
Estação húmida	-8.8	2	6.6
Senário AAA40-CLC90			
Estação seca	-7.3	6	0.3
Estação húmida	-9.2	2	7



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

4. CONCLUSÕES

Neste estudo foram utilizados dois softwares de modelação de recursos hídricos, o SWAT e o MIKE HYDRO Basin. O SWAT foi utilizado para modelar o impacto das alterações do uso e ocupação do solo nos caudais, e o MIKE HYDRO Basin na simulação da alocação de água, nomeadamente irrigação e consumo doméstico. A avaliação de desempenho do modelo hidrológico, conseguido através das medidas de qualidade do ajuste do modelo, classificou-o de satisfatório e muito bom para o período de 1960 a 1999. O estudo permitiu concluir que as alterações do uso e ocupação do solo não tiveram impacto significativo no caudal, bem como a baixa densidade demográfica registada na área da bacia. A maior utilização que se fez da água da bacia foi para irrigação com 27% do escoamento superficial. O aumento da área florestal em 26% e 28% até 2025 e 2045 respetivamente, indicou o aumento dos fluxos subterrâneo e intermédio e a diminuição do fluxo superficial.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pelo projeto INTERACT - "Integrated Research in Environment, Agro-Chain and Technology", NORTE-01-0145-FEDER-000017, na linha de pesquisa intitulada BEST, co-financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do NORTE 2020 (Programa Operacional Regional Norte 2014/2020). Para autores integrados no centro de pesquisa CITAB, financiado pelo FEDER/COMPETE/POCI-Operational Integrated Research in Environment, Agro-Chain and Technology", sob Projeto POCI-01-0145-FEDER-006958, e por fundos nacionais da FCT- Fundação Portuguesa para a Ciência e Tecnologia, sob o projeto UID/ AGR/ 04033/2013. Para o autor integrado no CQVR, o trabalho de investigação foi adicionalmente apoiado por fundos nacionais da FCT, sob o projeto UID/QUI/00616/2013.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
NOVOS
DESAFIOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D. and Smith M. (1998). FAO Irrigation and drainage paper No. 56. *Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations 56(97)*.

Arnold J.G., Moriasi D.N., Gassman P.W., Abbaspour K.C., White M.J., Srinivasa, R., Santhi C., Harmel R.D., Van Griensven A., Van Liew M.W., Kannan N., Jha M.K. (2012). SWAT: model use, calibration, and validation. *Trans. ASABE 55(4)*, 1491–1508.

Bangash R.F., Passuello A., Hammond M. Schuhmacher M. (2012). Water allocation assessment in low flow river under data scarce conditions: A study of hydrological simulation in Mediterranean basin. *Science of the Total Environment 440*, 60-71.

Machado C., Bento J. (2006a). Plano Regional de Ordenamento Florestal do Douro. Fase 2 – proposta de plano. Relatório Técnico, Direcção-Geral dos Recursos Florestais, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro e Nordeste Rural.

Machado C., Bento J. (2006b). Plano Regional de Ordenamento Florestal do Nordeste. Fase 2 – proposta de plano. Relatório Técnico, Direcção-Geral dos Recursos Florestais, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro e Nordeste Rural.

Makungo R., Odiyo J., Ndiritu J., Mwaka B. (2010). Rainfall–runoff modelling approach for ungauged catchments: a case study of Nzhelele River sub-quaternary catchment. *Phys Chem Earth Parts A/B/C 35*, 596–607.

Moriasi D., Arnold J., Van Liew M., Bingner R., Harmel R., Veith T. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans Asabe 50*, 885–900.

Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R. (2011). Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Blackland Research Center, Temple, Texas, USA.

Neupane R.P. Kumar S. (2015). Estimating the effects of potential climate and land use changes on hydrologic processes of a large agriculture dominated watershed. *Journal of Hydrology 529*, 418-429.

Rocha J., Roebeling P. Rial-Rivas M.E. (2015). Assessing the impacts of sustainable agricultural practices for water quality improvements in the Vouga catchment (Portugal) using the SWAT model. *Science of The Total Environment 536*, 48-58.

Santos R.M.B., Fernandes L.S., Cortes R.M.V., Varandas S.G.P., Jesus J.J.B. Pacheco F.A.L. (2017). Integrative assessment of river damming impacts on aquatic fauna in a Portuguese reservoir. *Science of the Total Environment 601*, 1108-1118.

Santos R.M.B., Fernandes L.S., Pereira M.G., Cortes R.M.V. Pacheco F.A.L. (2015). Water resources planning for a river basin with recurrent wildfires. *Science of the Total Environment 526*, 1-13.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

DGT - Direção-Geral do

Território.

<http://www.dgterritorio.pt/> (acedido a 13 de Novembro de 2007).

DHI - MIKE HYDRO Basin water quality model. Water and Environment. Danish Hydraulic Institute, Hørsholm. <https://www.dhigroup.com/> (acedido a 13 de Novembro de 2007).

EEA - European Environment Agency. <http://www.eea.europa.eu/> (acedido a 13 de Novembro de 2007).

INE - Base de dados online do site do Instituto Nacional de Estatística. <https://www.ine.pt/> (acedido a 23 de Novembro de 2007).

PORDATA - Base de dados Portugal contemporâneo. <https://www.pordata.pt/> (acedido a 23 de Novembro de 2007).

SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. <http://snirh.apambiente.pt/> (acedido a 13 de Novembro de 2007).