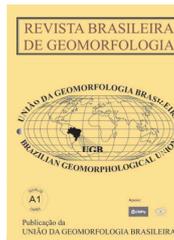


www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 21, nº 4 (2020)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i4.1601>



# ALTERAÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ZÊZERE (PORTUGAL): IMPLICAÇÕES HIDRODINÂMICAS

## LAND USE AND LAND COVER CHANGES IN ZÊZERE WATERSHED (PORTUGAL): HYDRODYNAMICS IMPLICATIONS

**Bruno M. Meneses**

*Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa  
Rua Branca Edmée Marques, Cidade Universitária, Lisboa. CEP: 1600-276. Portugal*

*ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3348-6732>*

*E-mail: [bmeneses@campus.ul.pt](mailto:bmeneses@campus.ul.pt)*

### Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):

21/04/2019

Aceito (Accepted):

26/12/2019

### Palavras-chave:

Água; Uso e Ocupação do Solo;  
Dinâmica hidrológica.

### Keywords:

Water; Land use and land cover;  
Hydrologic dynamics.

### Resumo:

Nesta investigação apresenta-se a avaliação da influência das alterações do uso e ocupação do solo na dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica do Rio Zêzere, localizada na região centro de Portugal. A metodologia adotada para a obtenção dos índices topográfico de encharcamento, potencia de escoamento e produção de sedimentos e a sua modificação em função da integração do uso e ocupação do solo é explicada. Apresentam-se os resultados obtidos destes índices, evidenciando-se as alterações espaciais em função das alterações de uso e ocupação do solo. Na análise integrou-se dados complementares (condutividade elétrica da água numa barragem) para calcular a variação da produção de sedimentos. Os resultados apresentados demonstram haver influência do uso e ocupação do solo na dinâmica fluvial da bacia hidrográfica do Rio Zêzere, nomeadamente na produção de sedimentos.

### Abstract:

This research presents the evaluation of the influence of the land use and land cover changes on hydrological dynamics of the Zêzere Watershed, located in the Centre of Portugal. The methodology adopted to obtain the wetness index, stream power index and sediment transport index, and your modification by the integration of the land use land cover data is explained. The results of these modified indexes, highlighting the spatial changes derived of land use and land cover changes. In analyzing of index results also was analyzed complementary data (electrical conductivity of water of a dam) to validate the variation of sediment production. The results demonstrate the influence of the land use and land cover changes on fluvial dynamics of the Zêzere watershed, in particularly, changes in sediments production.

## 1. INTRODUÇÃO

Em bacias hidrográficas consideradas estratégicas para Portugal Continental, devido a conterem albufeiras importantes para o abastecimento público de água à população, verificou-se um aumento da artificialização dos solos ao longo dos últimos anos, tanto pela construção urbana, como por expansão de infraestruturas que impermeabilizaram os solos, por exemplo a rede de estradas (DGT, 2014, 2013). Estas intervenções antrópicas têm implicações no território e na qualidade/quantidade de água que chega às albufeiras (Meneses *et al.*, 2015; Vale *et al.*, 2015), nomeadamente no potencial aumento do risco de inundação, devido à impermeabilização do solo do qual resulta um aumento da escorrência superficial, ou no conseqüente arrastamento de poluentes das áreas urbanas, acrescido de descargas ilegais de origem antrópica nos cursos de água (Angeler and Moreno, 2006; Pereira *et al.*, 2002; Telang, 1990).

Por outro lado, as práticas agrícolas desadequadas podem proporcionar grandes perdas de solo por erosão hídrica (Bakker *et al.*, 2005; Mohammad and Adam, 2010), como por exemplo a lavra em sentido perpendicular às curvas de nível (formação de sulcos que favorecem a circulação da água e a fácil mobilização de solo desagregado), disposição de culturas neste mesmo sentido (e.g. vinhas e pomares), ou a utilização de maquinaria agrícola que cause a desagregação do solo (Meneses, 2011). A aplicação intensiva de agroquímicos nas áreas agrícolas é uma prática cada vez mais procurada para a intensificação da produção agrícola, mas a aplicação destes químicos nestes solos (geralmente regados intensivamente) acarreta implicações ambientais negativas pelas águas drenadas dos mesmos para os cursos de água a jusante (ou lixiviação dos elementos ou compostos químicos aqui aplicados), causando a redução da qualidade da água (DRAEDM, 1999).

Nas bacias hidrográficas com ocupação de floresta, há ainda a problemática dos incêndios florestais ao proporcionarem o aumento da erosão dos solos (Konstantinos *et al.*, 2010; Meneses *et al.*, 2018; Moody and Martin, 2001; Pierson *et al.*, 2001). Estes eventos causam diversos problemas ambientais (poluição do ar, da água e degradação do solo), mas evidencia-se o facto de deixarem as vertentes sem vegetação, proporcionando o aumento da escorrência superficial e, conseqüentemente, o aumentando da erosão hídrica. Causam ainda impactes negativos nas águas a jusante

devido ao arrastamento, através da água de escorrência superficial, de poluentes (resultantes da queima do material florestal) depositados na superfície dos solos, que são facilmente mobilizados (Alexander *et al.*, 2004; Eriksson *et al.*, 2003; Ferreira *et al.*, 2010a, 2010b; Pio *et al.*, 2006).

Alguns estudos têm utilizado índices obtidos a partir de atributos topográficos para caracterizar a variação espacial de processos específicos que ocorrem numa paisagem, nomeadamente, o índice topográfico de encharcamento (Wetness Index - WI), o índice da potência do escoamento (Stream Power Index - SPI) e o índice de produção de sedimentos (Sediment Transport Index - STI) (Moore *et al.*, 1993). As potencialidades destes índices são elevadas, daí serem utilizados em diferentes contextos, como por exemplo a predição do tipo de solo (Moore *et al.*, 1993; Silveira *et al.*, 2013), avaliação da vulnerabilidade de erosão (Botero-Acosta *et al.*, 2017), predição da entrega de sedimentos por escoadas a partir de áreas ardidadas (Nyman *et al.*, 2015), entre outros. Face às implicações derivadas das alterações do uso e ocupação do solo ou práticas desadequadas do seu uso, nesta investigação pretende-se identificar as áreas que constituem um fator agravante na alteração hidrodinâmica da bacia hidrográfica do Rio Zêzere (área de estudo), nomeadamente a perda de sedimentos para os cursos de água, considerando as alterações do uso e ocupação do solo entre 1990 e 2012, bem como determinar as áreas com possíveis conseqüências destas alterações.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Avaliação da dinâmica do escoamento superficial

Esta análise foi diferenciada por várias etapas, desde a recolha de informação, modelação e análise dos resultados (Figura 1).

Para esta investigação construiu-se um modelo numérico de elevação (MNE), tendo como informação base as curvas de nível com equidistância de 10 m, onde se inseriu informação topográfica sobre as infraestruturas das barragens. Este MNE foi obtido através do software ArcGIS 10.5 TM, primeiro obteve-se o TIN (*Triangular irregular networks*), depois convertido em matricial, com resolução de 30 m, tendo-se subtraído a este MNE 2 m na altitude dos locais coincidentes com a rede hidrográfica, i.e., houve rebaixamento ao longo dos canais dos cursos de água existentes.

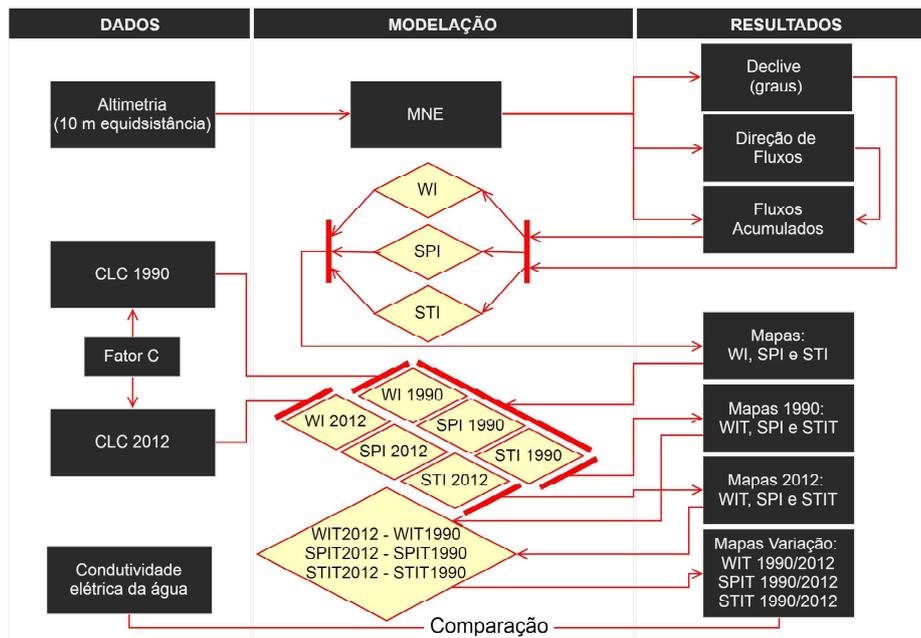


Figura 1 - Esquema metodológico para o cálculo da variação de WI, SPI e STI entre 1990 e 2012, com integração do uso e ocupação do solo (CLC).

A partir deste MNE obtiveram-se as seguintes variáveis: declive das vertentes (Dec), direção dos fluxos (DirF) e fluxos acumulados (FAc). A partir destas variáveis, obtiveram-se outros índices importantes na avaliação da dinâmica do escoamento e erosão hídrica em bacias hidrográficas, nomeadamente: o índice topográfico de encharcamento (Wetness Index - WI) (Eq. 1), que permite obter zonas de saturação ou várias fontes para a geração de escoamento (Beven e Kirkby, 1979), i.e., é um índice obtido pela área específica contribuição e a tangente do declive em graus (Moore *et al.*, 1993); o índice da potência do escoamento (Stream Power Index - SPI) (Eq. 2), um índice definido como o produto de uma área específica contribuição e a tangente do declive (Moore *et al.*, 1993), permite identificar locais adequados para a implementação de medidas de conservação do solo para reduzir o efeito do escoamento superficial concentrado; por último, o índice de produção de sedimentos (Sediment Transport Index - STI) (Eq. 3), um índice que explica o efeito da topografia na erosão hídrica, usando no cálculo a área bidimensional da bacia hidrográfica, em vez do fator unidimensional de comprimento do declive amplamente utilizado pela Equação Universal de Perda do Solo (EUPS), i.e., considera variáveis como a área específica de contribuição e o seno do declive (Moore *et al.*, 1993). Estes índices foram obtidos também com o ArcGIS 10.5, considerando as seguintes equações (Moore *et al.*, 1993):

$$WI = \ln \frac{A_c}{\tan \beta} \quad (1)$$

$$SPI = A_c \tan \beta \quad (2)$$

$$STI = \left( \frac{A_c}{22.13} \right)^m \left( \frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^n \quad (3)$$

correspondendo WI ao Wetness Index, SPI ao Stream Power Index, STI ao Sediment Transport Index,  $A_c$  a uma área específica de contribuição para um determinado ponto da bacia hidrográfica;  $\tan \beta$  tangente do declive,  $\sin \beta$  seno do declive, e  $m$  e  $n$  são as constantes 0.6 e 1.3, respetivamente.

Considerando a influência do uso e ocupação do solo, tanto no escoamento ou encharcamento, como no transporte de sedimentos, efetuou-se o cálculo de WI, STI e SPI, integrando esta componente. Para esta avaliação utilizou-se a informação da CLC anteriormente apresentada, o que permitiu obter as diferenças entre 1990 e 2012 nestes 3 índices, em função das alterações de uso e ocupação que ocorreram entre estes dois anos (Figura 1). A cada tipo de uso e ocupação atribuiu-se um valor de acordo com os valores do fator “cobertura do solo – C” apresentados por Pimenta (1998), admitindo-se neste

procedimento haver variação da quantidade de água que escoa superficialmente ao longo das vertentes ou se infiltra, consoante o tipo de uso e ocupação presente.

Por exemplo, o solo impermeabilizado ao condicionar a infiltração da água da chuva, o valor atribuído é reduzido, assim como em áreas de rocha nua. Já nos solos florestais o valor atribuído é superior, devido à capacidade de infiltração da água em solos com este tipo de ocupação ser superior, reduzindo assim o escoamento superficial e transporte de sedimentos, mas pode ainda assim haver perda ou arrastamento de sedimentos ao longo das vertentes.

A integração da informação de uso e ocupação do solo (fator C) com os índices WI, STI e SPI, efetuou-se pelo cálculo de índices transformados ( $I_T$ ), considerando as seguintes equações:

$$WI_T = \frac{\ln \frac{A_c}{\tan \beta} / L_{IC}}{\sqrt{\ln \frac{A_c}{\tan \beta} + L_{IC}}} \quad (4)$$

$$SPI_T = \frac{A_c \tan \beta L_{IC}}{\sqrt{A_c \tan \beta + L_{IC}}} \quad (5)$$

$$STI_T = \frac{\left(\frac{A_c}{22.13}\right)^m \left(\frac{\sin \beta}{0.0896}\right)^n L_{IC}}{\sqrt{\left(\frac{A_c}{22.13}\right)^m \left(\frac{\sin \beta}{0.0896}\right)^n + L_{IC}}} \quad (4)$$

correspondendo  $WI_T$  ao Wetness Index transformado,  $SPI_T$  ao Stream Power Index transformado,  $STI_T$  ao Sediment Transport Index transformado,  $A_c$  a uma área específica de contribuição para um determinado ponto da bacia hidrográfica;  $\tan \beta$  tangente do declive,  $\sin \beta$  seno do declive,  $m$  e  $n$  são as constantes 0.6 e 1.3, respetivamente, e  $L_{IC}$  é o índice de cobertura do solo num determinado momento, neste caso corresponde ao fator C apresentado na Tabela 1.

Para a validação dos resultados  $STI_T$  seria necessário o cruzamento com dados da quantidade de sedimentos que efetivamente chegam aos cursos de água. Porém, na área de estudo não existem estações sedimentológicas em funcionamento, através das quais seria possível obter estes dados para a validação em causa. Assim, recolheram-se dados complementares, nomeadamente a condutividade

elétrica (CE) da estação de monitorização da qualidade da água localizada na Albufeira de Castelo de Bode. A CE é o parâmetro mais utilizado para expressar a concentração de sais solúveis na água, correspondendo à medida da capacidade de um material em conduzir eletricidade (parâmetro oposto da resistividade elétrica), aumentando proporcionalmente à medida que a concentração de sais também aumenta (Holanda *et al.*, 2010). Na aplicação prática, esta medida indica o grau de mineralização da água e permite obter rapidamente as variações nas concentrações de minerais dissolvidos (Parron *et al.*, 2011), apresentando a água pura muito reduzida CE.

### 3. Descrição da área de estudo

#### 3.1 Características da bacia hidrográfica

O presente estudo desenvolveu-se na área compreendida pela bacia hidrográfica do Rio Zêzere, sendo a secção de referência a confluência com o Rio Tejo. Esta é uma das sub-bacias hidrográficas do Rio Tejo e compreende cerca de 5.063,9 km<sup>2</sup>, encontrando-se subdividida em catorze sub-bacias hidrográficas (Figura 2). A altitude mínima desta bacia hidrográfica são 20 m (setor jusante) e a altitude máxima 1990 m (setor montante, Serra da Estrela), o que se traduz numa variação de 1970 m.

De montante para jusante encontram-se as albufeiras de Meimoa, Santa Luzia, Cabril, Bouça e Castelo de Bode, realçando-se a importância desta última pelo abastecimento público de água potável para a população e atividades económicas das regiões de Lisboa e Oeste de Portugal.

Relativamente à forma da bacia hidrográfica, pelo cálculo do Índice de Gravelius ( $KC$ ) ou Coeficiente de Compacidade (Gravelius, 1914), verifica-se que a mesma apresenta uma forma irregular ( $KC=2,76$ ), facto que se pode observar na análise da Figura 2 (bacia alongada).

Quanto à densidade de drenagem ( $Dd$ ) desta bacia hidrográfica, pela aplicação do método de Horton (Horton, 1932) e considerando a rede hidrográfica disponível disponibilizada pela Agência Portuguesa do Ambiente (1:25 000), há indicação de uma bacia com boa eficiência de drenagem ( $Dd=0,95$ ). A partir destes resultados, calculou-se ainda o Coeficiente de Manutenção ( $Cm$ ) apresentado por Schumm (Schumm, 1956) para a bacia, verificando-se pelos resultados obtidos que a área mínima necessária ao desenvolvimento ou manutenção de um metro de canal de escoamento é elevada ( $Cm=1058,1 m^2/m$ ).

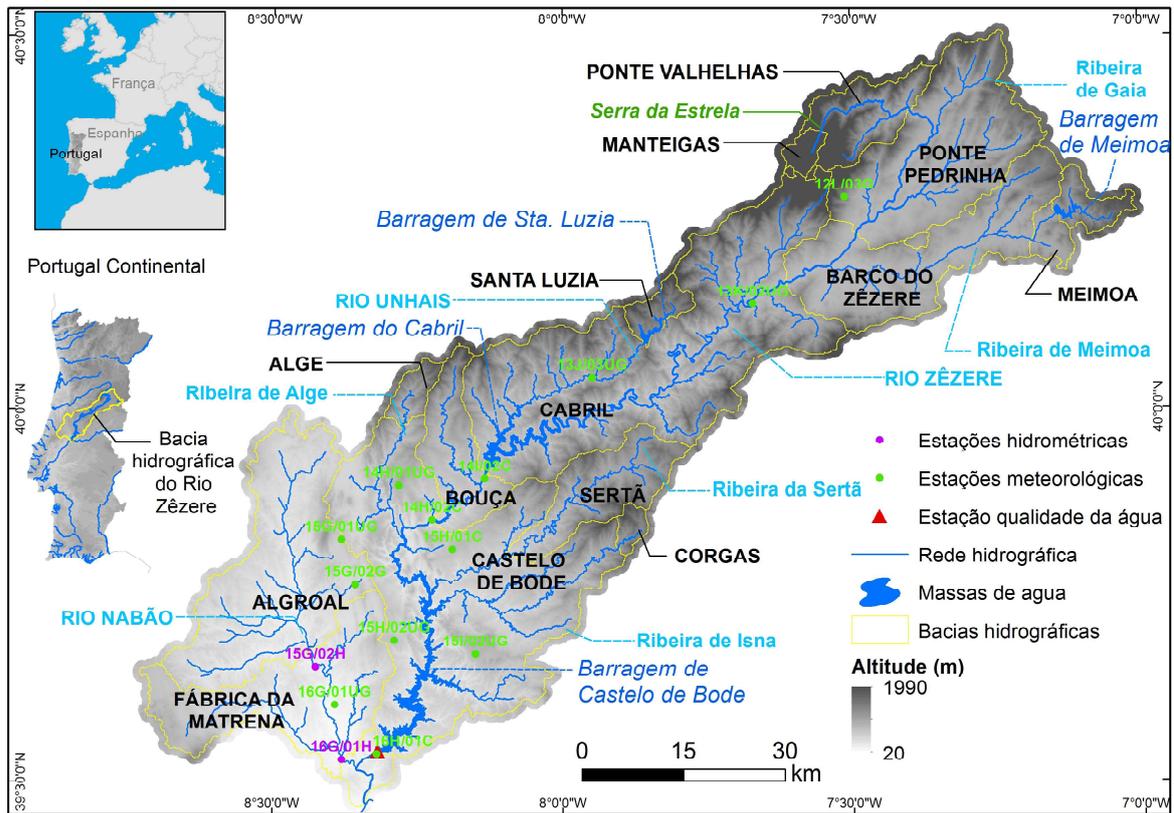


Figura 2 - Bacia hidrográfica do Rio Zêzere (área de estudo).

O declive das vertentes é mais elevado no setor intermedio da bacia, destacando-se as vertentes junto ao limite a norte e ainda as vertentes da Serra da Estrela. Já no setor jusante e ainda numa área do setor montante as vertentes apresentam fraco declive (Figura 3).

Pode-se observar também os mapas da direção de fluxos e fluxos acumulados (Figura 3), evidenciando-se

neste último a localização dos rios e algumas ribeiras da bacia hidrográfica em estudo pela maior acumulação de fluxos. Estas variáveis são derivadas do MNE construído com informação disponível nas cartas militares (1:25 000) digitalizada, sendo a resolução de todas as variáveis resultantes deste modelo de 30 m.

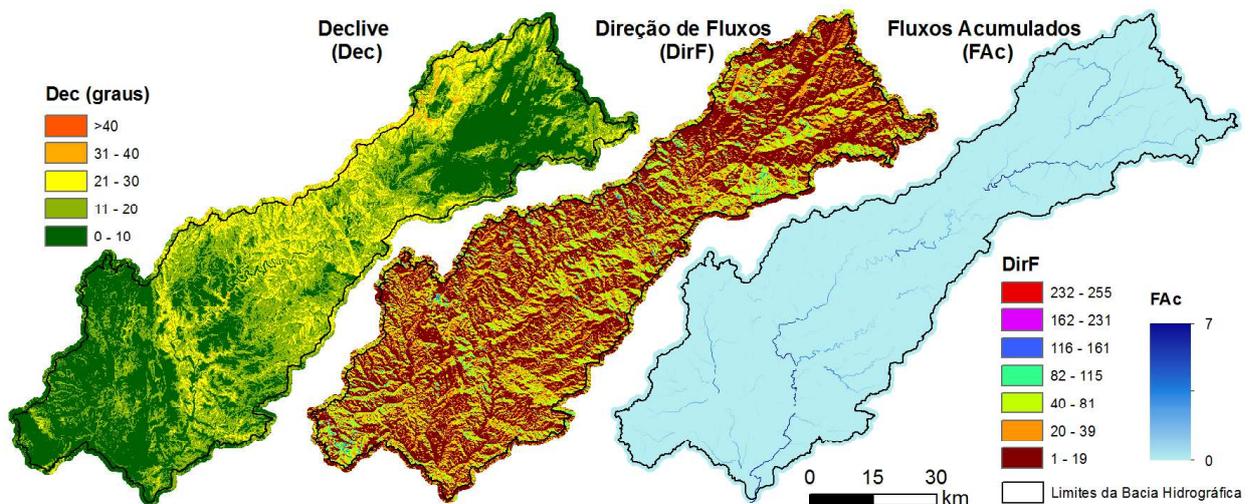
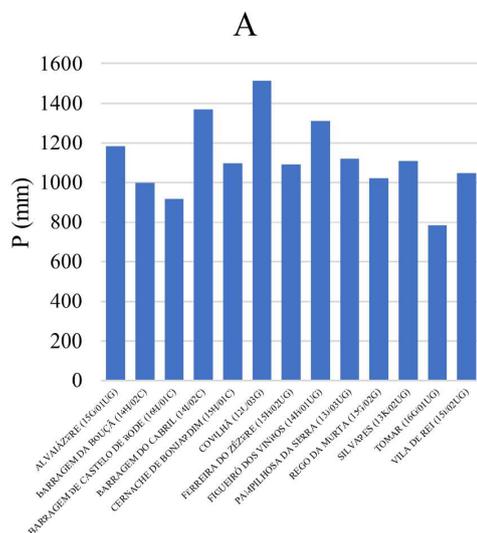


Figura 3 - Declive, direção de fluxos e fluxos acumulados da Bacia hidrográfica do Rio Zêzere.

### 3.2 Precipitação

A precipitação anual média registada nas estações meteorológicas da área de estudo varia aproximadamente entre 750 e 1500 mm (Figura 4A). Nesta área observou-se uma distribuição desigual da precipitação, sendo esta influenciada sobretudo pelo relevo, ou seja,



nas áreas mais elevadas ocorre mais precipitação e vice-versa nas mais deprimidas. No caso do setor montante, este beneficia do efeito de abrigo proporcionado pela Serra da Estrela, no entanto, a precipitação neste local é bastante elevada, comparativamente aos valores anuais registados a jusante da bacia em estudo.

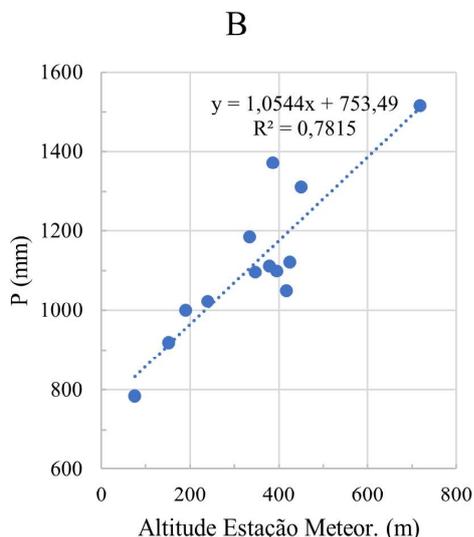


Figura 4 - Precipitação anual média (1948-2005): comparação entre estações meteorológicas (A); relação com a altitude (B).

### 3.3 Solos e litologia

Na área de estudo predominam os granitos (monzoníticos e granodioríticos porfíroides) no setor montante, onde se pode observar uma extensa mancha de aluviões (depósitos de cobertura) ao longo dos vales por onde circula o Rio Zêzere (Figura 5). Já no setor central da bacia encontram-se as formações de Perais e Almededa (turbiditos), inseridas no Complexo Xisto-Graváquico do Grupo das Beiras, encontrando-se estas formações separadas pela Formação de Rosmaninhal (turbiditos finos). No setor jusante, encontram-se diversos tipos de formações litológicas, entre xistos, arenitos, calcários, entre outros.

Quanto aos solos, numa caracterização mais generalizada da bacia, predominam os litossolos êutricos no setor central, ladeados por áreas compostas por cambissolos húmicos, mancha de solo que se estende até ao norte da bacia (Figura 5). Outros subtipos de cambissolos encontram-se em áreas de menor altitude, sendo as áreas mais deprimidas ocupadas por luviosolos.

### 3.4 Uso e ocupação do solo

Para a análise do uso e ocupação do solo na área de estudo considerou-se a informação geográfica da

CORINE Land Cover (CLC) de 1990 e 2012, disponibilizada pela Direção Geral do Território (DGT) e Agência Europeia de Ambiente (AEA) (Figura 6).

De acordo com as CLC 1990 e 2012, o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica em estudo foi maioritariamente florestal, com 41,3% da área total em 1990, mas até 2012 houve decréscimos desta ocupação, passando a predominar os matos e associações de vegetação herbácea com 40,5% da área total.

Na ocupação florestal sobressai as resinosas (Tabela 1), i.e., um tipo de vegetação sensível à propagação do fogo por ser altamente inflamável devido à disponibilidade de resina. Por outro lado, também se evidencia no período entre as duas CLC o aumento de espaços florestais degradados, em grande parte derivado a este tipo de eventos. Todo o setor central da bacia hidrográfica foi afetado por incêndios florestais no período entre 1985 e 2012, com destaque para o setor montante pela elevada reincidência destes eventos, havendo locais que arderam 9 vezes neste período (Figura 7), não permitindo a regeneração florestal, daí a expansão de áreas ocupadas por matos.

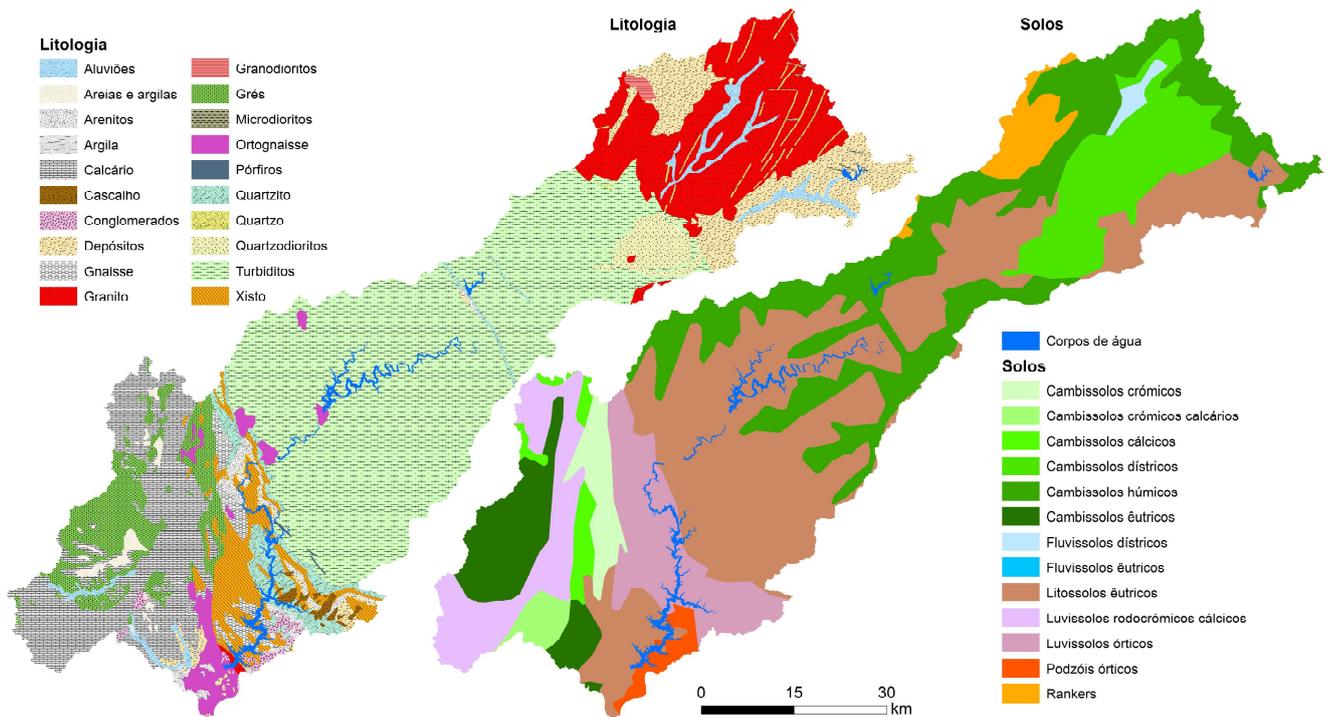


Figura 5 - Litologia e solos da bacia hidrográfica do Rio Zêzere (adaptados da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:500 000 e do Atlas Digital do Ambiente, à escala 1:1 000 000, respetivamente).

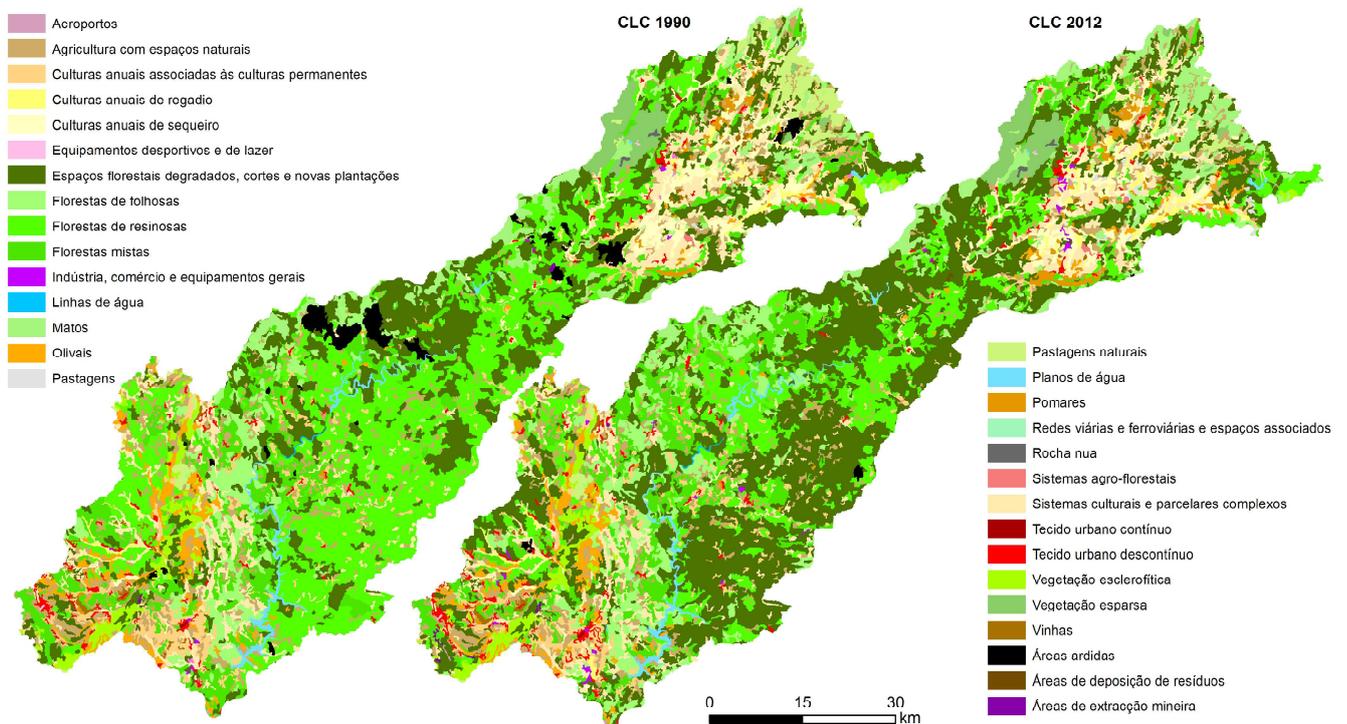


Figura 6 - Ocupação do solo na bacia hidrográfica do Rio Zêzere, segundo as CLC 1990 e 2012.

**Tabela 1: Área por tipo de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Rio Zêzere e respetivo valor de cobertura do solo (Fator C) apresentado por Pimenta (1998).**

Legenda simplificada	ID	Legenda CLC	Área (ha)			Fator C (Pimenta, 1998)
			CLC 1990	CLC 2012	$\Delta$ 1990/2012	
Urbano	111	Tecido urbano contínuo	107,2	105,4	-1,8	0,005
	112	Tecido urbano descontínuo	5197,0	6791,7	1594,7	0,010
	121	Indústria, comércio e equipamentos gerais	313,1	1181,8	868,8	0,010
	122	Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	0	47,4	47,4	0,010
	124	Aeroportos	70,9	130,1	59,2	0,010
	131	Áreas de extração mineira	146,2	332,0	185,8	0,500
	132	Áreas de deposição de resíduos	39,9	154,2	114,3	0,100
	133	Áreas em construção	176,4	0	-176,4	0,010
	142	Equipamentos desportivos e de lazer	65,6	65,6	0	0,010
	211	Culturas anuais de sequeiro	14533,5	12724,1	-1809,4	0,400
	212	Culturas anuais de regadio	2978,5	5020,7	2042,2	0,020
	221	Vinhas	2568,4	2673,9	105,5	0,200
	222	Pomares	2996,9	4573,3	1576,4	0,050
	Agrícola	223	Olivais	12139,3	13100,5	961,2
231		Pastagens	246,1	1115,4	869,3	0,020
241		Culturas anuais associadas às culturas permanentes	15940,8	13790,2	-2150,6	0,400
242		Sistemas culturais e parcelares complexos	40278,8	37302,8	-2976,0	0,200
243		Agricultura com espaços naturais	37051,2	35881,9	-1169,3	0,300
244		Sistemas agroflorestais	188,0	394,0	206,0	0,300
311		Florestas de folhosas	25570,2	36257,9	10687,8	0,100
Floresta	312	Florestas de resinosas	137525,7	70432,8	-67092,9	0,050
	313	Florestas mistas	45840,5	44569,9	-1270,6	0,050
	321	Pastagens naturais	10206,9	2323,7	-7883,2	0,050
Matos e associações de vegetação herbácea	322	Matos	15085,4	22014,1	6928,8	0,020
	323	Vegetação esclerófitica	9226,1	9008,1	-217,9	0,020
	324	Espaços florestais degradados, cortes e novas plantações	103517,3	171650,1	68132,8	0,100
Incultos	332	Rocha nua	237,3	237,3	0,0	0,010
	333	Vegetação esparsa	9118,4	8871,9	-246,6	0,500
	334	Áreas ardidas	10017,9	545,3	-9472,6	0,500
Corpos de Água	511	Linhas de água	204,6	204,6	0,0	0
	512	Planos de água	4797,8	4885,0	87,2	0

As áreas agrícolas representam cerca de 25% da área da bacia, com destaque para os sistemas culturais e parcelares complexos e ainda a agricultura com espaços naturais. Os solos ocupados por incultos reduziram no

período em referência de 3,8 para 1,9% na área total. O solo urbanizado representa menos de 2% da área da bacia e os corpos de água 1%.

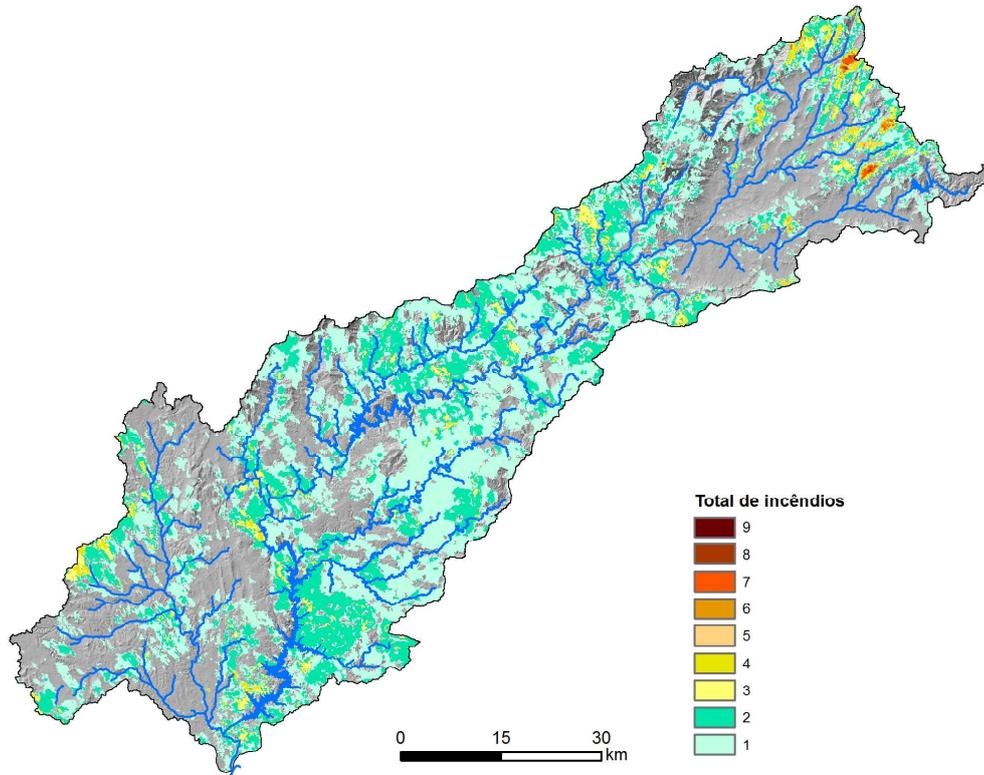


Figura 7 - Reincidência de fogos florestais na bacia hidrográfica do Rio Zêzere entre 1985 e 2012.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Alterações do uso e ocupação do solo

As florestas de resinosas reduziram 13.25% da área total em estudo entre 1990 e 2012, no entanto, os espaços florestais degradados, cortes e novas plantações, registaram um aumento elevado neste período, conforme se pode observar na Tabela 1. Espacialmente destaca-se todo o setor central da bacia hidrográfica com ocupação de resinosas (Figura 6) e também pelo aumento dos espaço florestais degradados, grande parte deste aumento explicado pela ocorrência de incêndios florestais (Meneses *et al.*, 2018), mas importa salientar que neste setor localizam-se as maiores e mais importantes albufeiras, nomeadamente Castelo de Bode e Cabril, pelo que se seria importante a presença de usos e ocupação do solo sustentáveis na manutenção da qualidade água. Analisando detalhadamente

as áreas ardidas registadas anualmente pelo Instituto da Conservação da Natureza e Florestas (ICNF) apresentadas na Figura 7, verifica-se que o setor central apresenta grandes extensões de área ardida e muitas delas intersectam os principais cursos de água da bacia, fator que pode proporcionar um aumento do teor de sedimentos e outros elementos físico-químicos na água dos mesmos (Crouch *et al.*, 2006; Meneses, 2013a; Meneses and Cortez, 2015; Swanson *et al.*, 2000). As áreas florestais ardidas neste setor explicando maioritariamente as áreas florestais degradadas apresentadas no mapa CLC 2012 (Figura 6). Contudo, as áreas ardidas nem sempre estão refletidas na cartografia de uso e ocupação do solo, como é o caso da CLC, facto explicado pelas orientações e diretivas que estão na base da elaboração desta cartografia e também devido à informação auxiliar que suportou estes trabalhos (EEA, 1995).

Através da análise das perdas e ganhos de área que ocorreram em simultâneo no período em referência (Figura 8), verificou-se que as florestas de resinosas foram as que sofreram maior redução de área, embora também tenham aumentado um pouco neste período. Os espaços florestais degradados, cortes e novas plantações aumentaram na bacia, embora também apresentem redução de alguma área no mesmo período, por um lado devido ao crescimento de matos, por outro, devido à evolução natural da floresta ou novas plantações florestais, como por exemplo o eucalipto. A regularização das vertentes naturais (construção de socos) para a plantação desta cultura florestal nem sempre minimiza a redução de perda de solo por erosão hídrica, pois na maioria dos casos não são construídas barreiras ou muros de contenção dos socos, registando-se assim perdas elevadas de solo nos eucaliptais, sobretudo no seu estado mais recente de plantação (Ferreira, 1997).

Quanto aos solos agrícolas, também se observou uma ligeira redução de área (cerca de -0,5% da área total), sendo esta mais acentuada nos sistemas culturais e parcelares complexos (Tabela 1). Os solos agrícolas

localizam-se essencialmente a jusante da bacia hidrográfica, muito perto dos cursos de água (Figura 6). Há ainda uma grande mancha com este tipo de uso e ocupação a montante da bacia, nos solos localizados entre o Rio Zêzere e a Ribeira de Meimoa. De destacar na ocupação agrícola a redução dos solos com culturas anuais de sequeiro e o aumento de solos com culturas de regadio, sendo este o resultado da transição de solos de sequeiro. Neste contexto realça-se a importância do acesso à água para estas práticas agrícolas, em quantidade e qualidade, sobrelevando a importância das barragens presentes.

Os solos artificializados também aumentaram nesta bacia hidrográfica, sobretudo os solos ocupados por tecido urbano descontínuo, sendo este o resultado da transição de solos anteriormente agrícolas, nomeadamente de solos com culturas anuais associadas às culturas permanentes e sistemas culturais parcelares e complexos (Tabela 2). Com aumento de área apresentam-se também os solos ocupados por indústria, comércio e equipamentos gerais, sendo este aumento o resultado da desafetação de solos agrícolas e ainda de espaços florestais degradados, cortes e novas plantações.

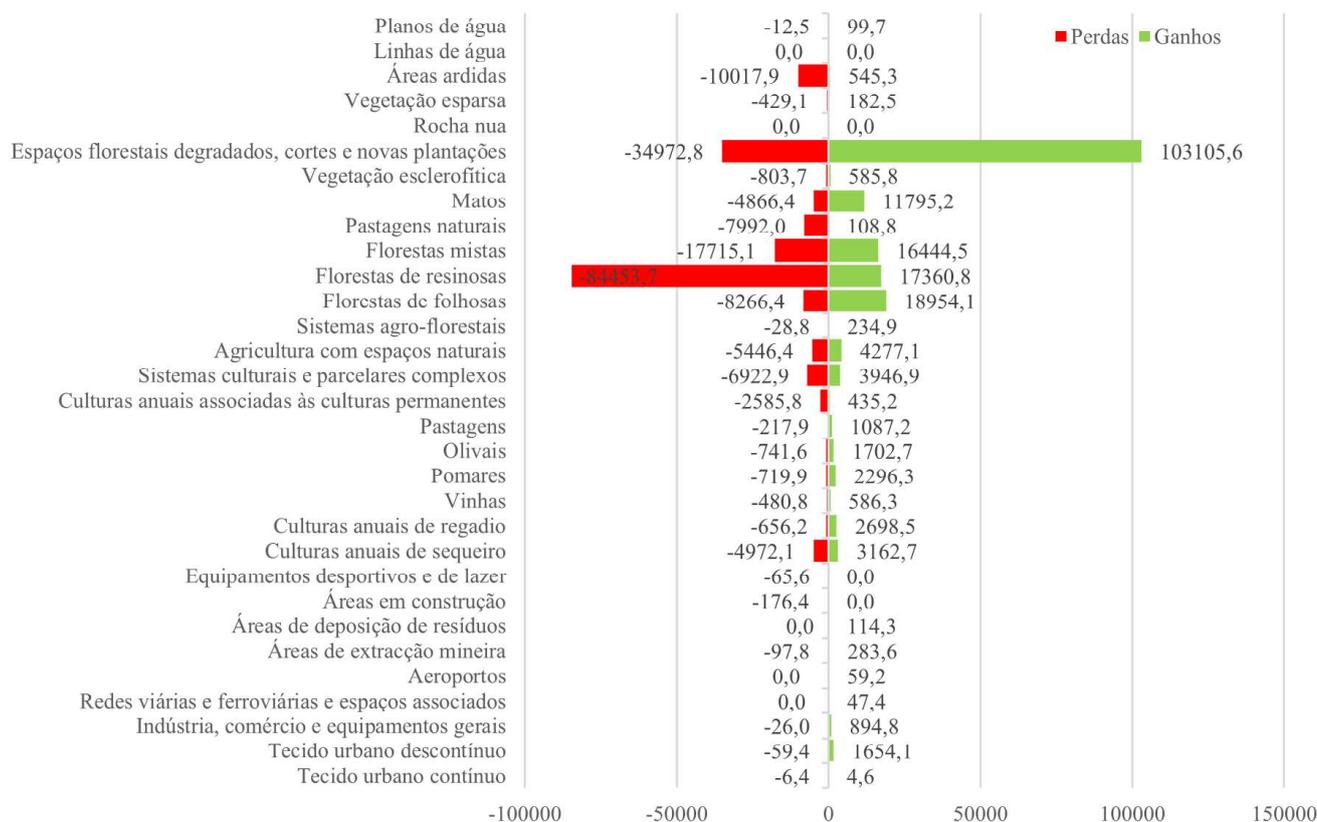


Figura 8 - Perdas e ganhos de área (ha) por classe CLC na bacia hidrográfica do Rio Zêzere entre 1990 e 2012.

Quanto aos solos com incultos, contrariamente ao que se observou em Portugal Continental (DGT, 2013; Meneses *et al.*, 2014), nesta bacia hidrográfica verificou-se redução de área com este tipo de ocupação (1,9% na área

total da bacia). Neste tipo de ocupação do solo, sobressai a transição de áreas ardidas marcadas na CLC 1990 para floresta (folhosas e mistas) e também para espaços florestais degradados, cortes e novas plantações na CLC 2012.

ID	1990													2012													Total Geral						
	111	112	121	122	124	131	132	133	142	211	212	221	222	223	231	241	242	243	244	311	312	313	321	322	323	324		332	333	334	511	512	
111	101	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107	
112	5	5138	8	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5197		
121	0	25	287	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	313		
122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
124	0	0	0	0	71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71		
131	0	0	0	0	0	48	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	146		
132	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40			
133	0	0	123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	176		
142	0	0	0	0	0	0	0	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66		
211	0	1	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1454		
212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2979		
221	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2568		
222	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2997		
223	0	214	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12139		
231	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	246	
241	0	578	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15941		
242	0	367	160	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40279		
243	0	176	41	6	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37051		
244	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	188		
311	0	25	52	34	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25570		
312	0	82	115	0	0	44	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	137526		
313	0	110	37	8	37	98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45841		
321	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10207		
322	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15085		
323	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9256		
324	0	53	161	0	22	15	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103517		
332	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	237		
333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9118	
334	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10018	
511	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	205	
512	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4798	
<b>Total Geral</b>	<b>105</b>	<b>6792</b>	<b>1182</b>	<b>47</b>	<b>130</b>	<b>332</b>	<b>154</b>	<b>0</b>	<b>66</b>	<b>12724</b>	<b>5021</b>	<b>2674</b>	<b>4573</b>	<b>13100</b>	<b>1115</b>	<b>13790</b>	<b>37303</b>	<b>35882</b>	<b>394</b>	<b>36258</b>	<b>70433</b>	<b>44570</b>	<b>2324</b>	<b>22014</b>	<b>9008</b>	<b>171650</b>	<b>237</b>	<b>8872</b>	<b>545</b>	<b>205</b>	<b>4885</b>	<b>506386</b>	
<b>RESUMO</b>																																	
<b>1990/2012</b>																																	
Ganhos	5	1654	895	47	59	284	114	0	0	3163	2698	586	2296	1703	1087	435	3947	4277	235	18954	17361	16444	109	11795	586	103106	0	183	545	0	100		
Perdas	-6	-59	-26	0	0	-98	0	-176	0	-4972	-656	-481	-720	-742	-218	-2386	-6923	-5446	-29	-8256	-84454	-17715	-7992	-4866	-804	-34973	0	-429	-10018	0	-12		
Δ Total	-2	1595	869	47	59	186	114	-176	0	-1809	2042	106	1576	961	869	-2151	-2976	-1169	206	10688	-67093	-1271	-7883	6929	-218	68133	0	-247	-9473	0	87		

Os solos com transição de matos para floresta, nomeadamente para resinosas, são o resultado da evolução natural do coberto vegetal sem grandes interferências antrópicas ou ocorrência de incêndios florestais. Porém, a grande transição de solos ocupados por mato ocorreu para a classe dos espaços florestais degradados, cortes e novas plantações.

Os corpos de água não apresentam grandes variações de área no período em análise, apenas um ligeiro aumento dos planos de água (aproximadamente 87 ha).

#### 4.2. Índice topográfico de encharcamento, potência de escoamento e produção de sedimentos transformados pela integração do uso e ocupação do solo

Numa análise preliminar aos índices topográfico de encharcamento (WI), potência do escoamento (SPI) e produção de sedimentos (STI), sem integração do uso e ocupação do solo verificou-se o seguinte: o cálculo de WI na área de estudo revelou que as áreas do setor jusante, coincidentes com áreas de menor altitude, menor declive e de litologia essencialmente sedimentar, apresentam valores elevados, mas este índice também é elevado no setor montante da bacia hidrográfica,

sobretudo nas áreas próximas à Ribeira de Meimoa e ainda do Rio Zêzere (nas imediações da localidade de Ponte Pedrinha); o índice SPI diferencia-se com valores mais elevados nos locais por onde circulam os principais cursos de água, nomeadamente os rios Zêzere e Nabão, diferenciando-se este último rio com SPI muito elevado desde montante até jusante, que nos indica a presença de um curso de água com elevada dinâmica fluvial; por último, o ao índice STI distingue-se com valores mais elevados nos setores jusante dos cursos de água, embora em alguns casos também se diferencie o setor intermédio, como por exemplo o Rio Zêzere a montante da albufeira de Cabril.

Analisando o caudal instantâneo máximo anual (Qimax) registado nas estações hidrométricas de Agroal e Fábrica da Matrena (localizadas a montante e jusante do Rio Nabão, respetivamente) verificou-se uma diferença entre a produção dos caudais mais elevados a montante, com os caudais mais reduzidos a jusante (diferença de aproximadamente 150 m<sup>3</sup>/s (Figura 9)). Estes caudais mais elevados têm um período de retorno de aproximadamente 25 anos. Pelos resultados de STI, verificou-se que há áreas com alguma produção de sedimentos na sub-bacia do Rio Nabão, podendo estes ser

arrastados para jusante até aos cursos de água principal quando se gere escorrência superficial (dependente de outras variáveis com influência na circulação de água superfície das vertentes), mas a produção de caudais elevados facilita-se o seu transporte ao longo do curso de água em causa.

Numa segunda abordagem, verificou-se que os resultados dos índices em análise, mas com integração do uso e ocupação do solo de 1990 e 2012 (índices  $WI_T$ ,  $SPI_T$  e  $STI_T$ ), variaram refletindo, em grande parte, as transições do uso e ocupação do solo entre 1990 e 2012, nomeadamente, o aumento em locais com perda ou degradação do coberto vegetal.

O  $WI_T$  é elevado em algumas áreas da sub-bacia do Rio Nabão (Figura 10), tanto em 1990, como em 2012, facto explicado pela geomorfologia do local (bastantes formas deprimidas e aplanadas), mas também em algumas áreas junto ao limite norte da bacia no setor intermédio. Já em 2012,  $WI_T$  aumentou no setor norte em função da transição que ocorreu em áreas que eram ocupadas por pastagens para vegetação esparsa. Estas últimas áreas referidas são as que se destacam com maior variação positiva de  $WI_T$ , assim como o norte da sub-bacia hidrográfica de Bouça, um dos locais com área ardida registada na CLC de 1990, que em 2012 já estava ocupada por vegetação esparsa e esclerofítica.

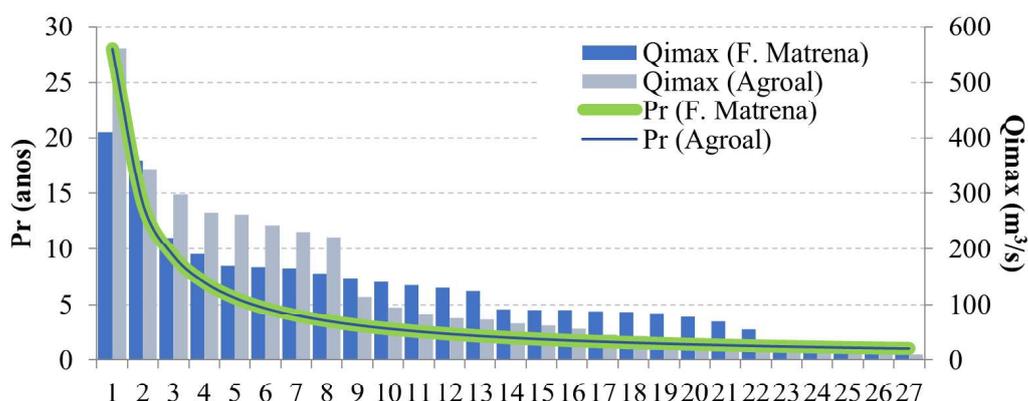


Figura 9 - Caudal instantâneo máximo anual ( $Q_{imax}$ ) medido nas estações hidrométricas de Agroal e Fábrika da Matrena, com representação do respetivo período de retorno em anos ( $Pr$ ).

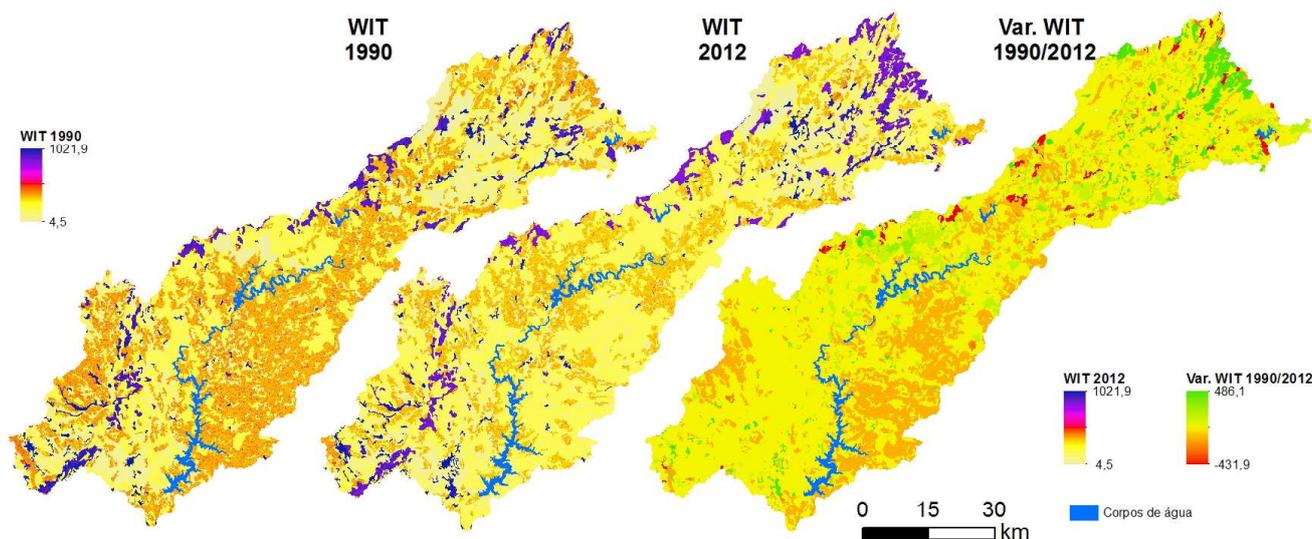


Figura 10 - Variação de  $WI$  transformado ( $WI_T$ ) na bacia hidrográfica do Rio Zézere entre 1990 e 2012.

O  $SPI_T$  apresenta grande variação na área de estudo em função do uso e ocupação do solo, i.e., nos solos onde se verificou haver degradação do coberto vegetal entre estes dois anos anteriormente referidos, como é o caso dos espaços florestais degradados, cortes, novas plantações e áreas ardidadas, o  $SPI_T$  aumentou, como se pode observar na variação apresentada no mapa da Figura 11. De destacar a maior produção de sedimentos no setor intermedio da bacia hidrográfica em estudo (áreas com o coberto vegetal degradado) e ainda no setor montante do Rio Nabão. Os solos onde se verificou haver aumento de floresta, ou onde este tipo de ocupação permaneceu inalterado no período anteriormente referido, apresentam um índice de produção de sedimentos muito reduzido, como por exemplo alguns dos solos florestais do setor intermédio (a norte do Rio Zêzere) ocupados por florestas de resinosas ou florestas mistas e, ainda, algumas áreas com estes tipos de ocupação no setor montante da bacia hidrográfica. Estes locais são importantes para a redução da perda de solo por erosão, sendo deste modo selecionados para a implementação de medidas de conservação do solo e, assim, contribuir para a redução do efeito do escoamento superficial concentrado. Neste contexto, também se evidenciam os locais que devem ser alvo de medidas reativas de remediação, por exemplo locais em que o coberto vegetal foi dizimado pelo Homem ou com área ardidada, sendo necessário a sua reforestação (Kim *et al.*, 2017) only few model frameworks exist that

consider policy options as drivers of future LUCC and ES simultaneously. We present a modeling procedure that predicts policy-induced LUCC and ES through a combination of cellular automata (CA).

O tipo de solo também é importante na quantidade que se perde por erosão, bem como na variação do processo do transporte de sedimentos, realçando-se assim a importância das suas propriedades físicas e químicas. Embora o cálculo de  $SPI$  não considere as propriedades do solo, este índice permite identificar possíveis fontes de erosão através da escorrência concentrada (Mhired *et al.*, 2018). Neste caso, através da integração do uso e ocupação do solo com  $SPI$  permitiu identificar as linhas de água com maior  $SPI_T$ , realçando-se assim nestes resultados um importante contributo também para a identificação de locais com maior fluxo potencial de erosão, em função da área de contribuição, do gradiente de declive e uso e ocupação do solo, fatores proporcionam a variação do fluxo de água e sua velocidade nestes canais (Wang *et al.*, 2015) it can be controlled through appropriate measures to minimize losses and damage. Flood hazard risk assessment, a holistic approach that involves numerous evaluation indices in river catchments, is an increasingly effective and sustainable practice, but the complicated, non-linear relationship between evaluation indices and risk levels pose a significant challenge to accurate assessment. An intelligent learning machine called random forest (RF).

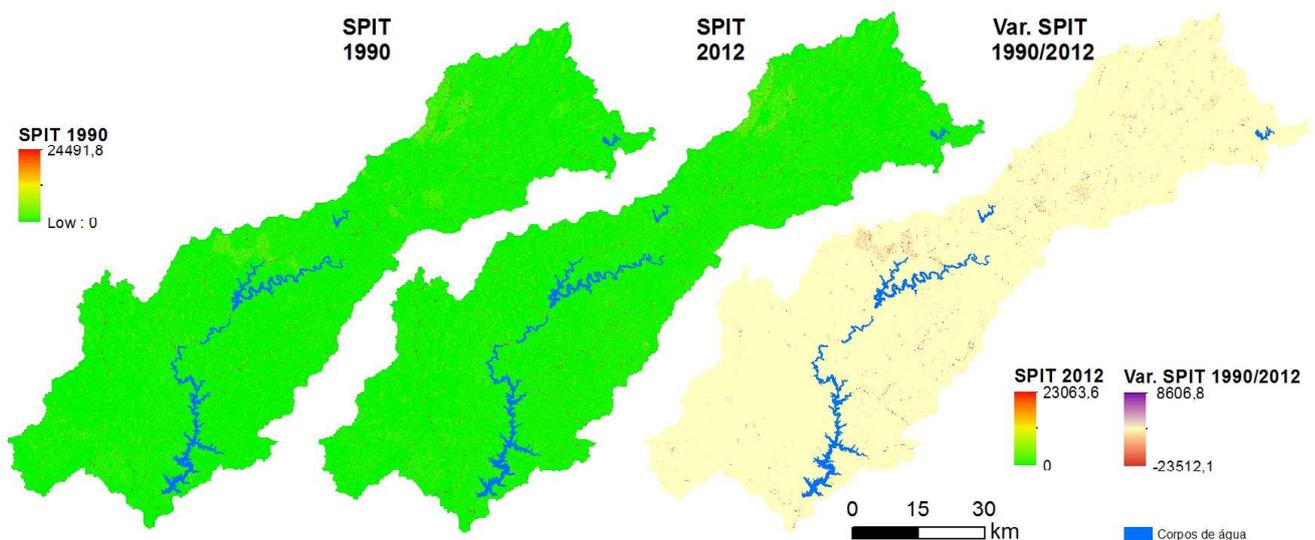


Figura 11 - Variação de SPI transformado ( $SPI_T$ ) na bacia hidrográfica do Rio Zêzere entre 1990 e 2012.

O  $STI_t$  obtido para a bacia hidrográfica do Zêzere é também elevado nas áreas onde o coberto vegetal foi fortemente degradado (Figura 12). O aumento potencial de escoamento nestes locais implica o aumento da produção de sedimentos, sendo estes facilmente mobilizados destas áreas para jusante, ou seja, para os cursos de água. Esta mobilização deve-se à facilidade com que a água das chuvas escorre superficialmente nas vertentes sem obstáculos que favoreça a sua infiltração

(proporciona-se o aumento da quantidade de água em circulação à superfície e também o aumento da sua velocidade de escorrência). Por outro lado, a exposição direta dos solos à precipitação, fator que permite a desagregação do solo pelo impacto direto das gotas de chuva no mesmo (processo de splash), também contribui para o aumento da quantidade de solo perdido por erosão hídrica (Meneses, 2013b; Prosser and Williams, 1998; Shakesby, 2011).

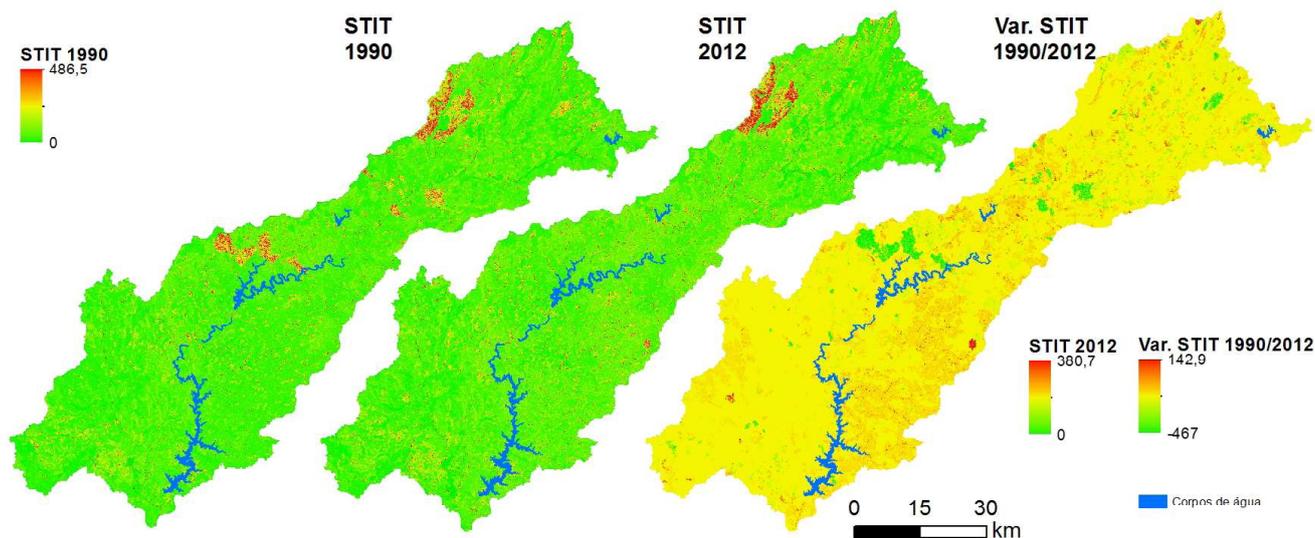


Figura 12 - Variação de STI transformado ( $STI_t$ ) na bacia hidrográfica do Rio Zêzere entre 1990 e 2012.

Os locais de deposição dos sedimentos transportados ao longo das vertentes para os cursos de água são as albufeiras das barragens que se encontram ao longo dos cursos de água principais, locais onde se proporciona o processo de decantação devido à estagnação da água. Este pode ser considerado um dos problemas ambientais na bacia hidrográfica em estudo, em grande parte derivado sobretudo dos incêndios florestais, por destruírem por completo o coberto vegetal em grandes extensões e favorecerem a perda de solo por erosão hídrica, ou mesmo o arrastamento de minerais dissolvidos na água na água do escoamento superficial (Meneses and Cortez, 2015). Outra evidência da interferência das alterações de uso e ocupação do solo na qualidade da água é o aumento tendencial de concentração de minerais dissolvidos na água de Castelo de Bode (Figura 13), estando este aumento dependente da quantidade de precipitação que cai sobre as vertentes (período chuvoso entre setembro e fevereiro), fator que pode explicar também o maior ou menor arrastamento de sedimentos das vertentes e sua

concentração nos corpos de água (Lu *et al.*, 2017; Meneses *et al.*, 2015). A área ardida resultante dos incêndios florestais que ocorrem na bacia hidrográfica entre 1990 e 2012 também se reflete no aumento da concentração de minerais dissolvidos na água desta barragem. Em anos com muita área ardida (1991, 2000, 2003 e 2005) verificou-se que a CE é superior aos anos transatos com menor área ardida (Figura 13). Tendo por base uma análise mais detalhada da informação recolhida, é evidente que esta variação é diferenciada ao longo da rede hidrográfica da bacia hidrográfica em análise, tendo como principais fatores a quantidade de água disponível nas próprias albufeiras das barragens e a sua localização na própria bacia hidrográfica, mas ao mesmo tempo, a quantidade de área ardida a montante das barragens onde ocorreu escoamento superficial e que contribuiu para o acentuar de minerais dissolvidos na água das suas albufeiras, resultados que estão de acordo com as observações realizadas por Meneses (2013a), numa bacia hidrográfica localizada na região oeste de Portugal continental.

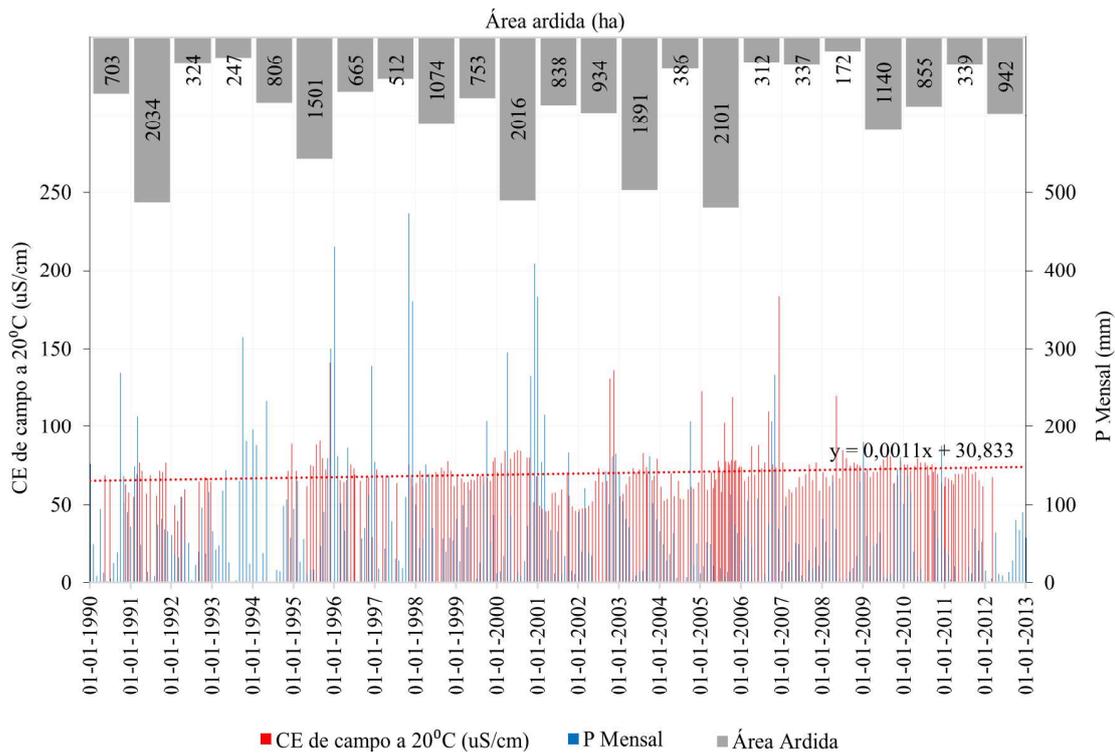


Figura 13 - Condutividade elétrica (CE) registada na estação de monitorização da qualidade da água localizada na Albufeira de Castelo de Bode (S) (16H/03); precipitação mensal registada na estação meteorológica de Rego da Murta (15G/02G) e área ardida anual entre 1990 e 2012.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados demonstram a influência do uso e ocupação do solo na dinâmica fluvial da bacia hidrográfica do Rio Zêzere. A alteração do uso e ocupação do solo em determinadas áreas desta bacia e ainda os incêndios florestais que aqui ocorreram no período entre 1990 e 2012, culminaram na desproteção dos solos aos agentes erosivos, neste caso à precipitação. Este fator proporcionou o aumento de escoamento e, consequentemente, o aumento da produção de sedimentos, alguns deles mobilizados para as principais albufeiras, como se observou através do aumento da CE na barragem de Castelo de Bode.

As áreas do setor intermédio da bacia destacam-se com os valores mais elevados nos três índices avaliados ( $WI_T$ ,  $SPI_T$  e  $STI_T$ ), sendo este setor também o que apresenta maior alteração do uso e ocupação do solo, nomeadamente a perda florestal, evidenciando-se estas alterações para a contribuição do aumento de escoamento e produção de sedimentos observado.

Os resultados obtidos nesta investigação também destacam os locais que devem ser alvo de medidas de proteção dos solos, assim como os locais onde devem

ser implementadas medidas corretivas face às alterações do uso e ocupação do solo que proporcionaram aumento da perda de solo.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado através de uma bolsa de doutoramento (BD2015), atribuída pela Universidade de Lisboa e Instituto de Geografia e Ordenamento do Território.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, S. J.; GRACE, M.; MCKELVIE, I. (2004). **Effect of bushfires on receiving waters, eastern Victoria**. First Interim Report to the Department of Sustainability and Environment. Monash University, Australia.
- ANGELER, D.; MORENO, J. (2006). Impact-recovery patterns of water quality in temporary wetlands after fire retardant pollution. **Forest Ecology and Management**, n. 234, S160. Doi:10.1016/j.foreco.2006.08.211
- BAKKER, M. M.; GOVERS, G.; KOSMAS, C.; VANACKER, V.; OOST, K. V.; ROUNSEVELL, M. Soil erosion as a driver of

- land-use change. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n. 105, p. 467–481, 2005. Doi:10.1016/j.agee.2004.07.009
- BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based variable contributing model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin**, n. 24, p. 43–69, 1979.
- BOTERO-ACOSTA, A.; CHU, M. L.; GUZMAN, J. A.; STARKS, P. J.; MORIASI, D. N. Riparian erosion vulnerability model based on environmental features. **Journal of Environmental Management**, n. 203, p. 592–602, 2017. Doi:10.1016/j.jenvman.2017.02.045
- CROUCH, R. L.; TIMMENG, H. J.; BARBER, T. R.; FUCHSMAN, P. C. Post-fire surface water quality: comparison of fire retardant versus wildfire-related effects. **Chemosphere**, n. 62, p. 874–89, 2006. Doi:10.1016/j.chemosphere.2005.05.031
- DGT (2013). **LANDYDYN - Alterações de uso e ocupação do solo em Portugal Continental: caracterização, forças motrizes e cenários futuros. Relatório NUT II**. Lisboa.
- DGT (2014). **LANDYDYN - Alterações de uso e ocupação do solo em Portugal Continental: caracterização, forças motrizes e cenários futuros, Relatório NUT II**. Direção-Geral do Território. Lisboa.
- DRAEDM (1999). **Código de boas práticas agrícolas para a protecção da água**. Direção Regional de Agricultura de Entre-Douro e Minho, Braga.
- EEA (1995). **CORINE land cover**, EEA Technical report. European Environment Agency, Copenhagen.
- ERIKSSON, H.; EDBERG, F.; BORG, H. Effects of forest fire and fire-fighting operations on water chemistry in Tyresta National Park, Stockholm, Sweden. **Journal de Physique** **IV**, n. 107, p. 427–430, 2003.
- FERREIRA, A. D.; ALEGRE, A. P.; CARVALHO, T.; SILVA, J. S.; PINHEIRO, A. Q.; COELHO, C. (2010a). Estratégias e técnicas de conservação do solo e da água após os incêndios, in: Moreira, F., Catry, F.X., Silva, J.S., Rego, F. (Eds.), **Ecologia Do Fogo e Gestão de Áreas Ardidas**. ISAPress, Lisboa, p. 229–252.
- FERREIRA, A. D.; COELHO, C.; SILVA, J. S.; ESTEVES, T. (2010b). Efeitos do fogo no solo e no regime hidrológico, in: Moreira, F., Catry, F.X., Silva, J.S., Rego, F. (Eds.), **Ecologia Do Fogo e Gestão de Áreas Ardidas**. ISAPress, Lisboa, p. 21–48.
- FERREIRA, C. G. O Eucalipto e a Cindínica Ecológica: “Culpado” ou “Inocente”? **Territorium**, p. 133–142, 1997.
- GRAVELIUS, H. **Grundrifi der gesamten Gewissserkunde**. Band I: Flufikunde (Compendium of Hydrology, Vol. I. Rivers, in German), Goschen, Berlin, 1914.
- HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R.; NETO, M. F.; HOLANDA, A. C. (2010). Qualidade da água para irrigação, in: INCTSal, **Manejo Da Salinidade Na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza, p. 43–61.
- HORTON, R. E. Drainage-basin characteristics. **Transactions, American Geophysical Union**, n. 13, p. 350–361, 1932.
- KIM, I.; ARNHOLD, S.; AHN, S.; LE, Q. B.; KIM, S. J.; PARK, S. J.; KOELLNER, T. Land use change and ecosystem services in mountainous watersheds: Predicting the consequences of environmental policies with cellular automata and hydrological modeling. **Environmental Modelling and Software**, in press, p. 1–17, 2017. Doi:10.1016/j.envsoft.2017.06.018
- KONSTANTINOS, S.; JOHN, V.; NICHOLAS, D. (2010). Modelling forest fires hydrological impact using spatio-temporal geographical data, in: DAVID A. SWAYNE, YANG, W., VOINOV, A. A., RIZZOLI, A., FILATOVA, T. (Eds.), **2010 International Congress on Environmental Modelling and Software**. Canada.
- LU, H.; CAO, L.; LIANG, Y.; YUAN, J.; ZHU, Y.; WANG, Y.; GU, Y.; ZHAO, Q. **Mineral-leaching chemical transport with runoff and sediment from severely eroded rare-earth tailings in southern China**, China, p. 845–855, 2017.
- MENESES, B. M. (2013a). **Influência de um fogo florestal na qualidade da água da Ribeira de São Domingos localizada na Região Oeste de Portugal**. University of Lisbon.
- MENESES, B. M. (2013b). The Impact of Forest Fires on Soil Loss from Water Erosion in Serra de Santa Helena [in portuguese]. **Revista Geográfica de América Central**, n. 51, p. 215–232.
- MENESES, B. M. (2011). **Erosão do solo pela água: caso de estudo do concelho de Tarouca**. Tese de mestrado. Faculdade de Ciências Sociais E Humanas da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- MENESES, B. M.; CORTEZ, N. Effect of a forest fire on physicochemical properties of the water of São Domingos Stream (Western Region of Portugal). **Journal of Waters Resources**, n. 36, p. 1–10, 2015.
- MENESES, B. M.; REIS, E.; REIS, R. Assessment of the recurrence interval of wildfires in mainland Portugal and the identification of affected LUC patterns. **Journal of Maps**, n. 14, p. 282–292, 2018. doi:10.1080/17445647.2018.1454351
- MENESES, B. M.; REIS, R.; VALE, M. J.; SARAIVA, R. Land use and land cover changes in Zêzere watershed (Portugal) — Water quality implications. **Science of the Total Environment**, n. 527–528, p. 439–447, 2015. Doi:10.1016/j.scitotenv.2015.04.092

- MENESES, B. M.; VALE, M. J.; REIS, R. (2014). **Uso e ocupação do solo**, in: **Direção Geral do Território (Ed.), Uso e Ocupação do Solo em Portugal Continental: Avaliação e Cenários Futuros. Projeto LANDYN**. Direção-Geral do Território, Lisboa, Portugal, p. 16–52.
- MHIRET, D. A.; DAGNEW, D. C.; ASSEFA, T. T.; TILAHUN, S. A.; ZAITCHIK, B. F.; STEENHUIS, T. S. Erosion hotspot identification in the sub-humid Ethiopian highlands. **Ecohydrology & Hydrobiology**, in press, p. 1–9., 2018. Doi:10.1016/j.ecohyd.2018.08.004
- MOHAMMAD, A. G.; ADAM, M. A. The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses. **Catena**, n. 81, p. 97–103, 2010. Doi:10.1016/j.catena.2010.01.008
- MOODY, J. A.; MARTIN, D. A. Post-fire, rainfall intensity-peak discharge relations for three mountainous watersheds in the western USA. **Hydrological Processes**, n. 15, p. 2981–2993, 2001. doi:10.1002/hyp.386
- MOORE, I. D.; GESSLER, P. E.; NIELSEN, G. A.; PETERSON, G. A. Soil Attribute Prediction Using Terrain Analysis. **Soil Science Society of America Journal**, n. 57, 1993. doi:10.2136/sssaj1993.572NPb
- NYMAN, P.; SMITH, H.G., SHERWIN, C.B.; LANGHANS, C.; LANE, P. J.; SHERIDAN, G.J. (2015). Predicting sediment delivery from debris flows after wildfire. **Geomorphology**, n. 250, p. 173–186. Doi:10.1016/j.geomorph.2015.08.023
- PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo, Embrapa Florestas, 2011.
- PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. **Coping with Water Scarcity**. 58th ed. International Hydrological Programme, Technical Documents in Hydrology, 58, UNESCO, Paris, 2002.
- PIERSON, F. B.; ROBICHAUD, P. R.; SPAETH, K. E. Spatial and temporal effects of wildfire on the hydrology of a steep rangeland watershed. **Hydrological Processes**, n. 15, p. 2905–2916, 2001. doi:10.1002/hyp.381
- PIMENTA, M. T. **Directrizes para a Aplicação da Equação Universal de Perda dos Solos em SIG - Factor de Cultura C e Factor de Erodibilidade do Solo K**. Ina. Lisboa, Portugal, 1998.
- PIO, C. A.; SILVA, T. P.; PEREIRA, J. M. (2006). Emissões e impactes na atmosfera, in: PEREIRA, J. S., PEREIRA, J. M., REGO, F. C., SILVA, J. M., SILVA, T. P. (Eds.), **Incêndios Florestais Em Portugal**. ISAPress, p. 165–198.
- PROSSER, I. P.; WILLIAMS, L. The effect of wildfire on runoff and erosion in native Eucalyptus forest. **Hydrological Processes**, n. 12, p. 251–265, 1998.
- SCHUMM, S. A. Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, n. 67, p. 597–646, 1956. Doi:http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:eodsas]2.0.co;2
- SHAKESBY, R. A. Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions. **Earth-Science Reviews**, n. 105, p. 71–100, 2011. Doi:10.1016/j.earscirev.2011.01.001
- SILVEIRA, C. T.; OKA-FIORI, C.; SANTOS, L.; SIRTOLI, A. E.; SILVA, C. R.; BOTELHO, M. F. Soil prediction using artificial neural networks and topographic attributes. **Geoderma**, n. 195–196, p. 165–172, 2013. Doi:10.1016/j.geoderma.2012.11.016
- SWANSON, F. J.; SCATENA, F. N.; DISSMEYER, G. E.; FENN, M. E.; VERRY, E. S.; LYNCH, J. A. (2000). Watershed Process – Fluxes of water, dissolve constituents, and sediment, in: DISSMEYER, G. E. (Ed.), **Drinking Water from Forests and Grasslands. A Synthesis of the Scientific Literature**. USDA Forest Service. Southern Research Station, Asheville, North Carolina, p. 26–41.
- TELANG, S.A. Effects of reservoir-dam, urban, industrial, and sewage treatment run-off on the presence of oxygen and organic compounds in the Bow River. **Water, Air and Soil Pollution**, n. 50, p. 77–90, 1990.
- VALE, M. J.; MENESES, B. M.; REIS, R.; SARAIVA, R. A.; VILLEGAS, J.; CRUZ, M. (2015). Water Quality Impact Assessment of Land Use and Land Cover Changes. A dynamic IT model for territorial integrated management, in: **GEOProcessing 2015: The Seventh International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services**. IARA, Lisbon, p. 38–42.
- WANG, Z.; LAI, C.; CHEN, X.; YANG, B.; ZHAO, S.; BAI, X. Flood hazard risk assessment model based on random forest. **Journal of Hydrology**, n. 527, p. 1130–1141, 2015. Doi:10.1016/j.jhydrol.2015.06.008