

## ESTUDO INTENSIVO SOBRE A SECA METEOROLÓGICA NA ESLOVÁQUIA

### Uma metodologia

Maria Manuela PORTELA<sup>1</sup>; Martina ZELENÁKOVÁ<sup>2</sup>; Artur Tiago SILVA<sup>3</sup>, João Filipe SANTOS<sup>4</sup>; Helena HLAVATÁ<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Professora, Instituto Superior Técnico, CERIS, Lisboa, Portugal, maria.manuela.portela@tecnico.ulisboa.pt

<sup>2</sup> Professora, Universidade Técnica de Košice, Eslováquia

<sup>3</sup> PhD, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, artur.tiago.silva@gmail.com

<sup>4</sup> Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Beja, Beja, Portugal

<sup>5</sup> PhD, Instituto Hidrometeorológico da Eslováquia, Košice, Eslováquia

### Resumo

Apresenta-se brevemente uma metodologia abrangente destinada à caracterização da seca meteorológica, desenvolvida no âmbito de um projeto de investigação de cooperação transnacional entre Portugal e a Eslováquia. Tal projeto beneficiou da experiência antecedente da equipa portuguesa sobre o tema, com o duplo objetivo de sistematizar as etapas a adotar na caracterização em vista e de alargar o respetivo âmbito a um contexto hidrológico distinto do ocorrente em Portugal Continental. Para o efeito recorreu-se ao índice padronizado de precipitação, SPI (na nomenclatura inglesa, *Standardized Precipitation Index*), aplicado às precipitações mensais, entre janeiro de 1981 e dezembro de 2013, em 491 estações climatológicas, cobrindo muito uniformemente a Eslováquia.

As etapas fundamentais do estudo compreenderam: (i) a regionalização do País no que respeita à seca meteorológica, baseada numa análise de componentes principais; (ii) para cada região identificada como homogénea, a caracterização da evolução temporal da área em seca e da frequência da ocorrência de secas, neste último caso, baseada num estimador *Kernel* combinado com a formulação de bandas de confiança, através de uma técnica de reamostragem aleatória de *bootstrap*; (iii) e o estabelecimento de superfícies limiares de precipitação tendo em vista a deteção precoce e, mesmo, alguma antecipação das ocorrências de seca.

Importa realçar que a apresentação do trabalho não visa a discussão de resultados, tanto mais que está em causa um contexto climático distinto do de Portugal, mas antes colocar à discussão um procedimento integrado e teoricamente sustentado de análise de secas meteorológicas suscetível de ser aplicado a qualquer outro caso de estudo.

**Palavras-chave:** Seca meteorológica, índice padronizado de precipitação, Eslováquia.

**Tema:** Hidrologia, hidráulica fluvial e obras hidráulicas.

## 1. INTRODUÇÃO. CASO DE ESTUDO

Compreender as secas, não só no que respeita às suas características e consequências, mas também à capacidade de modelar e prever as suas ocorrências são aspetos determinantes do sucesso de uma política de gestão dos recursos hídricos, designadamente em países com acentuada irregularidade hidrológica e, logo, mais suscetíveis àqueles fenómenos hidrológicos extremos. Tais tarefas são ainda mais importantes quando os cenários de mudança climática apontam no sentido da diminuição das disponibilidades hídricas de superfície, por diminuição da precipitação e aumento da temperatura.

Apesar da sua natureza recorrente e da sua relevância, as secas são porventura os acontecimentos hidrológicos extremos mais complexos e menos compreendidos. Podem ser percecionadas como ocorrências regionais prolongadas de disponibilidade hídrica natural, na forma de precipitação e de escoamento fluvial ou subterrâneo, inferior à respetiva média (Tallaksen & Van Lanen, 2004). Contrariamente a outros desastres naturais, as secas iniciam-se impercetivelmente, desenvolvem-se progressivamente e produzem impactos acumulados de tal modo que, quando os seus estragos se tornam perceptíveis, já é, por regra, demasiado tarde para mitigar os seus efeitos.

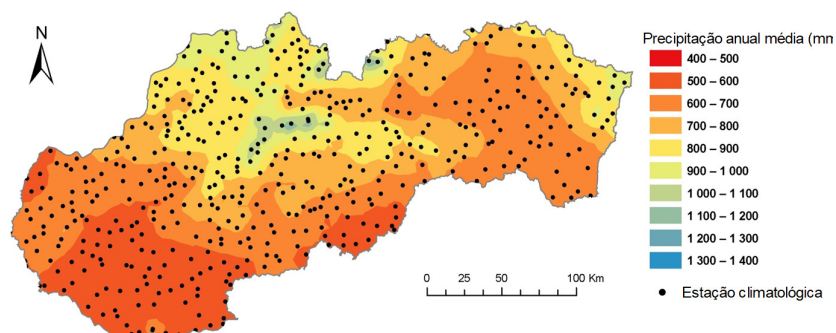
No contexto brevemente referido, o presente artigo tem por objetivo divulgar uma metodologia abrangente para caracterização da seca meteorológica desenvolvida no âmbito de um projeto de investigação de cooperação transnacional entre Portugal e a Eslováquia, tendo o caso de estudo adotado sido precisamente este último País, dado que se reconhece um aumento no número e na intensidade das secas que têm vindo a ocorrer em algumas partes da Europa Central (*Ministry of the Environment of the Slovak Republic and the Slovak Hydrometeorological Institute*, 2009), associado ao facto de os estudos sobre o fenómeno serem aí ainda escassos, contrariamente a Portugal Continental (Santos, 2013).

Para o efeito utilizaram-se os registos de precipitações mensais no período de 33 anos, entre janeiro/1981 e dezembro/2013, em 491 estações climatológicas cobrindo muito razoavelmente o País (Figura 1), gentilmente facultados pelo Instituto Hidrometeorológico Eslovaco (Portela et al., 2015b e 2015c).

## 2. MODELOS. BREVE MENÇÃO

A caracterização das secas meteorológicas utilizou o índice padronizado de precipitação, SPI (*Standardized Precipitation Index*), desenvolvido por McKee et al. (1993). Tal índice é, talvez, um dos mais utilizados para avaliar e caracterizar secas devido, no essencial: (i) à sua grande flexibilidade, podendo ser aplicado a diferentes escalas temporais; (ii) à menor complexidade do seu cálculo comparativamente a outros índices, assentando num modelo probabilístico bem definido e relativamente simples; (iii) à possibilidade de generalizar a sua aplicação a outras variáveis hidro-climatológicas para além da precipitação; e (iv) à boa adequação à representação espacial e à comparação de secas, uma vez que se trata de um índice normalizado. Em Santos (2013) e Santos et al. (2010) é fornecida extensa bibliografia sobre

o reconhecimento das anteriores vantagens do SPI e sobre algumas das aplicações delas decorrentes.



**Figura 1.** Localização esquemática das 491 estações climatológicas utilizadas no estudo sobre um mapa da precipitação anual média na Eslováquia (adaptada de Portela et al. 2015b).

O SPI permite quantificar o défice de precipitação a diferentes escalas temporais (de 1 a 24 meses), de modo a refletir o impacto das secas nos diferentes reservatórios naturais de água da bacia hidrográfica. Assim, distinguem-se para escalas temporais progressivamente crescentes as secas meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconómica (Wilhite & Glantz, 1985). A análise que se apresenta considerou apenas a escala temporal de 3 meses, SPI3, essencialmente por estar em causa a seca meteorológica. O cálculo do SPI utilizou a lei de Pearson III com parâmetros estimados pelos momentos-L (Portela & Santos, 2010). Os limiares dos valores do índice adotados para definir as categorias/severidades de seca foram os seguintes (Agnew, 2000): inferior a -1.65, seca extrema; entre -1.65 e -1.28, seca severa; e entre -1.28 e -0.84, seca moderada.

Sendo as secas fenómenos regionais, é importante identificar, não só as regiões mais suscetíveis à sua ocorrência, mas também nas quais as secas apresentam características similares, por exemplo, no que concerne à frequência da sua ocorrência ou à respetiva severidade. Por tal motivo, considera-se que um estudo das secas deve ser antecedido por uma regionalização que permita identificar zonas homogéneas, ou seja, zonas com características afins (Santos et al., 2010), para o que se recorreu a uma análise de componentes principais, PCA (Portela et al., 2015b e 2015c). A identificação dos componentes principais considerou as correlações entre os mesmos e os dados originais (séries de SPI), sendo tais correlações armazenadas numa matriz fatorial. Para alcançar padrões espaciais mais estáveis procedeu-se à rotação dos componentes principais através do procedimento Varimax, o qual permite uma divisão mais estável entre componentes, pois preserva a sua ortogonalidade e reproduz melhor os padrões fisicamente explicáveis.

Para cada região homogénea, o estudo prosseguiu com a identificação das frequências das secas que aí ocorrem, independentemente da respetiva severidade (Portela et al., 2015b e 2015c). Para o efeito utilizou-se uma modelação não paramétrica, baseada num estimador *kernel* de frequência de ocorrência (KORE, de *kernel occurrence rate estimator*), desenvolvido por Diggle (1985), tendo-se adotado um *kernel* gaussiano (Silva et al., 2012). Tal função foi

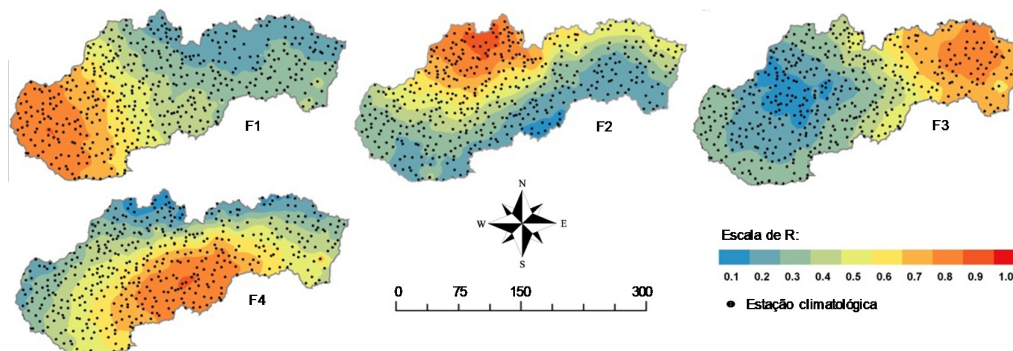
aplicada aos instantes de ocorrência das secas, para o que apenas se consideraram as secas severas ou mais gravosas. Obteve-se, deste modo, uma estimativa da frequência anual da respetiva ocorrência. Para quantificar as incertezas associadas ao cálculo dessa frequência construíram-se bandas de confiança obtidas com recurso à técnica de reamostragem de *bootstrap* (Cowling et al., 1996; Mudelsee, 2011, Silva et al., 2012).

Para cada região considerada homogénea, procedeu-se ainda a uma caracterização ao longo do período de análise da área afetada pelas secas com diferentes intensidades.

Não obstante a ampla utilização do SPI e as vantagens que apresenta a nível da comparação, numa mesma base, de secas em diferentes contextos climáticos, a interpretação e a monitorização dos valores associados ao SPI não é de fácil perceção, fundamentalmente por se estar em presença de precipitações padronizadas, obtidas mediante manipulação matemática de registos daquela variável hidrológica, e não perante registos da mesma. Por tal motivo, desenvolveu-se um cálculo adicional – através do estabelecimento do que se designou por superfícies de precipitações limiares de seca (Portela et al., 2012) – que, de algum modo, “devolve” ao campo das precipitações os valores do SPI que definem os limiares de seca, permitindo interpretar mais cabalmente o significado de tal índice e, muito pertinentemente, identificar atempada e facilmente as situações de seca e, consequentemente, operacionalizar a sua monitorização e as ações subsequentes a tomar.

### 3. RESULTADOS

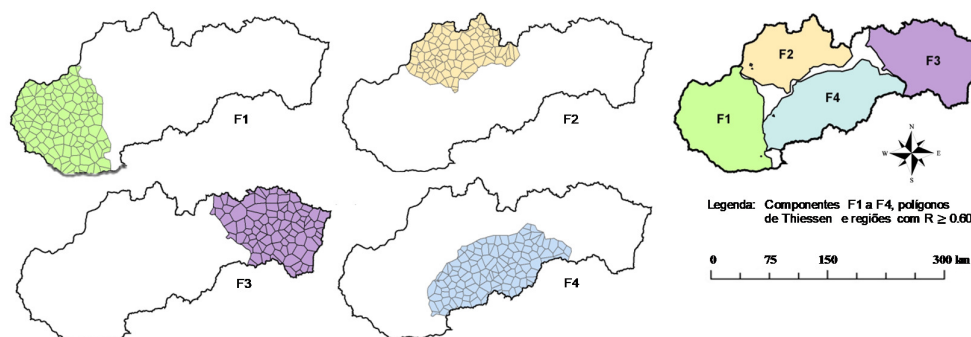
A análise de componentes principais aplicada às séries de SPI3 nas 491 estações climatológicas da Figura 1 mostrou que os primeiros quatro componentes, F1 a F4, explicam 80% da variância total daquelas séries, sendo que do quarto componente para o quinto o incremento da variância explicada é negligenciável (aprox. 1%). Para caracterizar espacialmente aqueles componentes procedeu-se ao mapeamento dos valores da matriz fatorial, que contém, como antes mencionado, as correlações,  $R$ , entre cada componente e as séries de SPI3 nas estações da Figura 1. Os resultados obtidos constam da Figura 2.



**Figura 2.** Correlação entre cada componente principal e as séries de SPI3 (adaptado de Portela et al. 2015b).

Cada componente principal indica que a variação temporal presente nas séries de SPI3 é também razoavelmente expressa pelo componente, deste modo reduzindo muito significativamente a dimensão do problema comparativamente à consideração das 491 séries de SPI3 para explicar essa variação.

Com base nos resultados da anterior figura, destacaram-se as regiões em que  $R$  é igual ou superior a 0.6, para o que se associou a cada estação climatológica uma área de influência, determinada de acordo com o método dos polígonos de Thiessen. Os resultados obtidos, incluindo a delimitação dos anteriores polígonos, são apresentados na Figura 3, a qual mostra muito claramente que o procedimento aplicado resultou na identificação de quatro regiões (referenciadas em correspondência com os componentes principais) espacialmente muito bem definidas, que não se sobrepõem e que cobrem quase integralmente a Eslováquia.



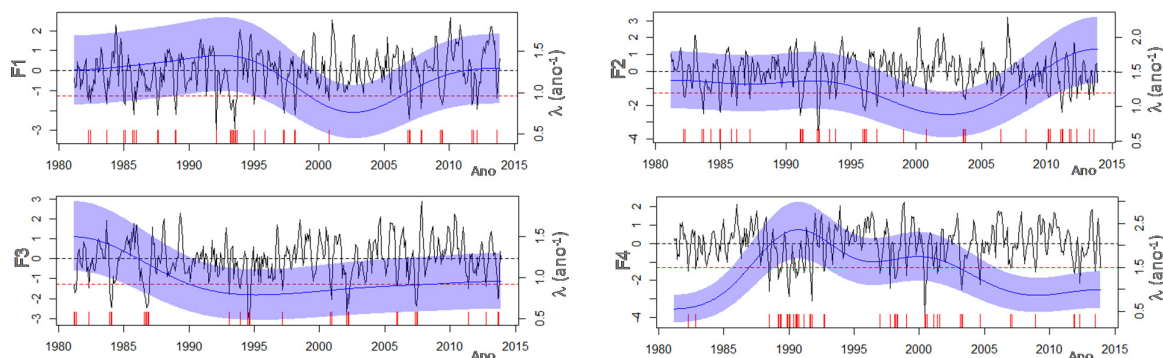
**Figura 3.** Regiões nas quais o coeficiente de correlação entre cada componente e a série de SPI é igual ou superior a 0.6. Representação dos polígonos de Thiessen relativos às estações climatológicas incluídas em cada região homogênea (adaptado de Portela et al. 2015c).

A percentagem de variância explicada e o número de estações climatológicas em cada uma das regiões da Figura 2 são de, respetivamente: região ocidental (F1), 22% e 132; região central norte (F2), 20% e 101; região oriental (F3), 15% e 90; e região central sul (F4), 23% e 125. Apenas 43 das 491 estações climatológicas não se adequaram à inclusão numa das anteriores regiões. De um modo geral, os componentes relacionam-se positivamente com as séries de SPI3.

A análise da frequência anual da ocorrência de secas severas ou mais gravosas ( $SPI3 \leq -1.28$ ) foi aplicada a cada componente principal, uma vez que o mesmo pode ser entendido como uma representação alternativa das séries de SPI3 de onde proveio. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 4. Cada diagrama da figura contém a representação da frequência esperada das secas consideradas expressa em acontecimentos por ano,  $\lambda$ . Ao longo do eixo horizontal de cada um dos diagramas da figura indicam-se os instantes de ocorrência dessas secas, aos quais foi aplicado o estimador de frequência KORE. Nos diagramas destaca-se também, através de um segmento de reta a tracejado vermelho, o limiar de seca utilizado na identificação daqueles instantes. Uma vez que é possível associar cada componente a uma região da Eslováquia, a frequência  $\lambda$  de ocorrência de secas severas



ou mais gravosas obtida com base nesse componente passa, assim, a caracterizar a frequência das secas nessa região.



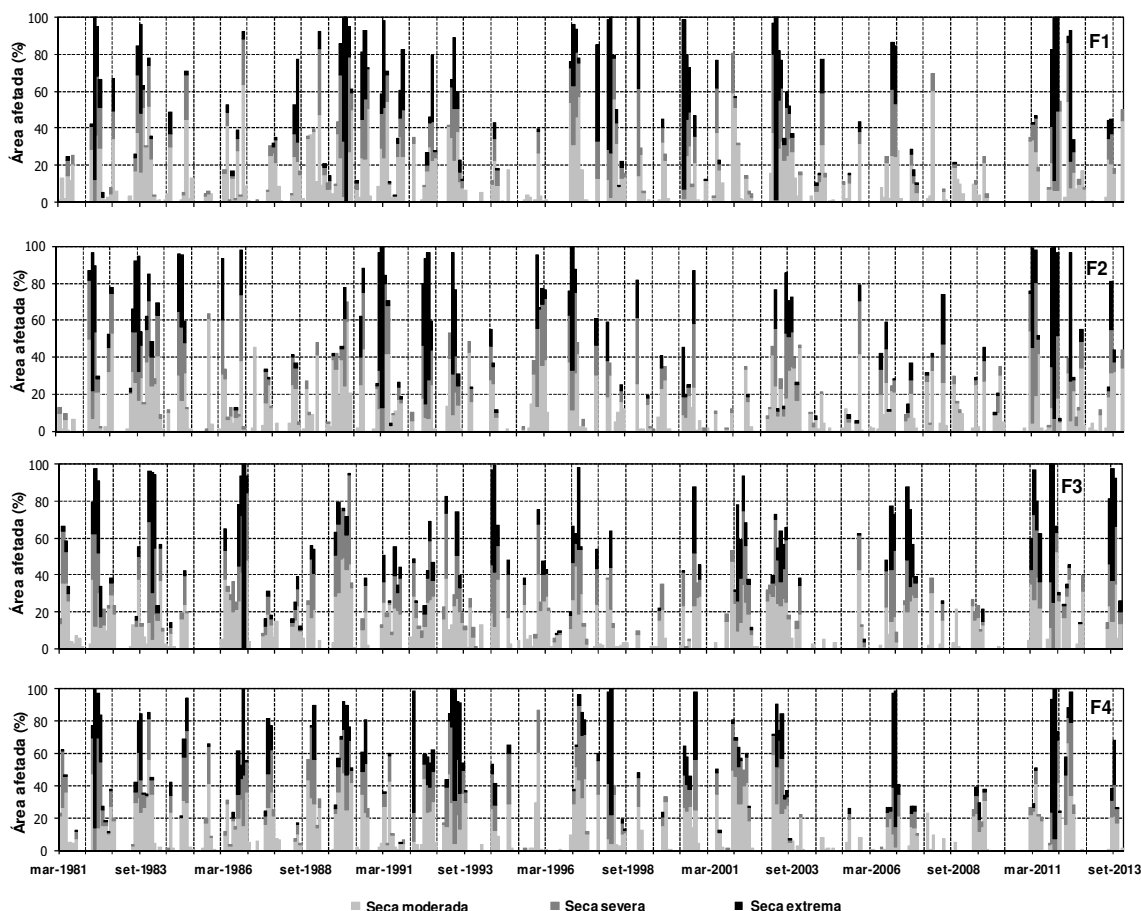
**Figura 4.** Variação ao longo do tempo da frequência de ocorrência de secas severas ou mais gravosas,  $\lambda$ , de acordo com os componentes principais F1 a F4 (adaptado de Portela et al. 2015c).

A anterior figura evidencia o facto de a frequência das secas nas diferentes regiões identificadas como homogéneas no que respeita ao padrão temporal das séries de SPI3 exibir comportamentos distintos, embora com alguma semelhança entre as regiões oeste (F1) e central norte (F2) – que denotam uma tendência para secas mais frequentes em anos recentes – e entre as regiões este (F3) e central sul (F4) – com frequências menores em anos recentes. Embora o período de tempo analisado seja muito curto e, em rigor, não se adeque a tirar conclusões quanto ao comportamento estacionário ou não das secas, as regiões central norte (F2) e este (F3) sugerem uma variação consistente da frequência das secas (aumento, para F2, e decréscimo, para F3) que, de algum modo indica comportamento não estacionário. Visualmente e em termos simplificados, pode dizer-se que a estacionaridade se traduziria por flutuações em torno de condições médias.

Para cada uma das regiões homogéneas da Figura 3, procedeu-se ainda à caracterização ao longo do tempo das áreas afetadas por secas moderadas ( $-1.28 < \text{SPI3} < -0.84$ ), severas ( $-1.65 < \text{SPI3} < -1.28$ ) e extremas ( $\text{SPI3} < -1.65$ ). Para o efeito e para cada categoria de seca, teve-se em conta as áreas acumuladas dos polígonos relativas às estações climatológicas incluídas naquela região. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 5. Observa-se que os resultados referentes a cada período de três meses consecutivos considerado no cálculo do SPI foram atribuídos ao último mês desse período, pelo que aos diagramas da figura se iniciam em março de 1981 (respeitando aos valores de SPI de janeiro a março de 1981) e finalizam em setembro de 2013 (último mês compatível com o cálculo de SPI3).

A figura mostra que a Eslováquia sofre regularmente secas meteorológicas, sendo que as mais importantes tendem a afetar todo o País, eventualmente com diferentes severidades. Reconhecem-se, claramente duas importantes secas que afetaram as quatro regiões da Figura 3: no início de 1982, uma seca extrema generalizada (barras mais escuras representando 20% da área atribuída a F3 e quase 90% das áreas atribuídas a F1 e F4) e outra no primeiro trimestre de 2011, em que a seca extrema afetou em média 85% de qualquer

uma das áreas referenciadas por F1 a F4. Entre 2004 e 2010 há a sugestão de que terão ocorrido menos secas severas/extremas ou mesmo menos episódios de seca.



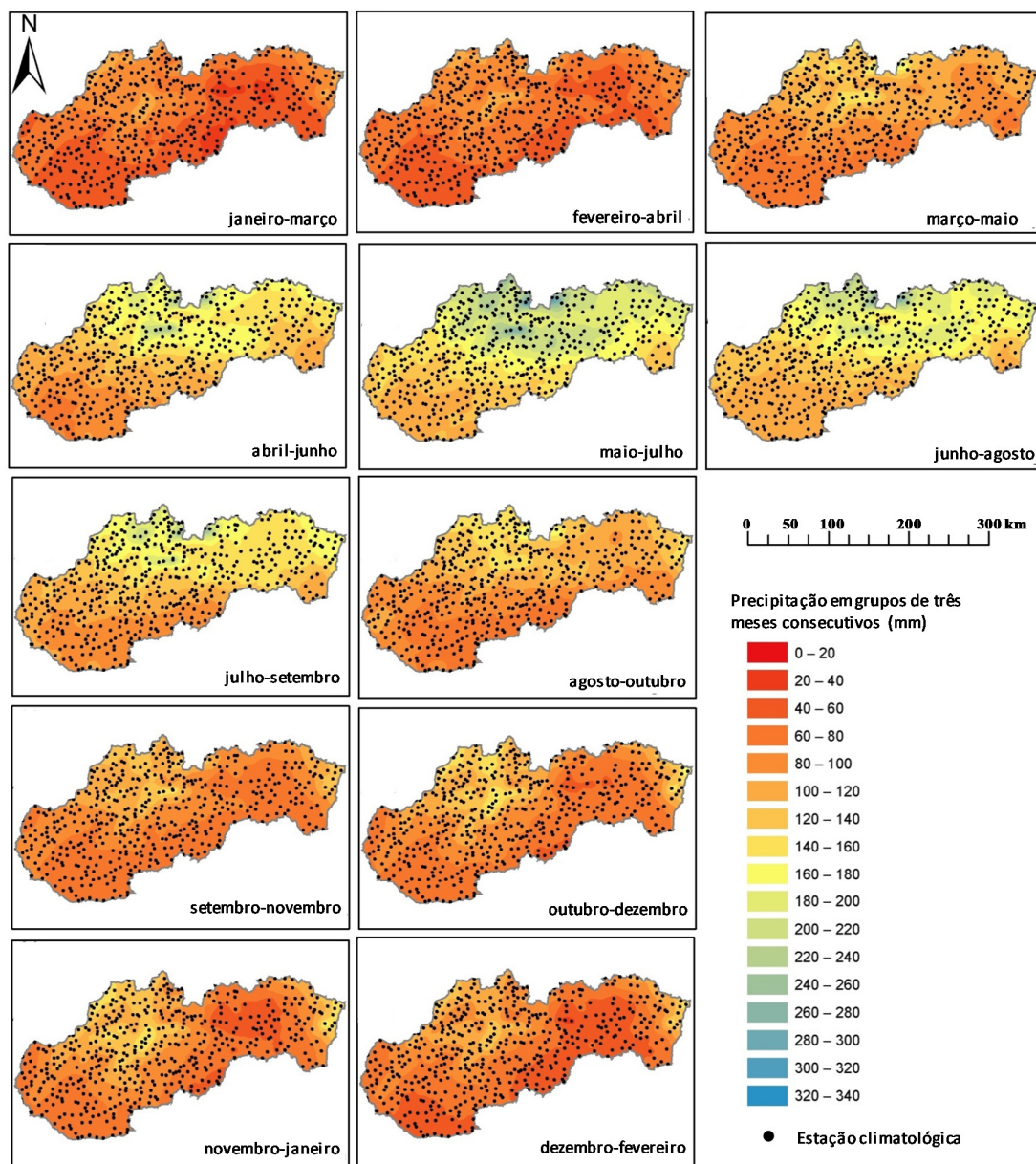
**Figura 5.** Caraterização ao longo do tempo da área afetada por secas meteorológicas com diferentes intensidades em cada uma das regiões da Figura 3 (adaptada de Portela et al., 2015c).

A finalizar, exemplificam-se nas Figuras 5 e 6, referentes a secas severas e a secas extremas, respetivamente, as superfícies de precipitações limiars de seca obtidas por inversão dos valores de SPI3 de -1.28 (primeira figura) e -1.65 (segunda figura) em cada uma das 491 estações climatológicas utilizadas no estudo.

Cada mapa das Figuras 5 e 6 fornece a distribuição espacial da precipitação no período de três meses consecutivos a que esse mapa respeita. Se, para esse período, num dado local a precipitação for inferior à fornecida pelo mapa então registar-se-á aí uma seca severa ou uma seca extrema, consoante aquela precipitação.

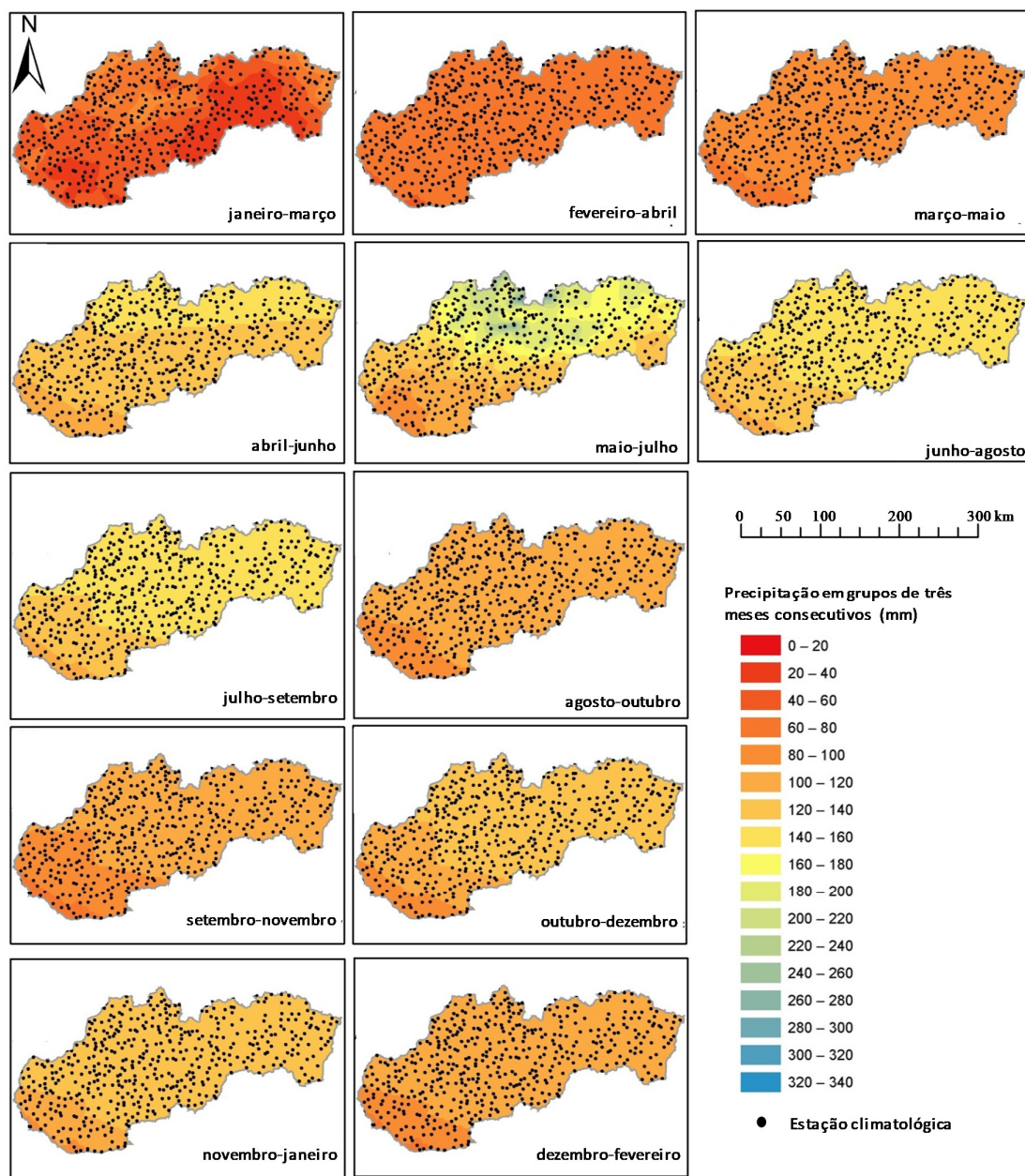
Importa observar que, entre mapas consecutivos de uma mesma figura, as superfícies de precipitações limiars de seca apresentam um padrão espacial pouco diferenciado o que se

justifica pelo facto de os períodos subjacentes a cada dois daqueles mapas incluírem sempre um período comum de dois meses.



**Figura 5.** Inversão de SPI=-1.28. Superfícies de precipitações limiares de seca (expressas em mm) para identificação de secas severas (adaptada de Portela et al. 2015b).





**Figura 6.** Inversão de  $SPI = -1.65$ . Superfícies de precipitações limiares de seca (expressas em mm) para identificação de secas extremas (adaptada de Portela et al. 2015b).

Mapas como os apresentados nas Figuras 5 e 6, eventualmente obtidos para outras escalas temporais do SPI e para outras categorias de secas, evidenciam o significado daquele índice, conferindo-lhe “operacionalidade” na monitorização de secas e, logo, como ferramenta de

sistemas de aviso daquele tipo de fenómeno hidrológico extremo, designadamente quando ainda é incipiente.

De facto, através da comparação da precipitação registada num dado local e intervalo de tempo com os limiares de precipitação estabelecidos para esse mesmo local, quer para o mesmo período de tempo, quer para um período de tempo maior, é possível concluir se se está perante a ocorrência de uma seca meteorológica, mas, muito pertinentemente, avaliar quanto deverá chover no mês ou meses que se seguem de modo a que o sistema recupere dessa ocorrência. Embora o assunto careça de investigação, se se vier a concluir que é possível tratar os quantitativos de chuva em falta em termos probabilísticos, tornar-se-á possível associar probabilidades à recuperação de situações de seca meteorológica e adequar a gestão das reservas de água a essas probabilidades, eventualmente expressando-as através de critérios de risco.

#### **4. CONCLUSÕES**

O presente artigo teve por objetivo dar a conhecer e colocar à discussão uma metodologia sequencial e integrada visando a caracterização da severidade das secas meteorológicas identificadas através do índice padronizado de precipitação (SPI). Não obstante essa abordagem ter sido desenvolvida tendo como caso de estudo a Eslováquia, é perfeitamente generalizável a outras regiões (Portela et al., 2015a).

A anterior metodologia compreendeu a definição de áreas homogéneas no que respeita aos padrões temporais do fenómeno em causa, a análise da frequência das suas ocorrências, a evolução temporal das áreas em secas e, por fim, a apresentação de uma ferramenta particularmente vocacionada para a deteção das suas ocorrências.

Não obstante não serem objeto do presente artigo, regista-se muito brevemente que foram analisados outros aspetos relacionados com a caracterização das secas, com ênfase para a possibilidade da utilização do SPI na deteção de secas agrícolas e mesmo hidrológicas (Portela et al., 2017),

Muitos são ainda os tópicos de interesse relacionados com as secas e que importa investigar de interesse. De entre esses tópicos mencionam-se avaliar a pertinência de recorrer a outros índices de secas que atendam aos reservatórios de água (naturais, mas não só) ocorrentes na bacia hidrográfica mais suscetíveis face às utilizações de água dominantes, ou ainda a necessidade de proceder à análise das secas associando à sua severidade outras características igualmente relevantes, com ênfase para a duração. Por fim, não se pode deixar de mencionar que, embora se admita que a capacidade de previsão de secas ainda está longe de ser concretizada, importa continuar a averiguar se eventuais relações entre o fenómeno e padrões de circulação atmosférica de larga escala, com ênfase para a Oscilação do Atlântico Norte podem contribuir para esse objetivo (Santos et al., 2014, Wanga et al., 2015, Irannezhad et al., 2015).

## 1. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia o suporte facultado à presente investigação, através do projeto Proc. 441.00. Cooperação Transnacional. Acordo de Cooperação Científica entre Portugal e a Eslováquia (2013-2015 e 2016-2017).

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agnew, C.T. (2000). Using the SPI to identify drought. *Drought Network News*, 12:6–12.
- Cowling, A., Hall, P., Phillips, M. (1996). Bootstrap confidence regions for the intensity of a Poisson point process. *Journal of the American Statistical Association*, 91(436), 1516–1524. DOI: 10.2307/2291577.
- Irannezhad, M., Haghighi, A.T., Chen, D., Kløve, B. (2015). Variability in dryness and wetness in central Finland and the role of teleconnection patterns. *Theoretical and Applied Climatology*, 122(3-4):471-486.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, American Meteorology Society, 179-184.
- Ministry of the Environment of the Slovak Republic and the Slovak Hydrometeorological Institute (2009). *The Fifth National Communication of the Slovak Republic on Climate Change*.
- Mudelsee, M. (2011). The bootstrap in climate risk analysis. In *Extremis: disruptive events trends in climate and hydrology*, edit by: Kropp, J.P. and Schellnhuber, H.J., 45-58, Springer.
- Portela, M.M. & Santos, J.F. (2010). Caracterização de secas por aplicação do índice de precipitação padronizada, SPI, a séries de precipitação e de escoamento: casos de estudo em Portugal Continental. XXIV Congresso LatinoAmericano de Hidráulica, Punta del Este, Uruguay.
- Portela, M.M., Santos, J.F., Naghettini, M., Matos, J.P., Silva, A.T. (2012). Superfícies de limiares de precipitação para identificação de secas em Portugal continental: uma aplicação complementar do Índice de Precipitação Padronizada, SPI. *Recursos Hídricos*, 33(2):5-23, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), Lisboa (disponível em <http://www.aprh.pt/rh/v33n2.html>). DOI:10.5894/rh33n2-1.
- Portela, M.M., Silva, A.T., Santos, J.F., Benitez, J.B., Frank, C., Reichert, J.M. (2015a). Drought analysis in Southern Paraguay, Brazil and Northern Argentina: regionalization, frequency analysis and rainfall thresholds. *Hydrology Research*, 46(5):792-810, DOI:10.2166/nh.2014.074.
- Portela, M.M., Silva, A.T., Santos, J.F., Zelenáková, M., Hlavatá, H. (2017). Assessing the use of SPI in detecting agricultural and hydrological droughts and their temporal cyclicity. Some Slovakian case studies. *European Water*, 60:233-239. Special Issue: "10th Word Congress on

Water Resources and Environment". Guest editors: G. Tsakiris, V.A. Tsihrintzis, H. Vangelis, D. Tigkas (disponível em [http://www.ewra.net/ew/pdf/EW\\_2017\\_60\\_32.pdf](http://www.ewra.net/ew/pdf/EW_2017_60_32.pdf)).

Portela, M.M., Zelenáková, M., Santos, J.F., Purcz, P., Silva, A.T., Hlavatá, H. (2015b). Drought analysis in Slovakia: regionalization, frequency analysis and precipitation thresholds. 8th International Conference on River Basin Management including all aspects of Hydrology, Ecology, Environmental Management, Flood Plains and Wetlands, RBM15, Wessex Institute, New Forest, UK.

Portela, M.M., Zelenáková M., Santos, J.F., Purcz, P., Silva, A.T., Hlavatá, H. (2015c). Application of the SPI to the drought analysis in Slovakia. Drought regionalization and temporal evolution of the drought area. 9th World Congress of EWRA. European Water Resources Association (EWRA). Istanbul, Turkey.

Santos, J. (2013). Drought analysis in Mainland Portugal: spatial distribution, frequency and hindcasting. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. IST/UTL.

Santos, J.F., Portela, M.M., Pulido-Calvo, I. (2014). Spring drought prediction based on winter NAO and global SST in Portugal, Hydrological Processes, 28(3):1009-1024, ISSN:1099-1085, DOI:10.1002/hyp.9641

Santos, J.F., Pulido-Calvo, I., Portela, M.M. (2010). Spatial and temporal variability of droughts in Portugal. Water Resources Research, 46, Article Number: W03503, DOI:10.1029/2009WR008071.

Silva, A.T., Portela, M.M., Naghettini, M. (2012). Nonstationarities in the occurrence rates of flood events in Portuguese watersheds, Hydrology and Earth System Sciences, 16(1):241-254, ISSN:1027-5606, WOS:000300232900019, DOI:10.5194/hess-16-241-2012.

Tallaksen, L.M., & Van Lanen, H.A. (2004). Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater. Developments in water science, Vol. 48, Elsevier Science Limited.

Wanga, H., Chen, Y., Pan, Y., Lia, W.(2015). Spatial and temporal variability of drought in the arid region of China and its relationships to teleconnection indices. Journal of Hydrology, 523: 283-296. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.055>.

Wilhite, D.A., & Glantz, M.H. (1985). Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. Water International, 10(3):111–120. Doi: 10.1080/02508068508686328.