

SUPERFÍCIES DE LIMIARES DE PRECIPITAÇÃO PARA IDENTIFICAÇÃO DE SECAS EM PORTUGAL CONTINENTAL: UMA APLICAÇÃO COMPLEMENTAR DO ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO PADRONIZADA, SPI

SURFACES OF PRECIPITATION THRESHOLDS FOR DROUGHT RECOGNITION IN MAINLAND PORTUGAL: A COMPLEMENTARY USE OF THE STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX, SPI

Maria Manuela Portela

IST /// mps@civil.ist.utl.pt

João Filipe Fragoso dos Santos

IPBeja /// joaof.santos@destig.ipbeja.pt

Mauro Naghettini

UFMG /// mauronag@superig.com.br

José Pedro Matos

IST/EPFL /// jose.matos@ist.utl.pt

Artur Tiago Silva

IST /// artur.tiago.silva@ist.utl.pt

RESUMO: De entre os índices porventura mais amplamente utilizados na análise de secas destaca-se o índice de precipitação padronizada, SPI (*Standardized Precipitation Index*), que, mediante recurso a procedimentos de análise estatística, faz corresponder a precipitação num dado intervalo de tempo (mês ou grupos de meses) a valores numéricos susceptíveis de serem comparados entre regiões com climas bastante distintos. Não obstante a sua utilização generalizada e as vantagens que apresenta na comparação de secas em diferentes contextos climáticos, a interpretação dos valores associados ao SPI e a monitorização das secas com base nesses valores não constituem tarefas triviais, fundamentalmente por se estar em presença de precipitações padronizadas, obtidas mediante manipulação matemática de registos daquela variável hidrológica e não perante registos propriamente ditos.

Por tal motivo, desenvolveu-se um cálculo adicional que, respeitando o rigor do formalismo matemático inerente ao SPI, devolve ao campo das precipitações os valores desse índice correspondentes a limiares de seca permitindo, de modo muito expedito e praticamente em tempo real, reconhecer as ocorrências de seca e, assim, planear mais precocemente as acções subsequentes a tomar.

Após um breve enquadramento é, assim, efectuado o mapeamento de diferentes superfícies de precipitação que, para o território de Portugal Continental, fornecem mês a mês o que se designou de **precipitações limiares de seca** entendendo-se, por tal, precipitações abaixo das quais se considera estar perante uma seca com uma dada magnitude.

Palavras-chave: seca, índice de precipitação padronizada, SPI, detecção e monitorização de secas, limiares de precipitação conducentes à identificação de secas.

ABSTRACT: Among the indices more often applied to characterize droughts, one of the most commonly, if not the most widely used, is the standardized precipitation index (SPI) which by means of statistical analysis procedures, assigns a numerical value to the monthly precipitation or to the cumulative precipitation in groups of consecutive months.

Despite the widespread use of the SPI, in part due to its great ability to compare droughts in different climatic contexts, the interpretation of the values associated to SPI and drought monitoring based on those values are by no means trivial tasks, particularly due to the fact that such values are standardized ones which can not be easily related with the precipitation records from which they derived.

For this very reason, an additional calculation method has been developed which returns back to the precipitation field the SPI values for any drought threshold. By assigning the drought thresholds directly to precipitation the meaning of the SPI results clearer and the identification and monitoring of the drought occurrences more expedite, thus allowing subsequent actions much more flexible and on the spot.

After a brief subject framework, this paper mentions some previous results of the application of the SPI to characterize droughts in mainland Portugal. Based on the new concept developed for the SPI, precipitation surfaces that provide precipitation thresholds for drought recognition on a monthly basis and across different timescales throughout the mainland Portuguese are presented. Finally the advantage of such complementary use of the SPI is discussed.

Keywords: drought, standardized precipitation index, SPI, detection and monitoring of droughts, precipitation thresholds for drought identification.

1. CONCEITOS GERAIS E DADOS DE BASE

De entre as variáveis instrumentais utilizadas para detectar e caracterizar as ocorrências de seca, a precipitação é a mais vulgar, certamente pela mais fácil percepção do fenómeno que lhe está associado e pelas consequências decorrentes da variabilidade temporal e espacial de tal fenómeno, mas também pelo facto de a precipitação ser amplamente monitorizada e de ser relativamente comum a existência de registos temporais da precipitação suficientemente longos, circunstâncias que conferem consistência às caracterizações baseadas em tais registos.

A manutenção, de forma persistente ao longo do tempo, da precipitação abaixo dos respectivos valores médios em dados intervalos de tempo ocasiona a designada seca meteorológica que, a permanecer, terá reflexos progressivamente ao nível do défice de humidade no solo – seca agrícola –, da escassez de recursos hídricos de superfície, incluindo os armazenados em albufeiras e nos aquíferos – seca hidrológica – e da própria actividade económica e do desempenho da sociedade em geral – seca sócio-económica. Cada um destes três últimos tipos de secas requer variáveis instrumentais que, para além da precipitação, permitam descrever o fenómeno nos diferentes aspectos e interfaces com os sectores susceptíveis ao mesmo.

Em anos recentes deu-se início a uma investigação focada na caracterização extensa das secas em Portugal Continental mediante análise de amostras longas de precipitação, a qual, até à data e em síntese, compreendeu aspectos tais como a identificação de regiões homogéneas quanto àquele fenómeno (SANTOS *et al.*, 2010a,b), a aplicação a essas regiões de procedimentos específicos de inferência estatística (SANTOS *et al.*, 2011a,b), a “operacionalização” da rede de aquisição de registos de precipitação a afectar à monitorização do fenómeno mediante a identificação, em cada uma dessas regiões, do conjunto, tão pequeno quanto possível, de postos udométricos capazes de descrever espacial e temporalmente o fenómeno (SANTOS *et al.*, 2012a) e, por fim, modelos de previsão de secas (SANTOS *et al.*, 2012b).

Os estudos inerentes à investigação mencionada têm sido suportados pelos registos de precipitação mensal compilados por SANTOS e PORTELA (2008), referentes a 94 anos, de 1910/11 a 2003/04, nos 144 postos udométricos uniformemente distribuídos

pelo País, esquematicamente localizados na Figura 1, relativa ao mapeamento da precipitação anual média em Portugal Continental. Para caracterizar as ocorrências de seca a diferentes escalas temporais seleccionou-se o índice de precipitação padronizada (*Standardized Precipitation Index*), SPI (McKEE *et al.*, 1993; GUTTMAN, 1999), que, para o efeito, foi aplicado, quer às séries de precipitação mensal anteriormente referidas, quer a séries de precipitação em grupos de meses consecutivos.

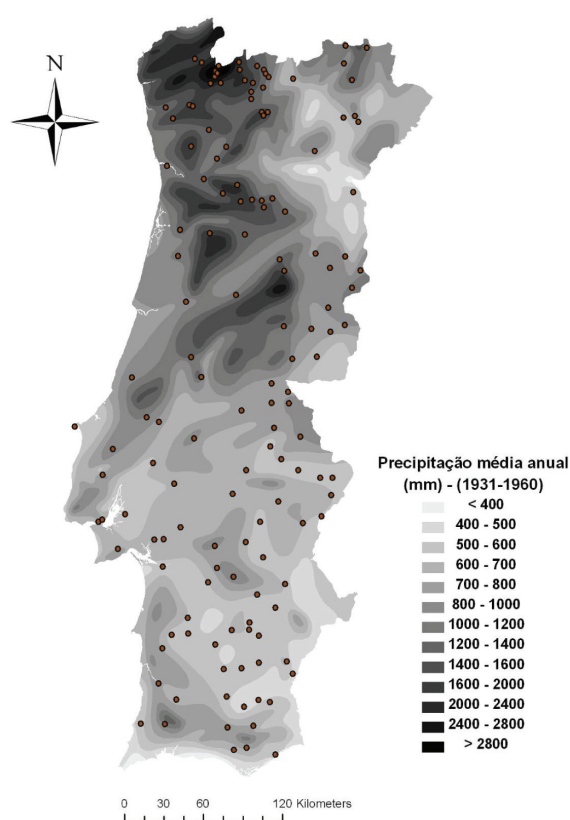


Figura 1 – Precipitação média anual em Portugal Continental. Os pontos representam a localização dos 144 postos utilizados no estudo das secas (reproduzida de SANTOS *et al.*, 2010b).

O texto deste artigo foi submetido para revisão e possível publicação em outubro de 2012, tendo sido aceite pela Comissão de Editores Científicos Associados em novembro de 2012. Este artigo é parte integrante da *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 33, Nº 2, 5-23, novembro de 2012.
© APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh33n2-1

O SPI constitui, porventura, um dos índices 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 que se pode considerar relativamente simples; (iii) à possibilidade de generalizar a sua aplicação a outras variáveis hidro-climatológicas para além da precipitação, LÓPEZ-MORENO *et al.* (2009), SANTOS e PORTELA (2010); e (iv) à boa adequação à representação espacial e à comparação de secas, uma vez que se trata de um índice normalizado. Em SANTOS *et al.* (2010a,b) é fornecida extensa bibliografia sobre o reconhecimento das anteriores vantagens do SPI e sobre algumas das aplicações delas decorrentes.

As escalas de tempo mais frequentemente consideradas no cálculo do SPI são de 1, 3, 6, 12 e 24 meses – SPI1, SPI3, SPI6, SPI12 e SPI24, respectivamente –, sendo entendimento geral (HAYES *et al.*, 1999) que as menores escalas, até 6 meses, se referem às secas meteorológica e agrícola, associadas a défices de precipitação e de humidade no solo, respectivamente; que as escalas intermédias, entre os 9 e os 12 meses, remetem para a seca hidrológica, com escassez de água reflectida nos escoamentos e nos reservatórios artificiais (albufeiras); e que a escala de tempo dos 24 meses permite perceber o impacto das secas nos aquíferos que, devido à sua resiliência, possuem uma capacidade de resposta mais lenta.

No essencial, o SPI fornece uma medida padronizada do défice de precipitação mensal ou acumulada em grupos de meses consecutivos. O cálculo do SPI a partir de uma amostra de precipitações a uma dada escala temporal requer o ajustamento a essa amostra de uma função de distribuição de probabilidades. O valor de SPI atribuído a cada precipitação não é mais do que o valor da normal reduzida para a probabilidade de não-excedência correspondente a essa precipitação, de acordo com a função de distribuição postulada.

O anterior conceito está esquematizado na Figura 2 para o caso de aplicação da lei de Pearson III, considerada por alguns autores como a que melhor se ajusta às séries de precipitações quer mensais, quer acumuladas em diferentes grupos de meses. Menciona-se que, originalmente McKEE *et al.*, 1993, ajustaram a função de distribuição Gama às séries de precipitação mensal para calcular o índice SPI. Posteriormente, alguns autores testaram várias distribuições estatísticas baseadas em diferentes escalas temporais e concluíram que a distribuição de Pearson tipo III assegurava o melhor ajustamento. Esta circunstância pode ser explicada pela maior flexibilidade da distribuição de Pearson tipo III dada pelos seus três parâmetros, em comparação com a distribuição Gama, com apenas dois parâmetros, GUTTMAN (1999), NTALE and GAN (2003), VICENTE-SERRANO (2006a).

Anota-se que, tendo por base um longo período de N anos hidrológicos com registos contínuos de

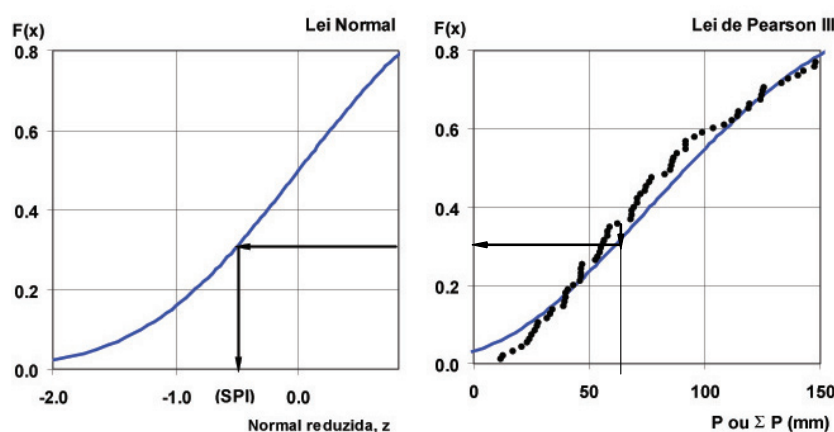


Figura 2 – Representação esquemática do procedimento de cálculo do SPI (reproduzida de SANTOS e PORTELA, 2010).

precipitações mensais, o cálculo do SPI à escala de k meses requer que sejam constituídas as amostras das precipitações acumuladas em k meses com início em cada um dos sucessivos meses do ano, sendo que cada uma dessas amostras é tratada estatisticamente de modo totalmente independente das demais amostras. Por exemplo, para $k=3$ (referente a SPI3), a primeira das anteriores amostras refere-se à precipitação de Outubro a Dezembro ao longo dos N anos do período de registo, a segunda, à precipitação de Novembro a Janeiro naquele período e assim sucessivamente, do que resulta que as duas últimas amostras de precipitação acumulada em três meses, com início em Agosto e Setembro, têm menos um valor (ou seja, têm dimensão $N-1$). Os valores do SPI obtidos mediante o tratamento estatístico de cada uma das sucessivas doze amostras são posteriormente integrados numa série única, de algum modo, temporalmente contínua. Com efeito e prosseguindo com o anterior exemplo, ao SPI3 fornecido pela análise estatística para a precipitação no período de Janeiro a Março de um dado ano segue-se o SPI3 relativo à precipitação de Fevereiro a Abril desse mesmo ano, e assim sucessivamente, não obstante o facto de cada uma das anteriores estimativas ter resultado do tratamento estatístico, efectuado de modo separado, das precipitações no intervalo de tempo a que se refere ao longo do período de registos, como antes mencionado.

Nos estudos que sustentam o presente artigo o cálculo das séries de SPI utilizou a formulação baseada na função de distribuição de Pearson tipo III com parâmetros calculados pelo método dos momentos-L, conforme proposto por VICENTE-SERRANO (2005) e VICENTE-SERRANO (2006b). Tal formulação foi detalhadamente descrita em SANTOS e PORTELA (2010a,b). As categorias de seca consideradas, tanto naqueles estudos, como no presente artigo, adoptaram os limites de SPI propostos por AGNEW (2000), apresentados no Quadro 1, que contém ainda as probabilidades de não-excedência associadas a esses limites.

Um valor do índice SPI igual a zero é indicativo de que não ocorreram desvios nos valores da precipitação relativamente à precipitação média no período analisado. Valores positivos do índice SPI indicam que a precipitação é superior àquela média correspondendo, portanto, a um período com disponibilidade hídrica. Por fim, valores negativos do SPI indicam que a precipitação é inferior à média, sendo que, abaixo de dados limiares, se considera estar perante um episódio de seca. Segundo alguns autores (AGNEW, 2000), o limiar de SPI conducente ao reconhecimento de uma seca moderada é de -0.84, progredindo-se para uma situação de seca severa e desta para uma

seca extrema para índices inferiores a -1.28 e a -1.65, respectivamente. É esta a classificação pressuposta pelo Quadro 1 e utilizada no presente artigo.

Quadro 1 – Categorias de seca de acordo com os valores de SPI segundo AGNEW (2000).

SPI	Categoria/ severidade da seca	Probabilidade de não-excedência
< 0.84 e > -0.84	Normal	80.0% a 20.0%
< 0.84	Moderada	$< 20.0\%$
< -1.28	Severa	$< 10.0\%$
< -1.65	Extrema	$< 4.9\%$

2. UMA UTILIZAÇÃO COMPLEMENTAR DO SPI

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 percepção, fundamentalmente por se estar em presença de precipitações padronizadas, obtidas mediante manipulação matemática de registos daquela variável hidrológica e não perante registos da mesma. Para exemplificar a anterior afirmação, de entre as caracterizações espaciais efectuadas por SANTOS *et al.* (2011a,b) para as diferentes escalas temporais do SPI, seleccionou-se a título de exemplo, a apresentada na Figura 3.

A anterior figura contém, para o SPI à escala de três meses, SPI3, os mapas (estabelecidos por recurso a técnicas de *Kriging*) da magnitude da seca em Portugal Continental para os períodos de retorno de 50 e de 100 anos, obtidos a partir do tratamento estatístico das séries de máximos anuais de magnitude da seca àquela escala temporal nos 144 postos assinalados na Figura 2 e que também estão esquematicamente localizados na Figura 3. O anterior tratamento estatístico pressupõe a aplicação de diferentes distribuições estatísticas em cada uma das regiões homogéneas que haviam sido previamente identificadas por SANTOS *et al.* (2010a) e que foram adoptadas por SANTOS *et al.* (2011a,b). Por magnitude da seca para uma dada escala temporal do SPI entende-se o valor acumulado do índice SPI durante um acontecimento ou episódio de seca, este último, definido pelo período de tempo que

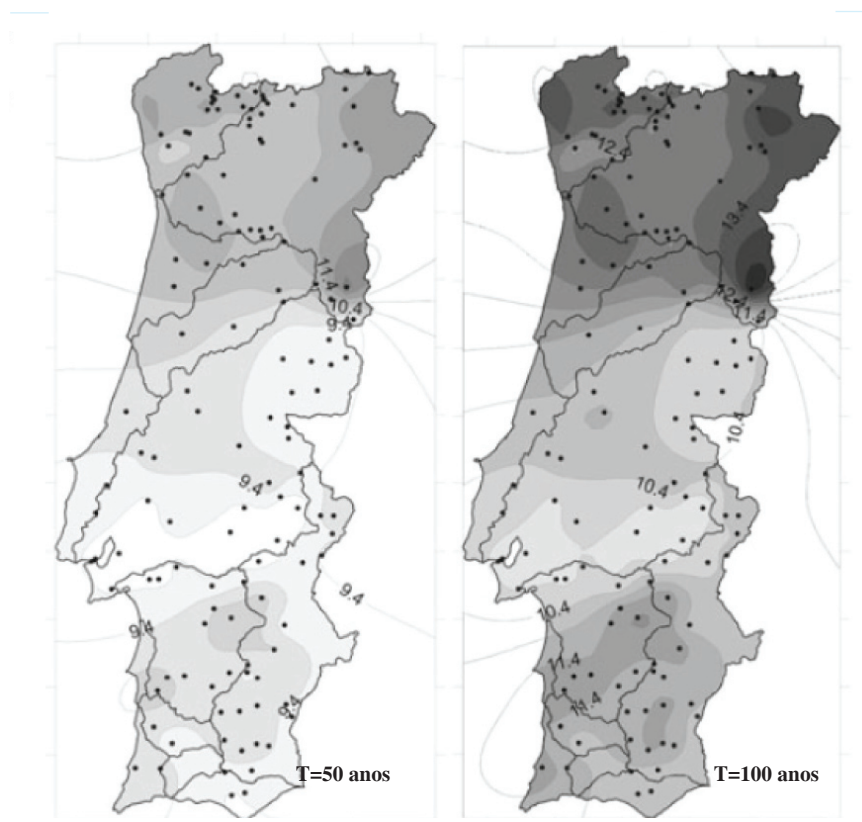


Figura 3 – Mapas de magnitude da seca em Portugal Continental para os períodos de retorno de T=50 e 100 anos obtidos a partir das séries de magnitude máximas anuais do SPI à escala temporal de três meses, SPI3 (adaptada de SANTOS et al., 2011a,b).

em que o índice permanece abaixo do limiar de seca adoptado, conforme se esquematiza na Figura 4, para o pressuposto de limiar de seca de -1.28.

Não obstante o carácter inovador, tanto em Portugal, como noutros países, da investigação inerente à Figura 3 (SANTOS *et al.*, 2011a,b) e de essa figura fornecer uma caracterização espacial das magnitudes máximas anuais do SPI3 para os períodos de retorno de 50 e de 100 anos com inquestionável interesse, por exemplo, em termos da caracterização da variabilidade espacial do fenómeno – evidenciando a maior susceptibilidade do nordeste transmontano à ocorrência de secas com maiores magnitudes –, a informação nela contida não é passível de ser utilizada directa e expeditamente para averiguar se um dado valor da precipitação acumulada num dado período de três meses indicia estar-se perante uma situação de seca com excepionalidade enquadrada por aqueles períodos de retorno.

Com efeito, para tanto, seria necessário dispor de séries longas de precipitações acumuladas em

três meses que compreendessem a precipitação no período objecto de caracterização em termos de excepionalidade e, a partir de tais séries, possuir capacidade de cálculo adequada à estimação do SPI e da correspondente magnitude à escala temporal pretendida. Essa magnitude teria de ser comparada com a caracterização apresentada na Figura 3 ou com uma caracterização equivalente (dependendo da escala temporal do SPI em causa e do enquadramento esperado para a excepionalidade do evento), o que requereria a obtenção prévia de mapas análogos aos da Figura 3 para diferentes escalas temporais do SPI e para vários períodos de retorno. Mesmo assim, só muito dificilmente seria possível quantificar os desvios efectivos da precipitação que estavam na origem daquela seca e, consequentemente, adquirir uma “medida” expedita que, futuramente, permitisse detectar ocorrências de seca equivalentes.

Por tal motivo, desenvolveu-se um cálculo adicional que, de algum modo, “devolve” ao campo das

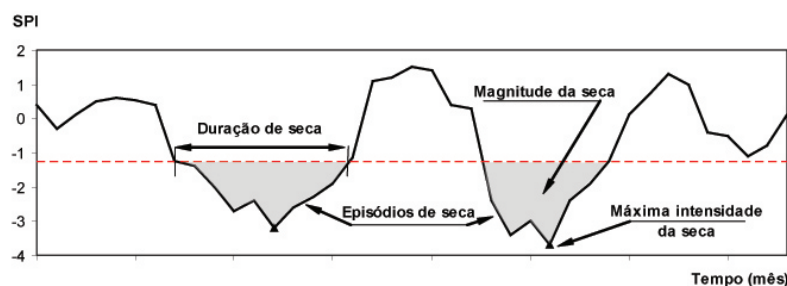


Figura 4 – Representação esquemática de algumas das características associadas a secas.

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, conseqüentemente, operacionalizar a sua monitorização e as acções subsequentes a tomar.

Concretamente, para cada uma das escalas temporais consideradas – um, três, seis e doze meses – e para todos os postos udométricos representados nas Figuras 1 e 3, estimaram-se as precipitações para um valor do SPI a essa escala temporal fixo e igual a um limiar de seca. Para tanto, adoptaram-se, embora de modo separado, os limiares de -1.28 e de -1.65, correspondentes a seca severa e a seca extrema, respectivamente (ver Quadro 1). A anterior estimação requereu a inversão do procedimento de cálculo dos valores de SPI para o que se recorreu a um conjunto de sub rotinas computacionais (HOSKING, 1996).

Os resultados obtidos estão representados nas Figuras 5 a 8, para o limiar de seca de -1.28 (seca severa) e para os SPI1, SPI3, SPI6 e SPI12, respectivamente, e nas Figuras 9 a 12, para o limiar de seca de -1.65 (seca extrema) e para aqueles mesmos SPI. Para limitar a extensão do artigo não são apresentados resultados para o limiar de seca de -0.84 (seca moderada). Também não são apresentadas figuras para o SPI24 pois, para além da acentuada uniformidade espacial de valores da precipitação que lhes está associada, julga-se terem interesse discutível na operacionalização da monitorização de secas.

Cada um dos mapas que compõe cada uma das anteriores figuras fornece a distribuição espacial dos valores das precipitações (expressas em milímetros) em dados intervalos de tempo – meses ou grupos de meses identificados no corpo do mapa – abaixo dos quais se considera estar perante episódios de seca, em conformidade com o limiar de seca a que respeita

cada figura. Tratam-se, portanto, de superfícies de **precipitações limiares de seca severa e de seca extrema**. Quando provenientes da inversão do SPI obtêm-se precipitações limiares de seca mensais, sendo que a inversão dos restantes SPI conduz a precipitações limiares de seca acumuladas em grupos de três, seis ou doze meses, de acordo com as diferentes escalas temporais do índice. As superfícies equivalentes para seca moderada não foram incluídas pela razão antes apontada.

Para construir as anteriores superfícies de precipitação aplicou-se a técnica de interpolação espacial IDW (*Inverse Distance Weighting*) às precipitações limiares de seca obtidas por inversão do SPI às diferentes escalas temporais nos 144 postos que sustentaram o estudo e cuja localização esquemática foi também incluída nas Figuras 5 a 12. O expoente adoptado na aplicação da anterior técnica de interpolação foi fixado em dois.

Para facilitar a consulta, os mapas de cada figura têm subjacente uma organização temporal que remete para o ano civil. Assim, as Figuras 5 e 9 fornecem, as precipitações em cada um dos meses de Janeiro a Dezembro abaixo das quais se está perante uma seca severa (SPI de -1.28), no caso da Figura 5, e uma seca extrema (SPI de -1.64), no caso da Figura 9. As restantes figuras (Figuras 6 a 8 e 10 a 12) fornecem, como mencionado, precipitações acumuladas no período de k meses consecutivos (com k igual a três, seis ou doze em correspondência com a escala temporal do SPI, designadamente, SPI3, SPI6 e SPI12) com início nos sucessivos meses do calendário do ano civil. Resultam, assim, sempre doze mapas por figura, sendo que no corpo de cada mapa se explicita o mês ou o período de meses consecutivos a que respeita a precipitação limiar de seca severa (Figuras 5 a 8) e de seca extrema (Figuras 10 a 12).

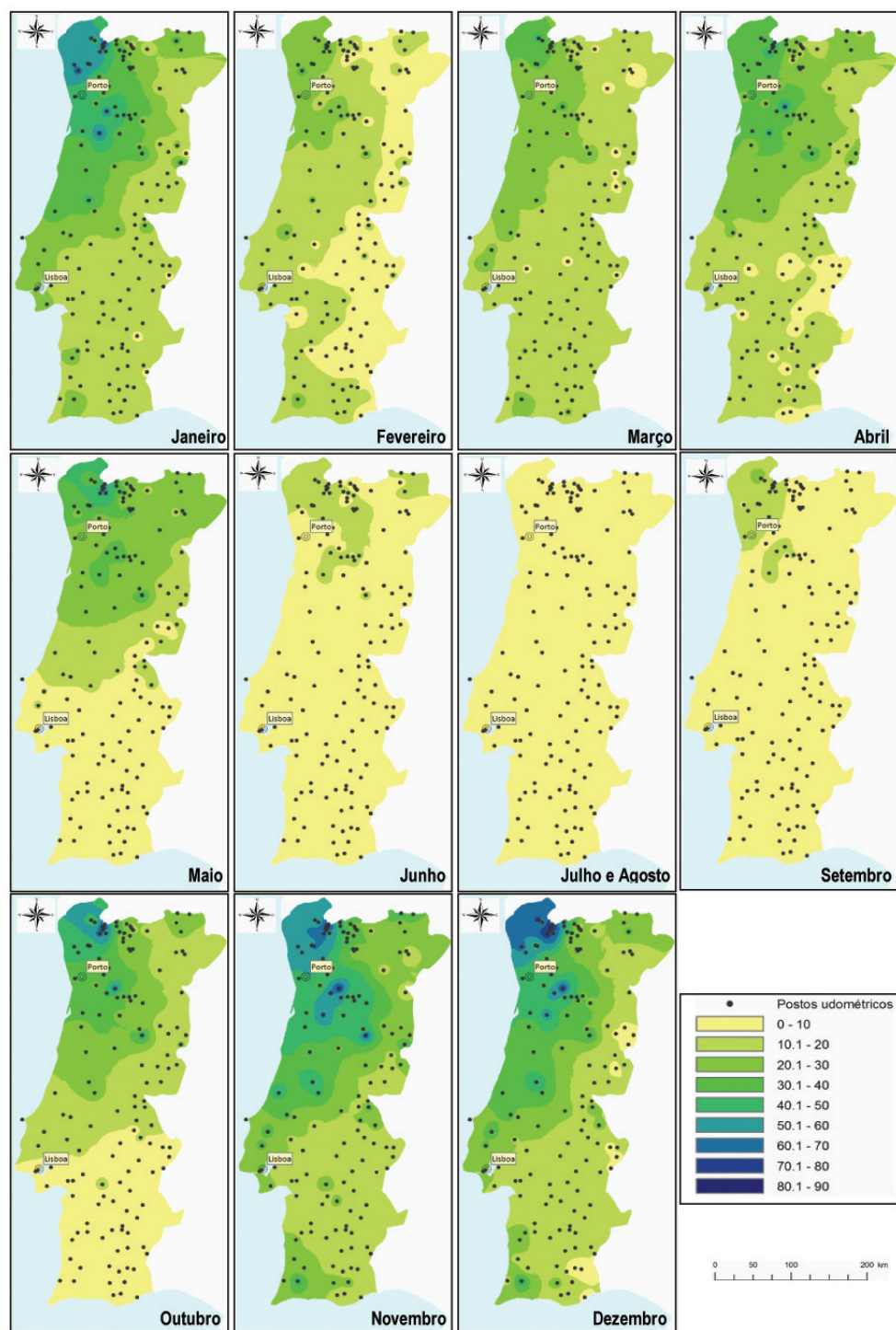


Figura 5 – Inversão de SPI1=-1.28. Superfícies das precipitações mensais (expressas em mm) correspondentes ao limiar de seca severa.

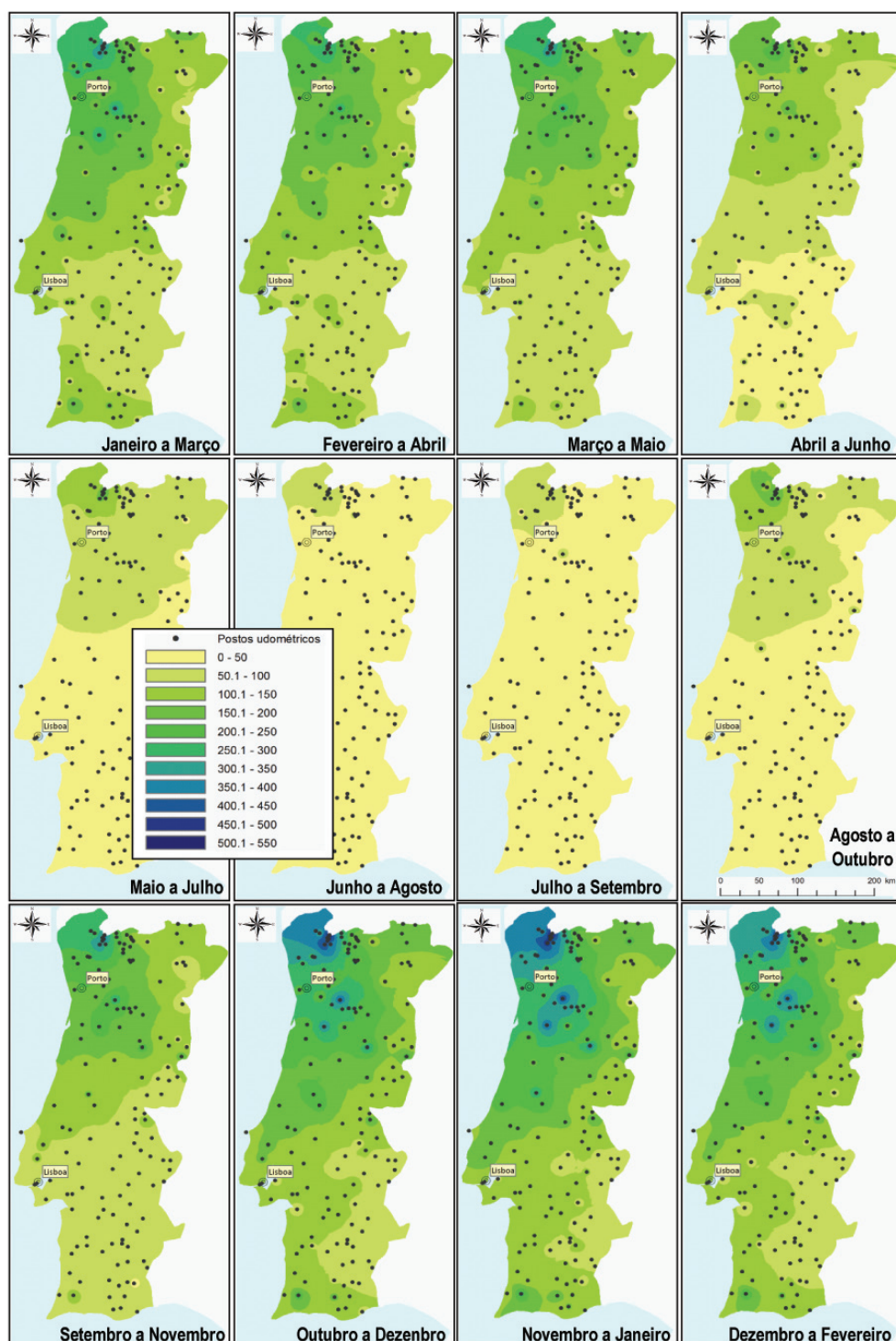


Figura 6 – Inversão de SPI3=-1.28. Superfícies das precipitações em períodos de três meses consecutivos (expressas em mm) correspondentes ao limiar de seca severa.

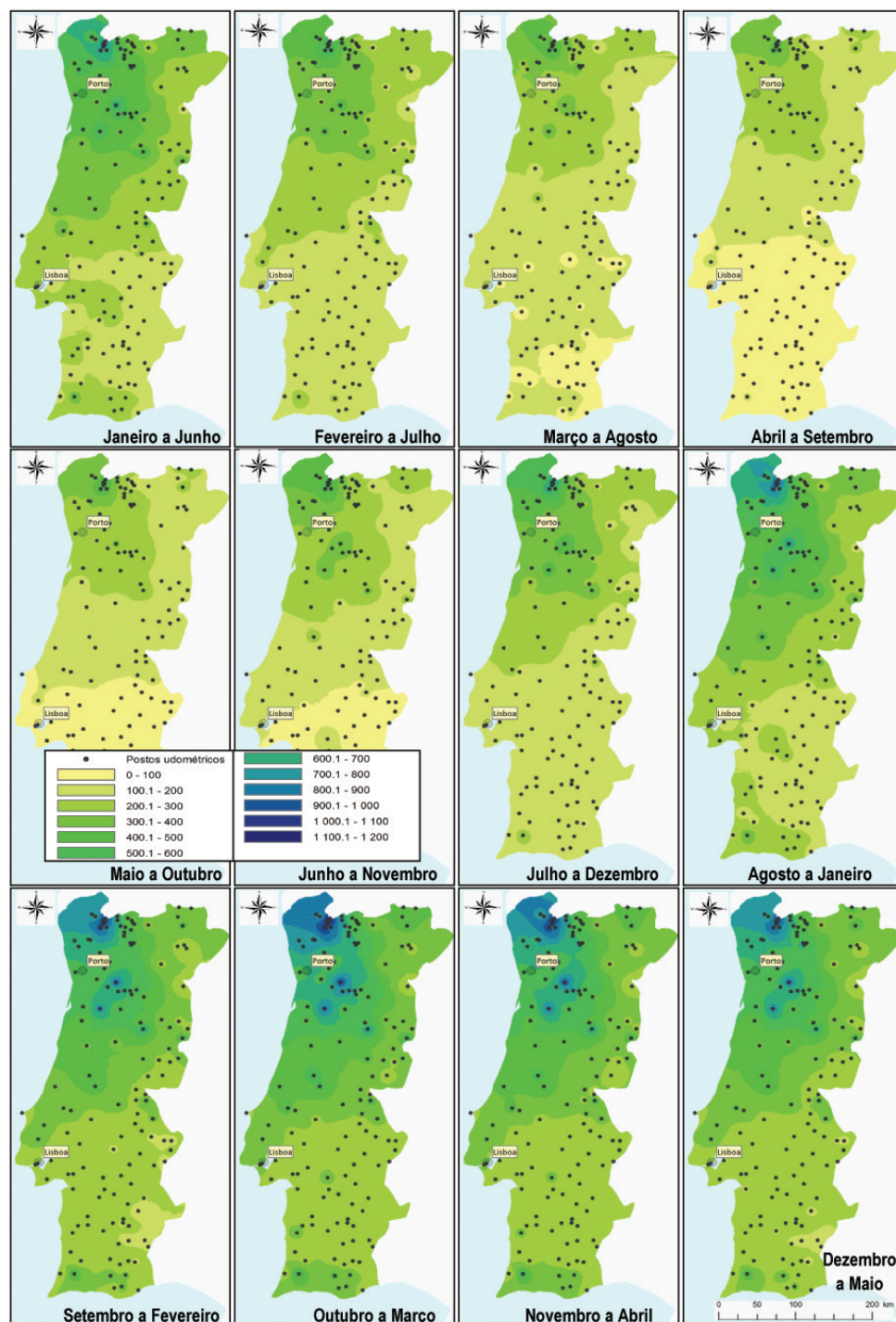


Figura 7 – Inversão de SPI6=-1.28. Superfícies das precipitações em períodos de seis meses consecutivos (expressas em mm) correspondentes ao limiar de seca severa.

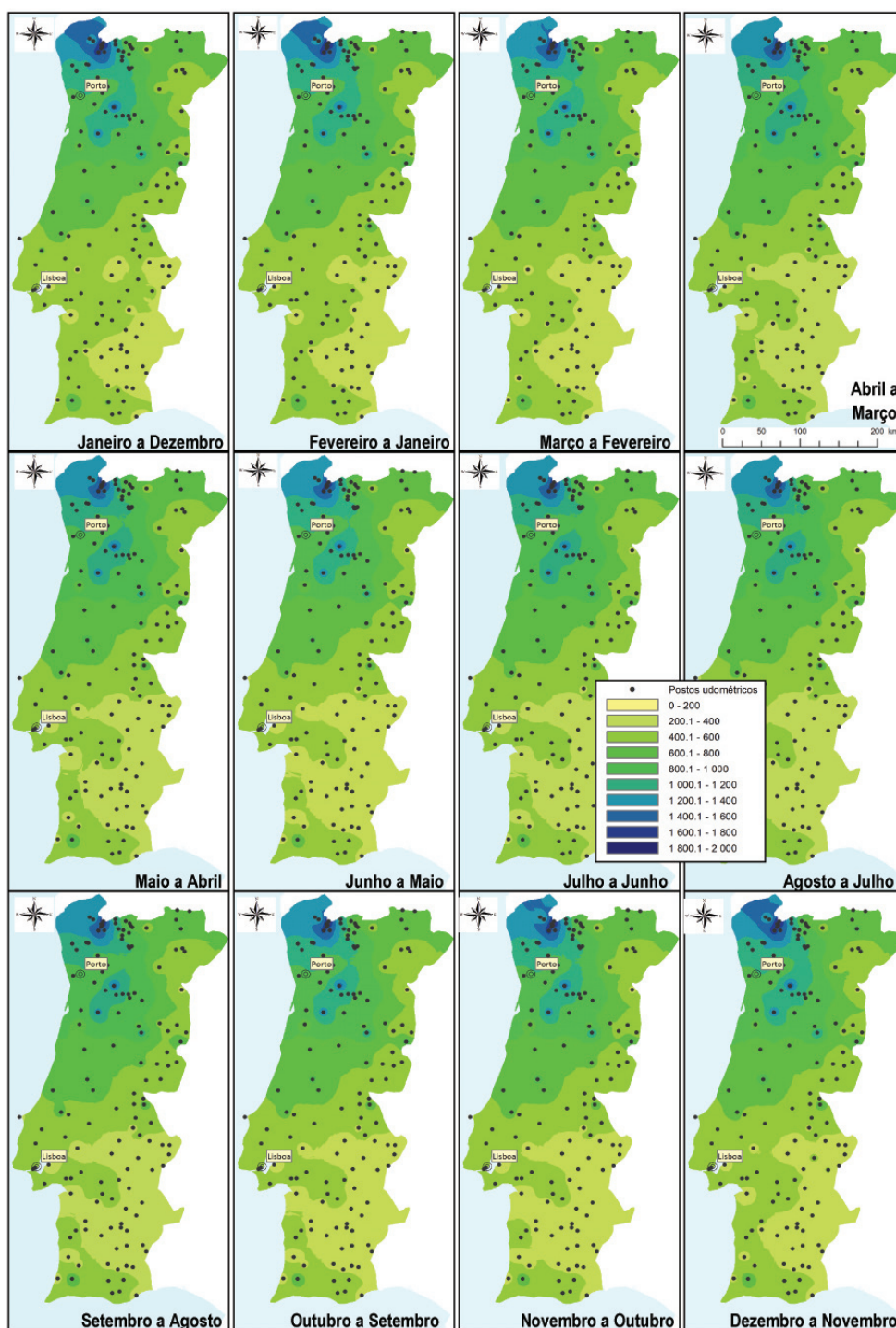


Figura 8 – Inversão de SP12=-1.28. Superfícies das precipitações em períodos de doze meses consecutivos (expressas em mm) correspondentes ao limiar de seca severa.

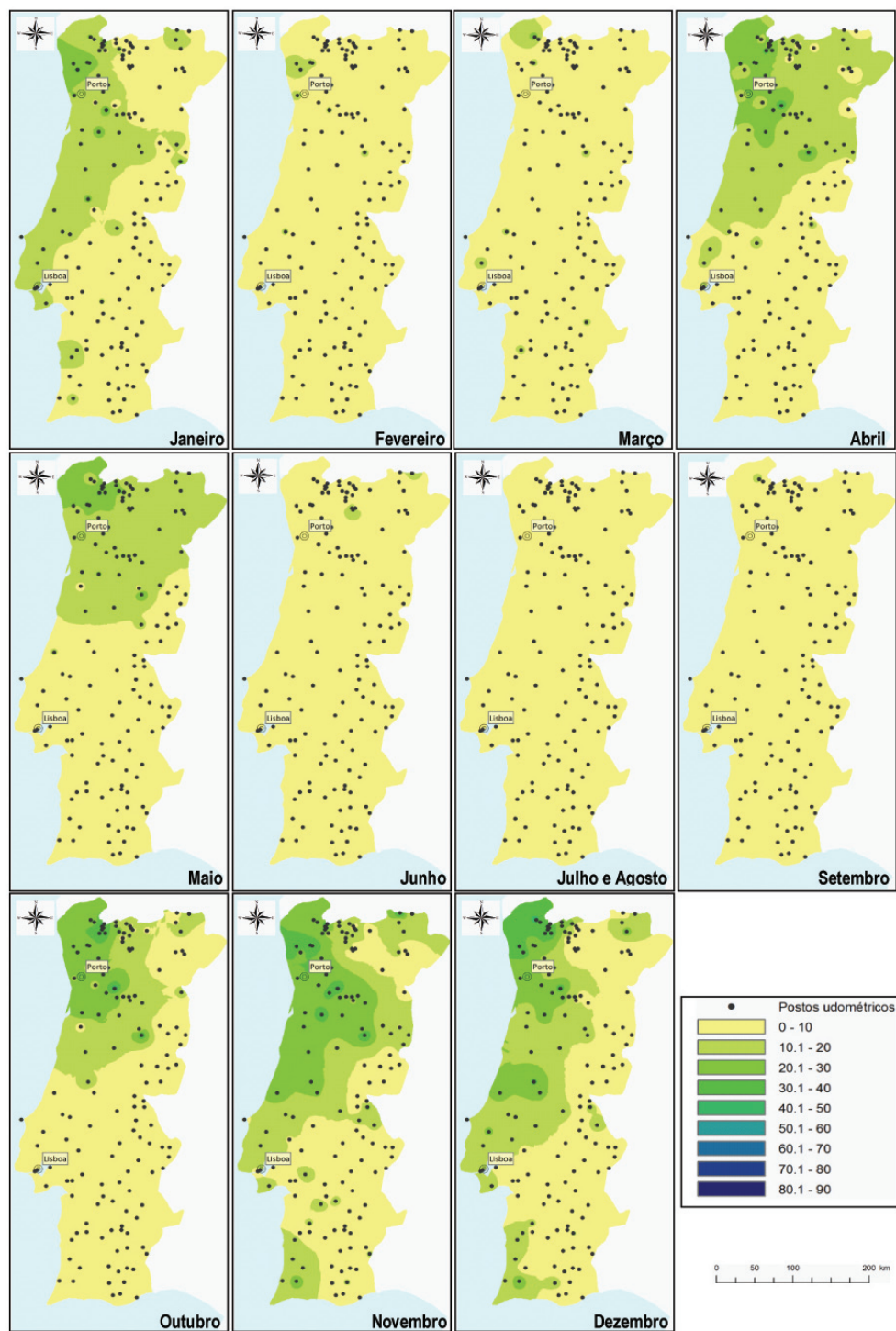


Figura 9 – Inversão de $SPI1=-1.65$. Superfícies das precipitações mensais (expressas em mm) correspondentes ao limiar de seca extrema.

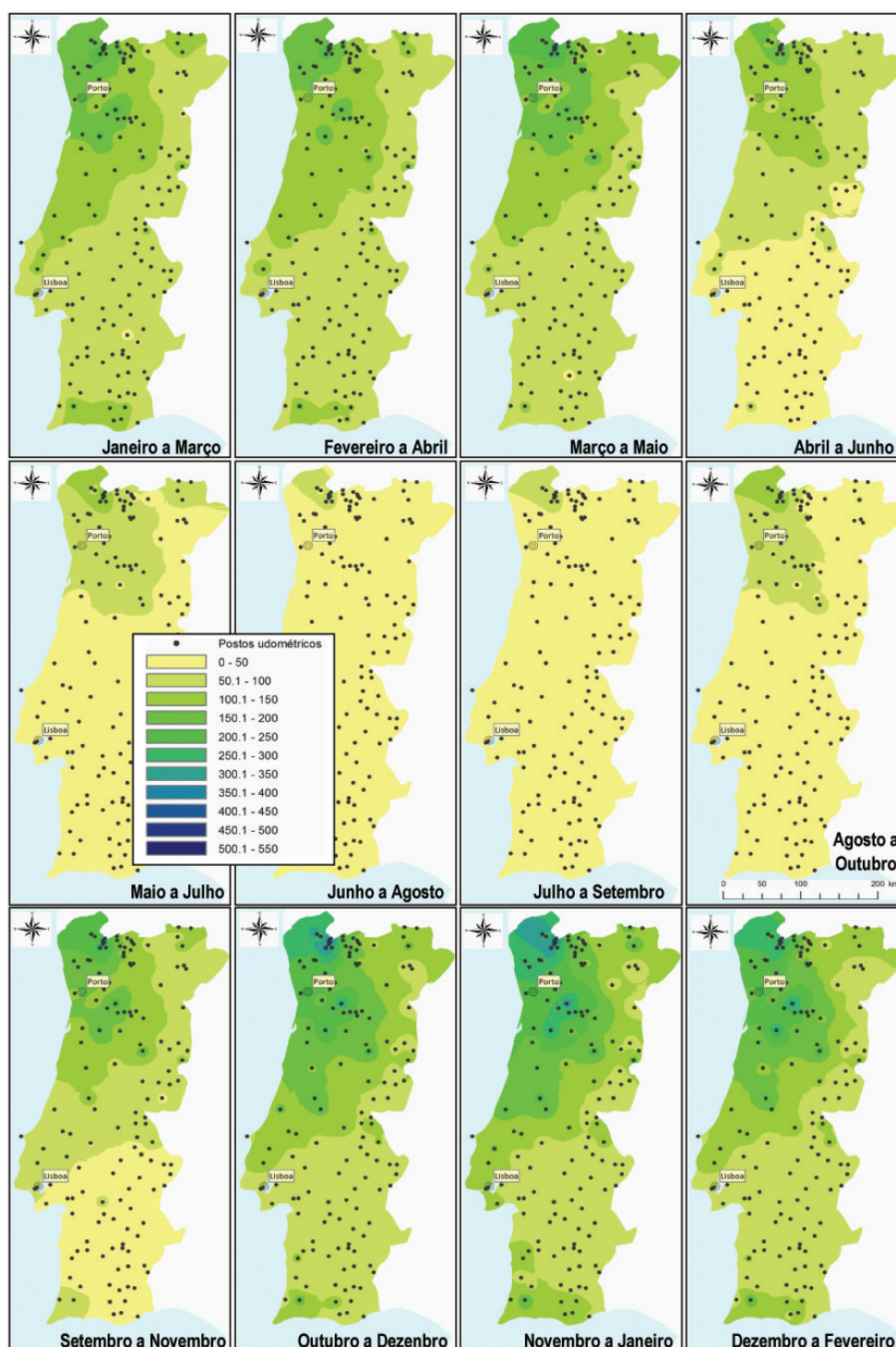


Figura 10 – Inversão de $SPI3 = -1.65$. Superfícies das precipitações em períodos de três meses consecutivos (expressas em mm) correspondentes ao limiar de seca extrema.

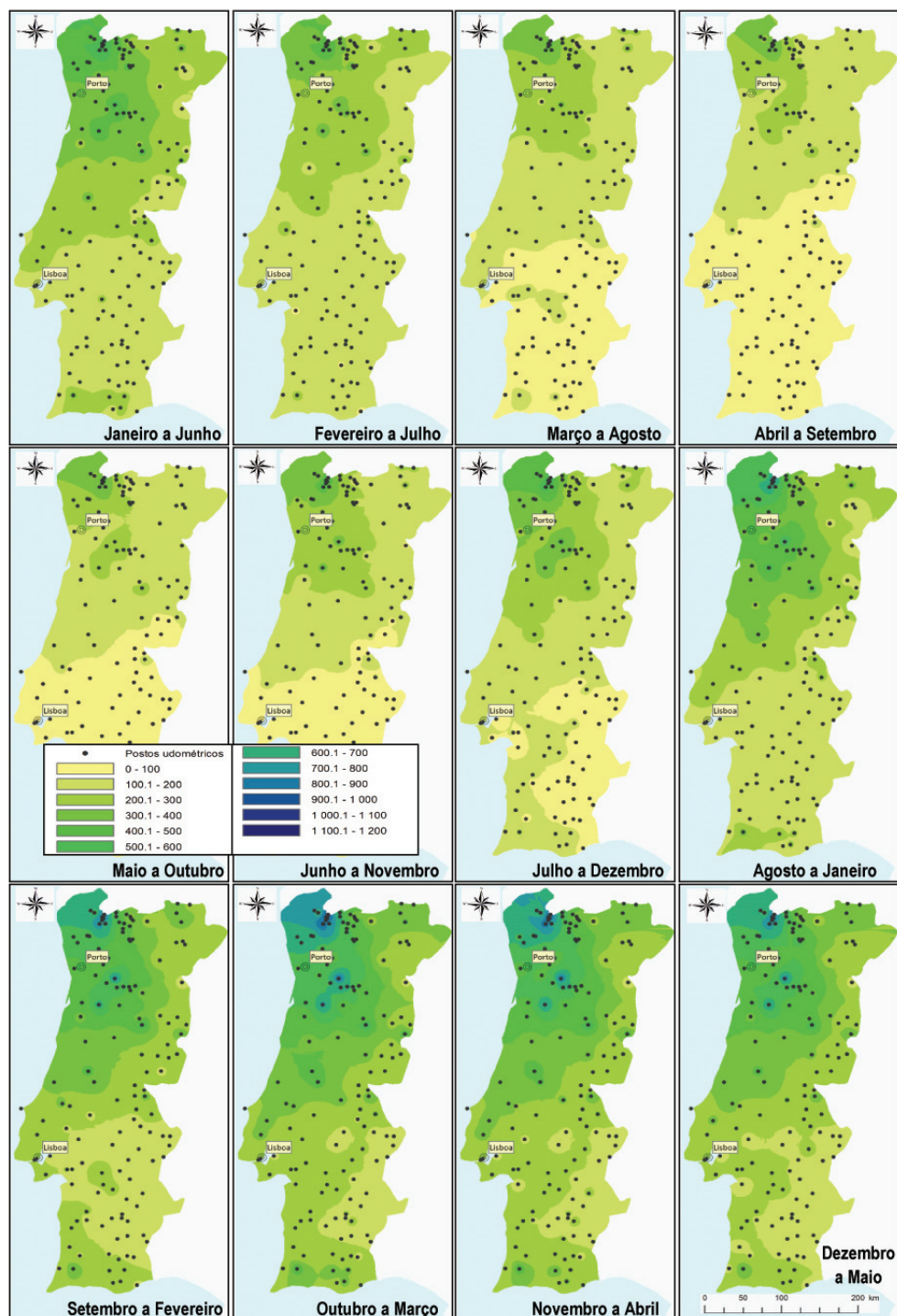


Figura 11 – Inversão de SPI6=-1.65. Superfícies das precipitações em períodos de seis meses consecutivos (expressas em mm) correspondentes ao limiar de seca extrema.

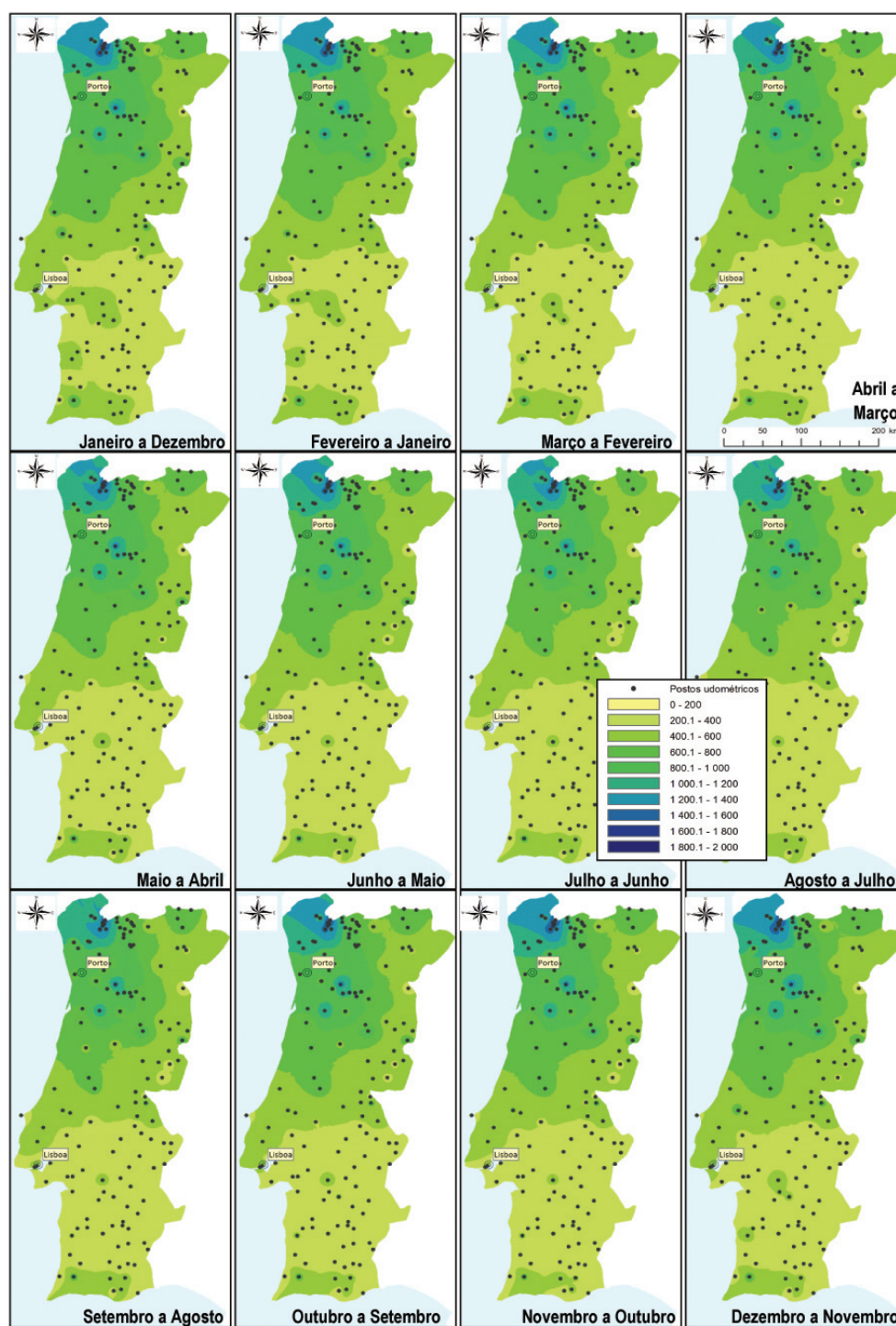


Figura 12 – Inversão de $SPI_{12} = -1.65$. Superfícies das precipitações em períodos de doze meses consecutivos (expressas em mm) correspondentes ao limiar de seca extrema.

Observa-se que, de modo a evidenciar o efeito das duas categorias da seca consideradas, as legendas de cada duas figuras respeitantes a uma mesma escala temporal do SPI, ou seja, a um mesmo número de meses de cálculo das precipitações – Figuras 5 e 9, Figuras 6 e 10, Figuras 7 e 11 e Figuras 8 e 12 – têm as mesmas classes de precipitação, expressas em milímetros. Obviamente que ao se passar de uma situação de uma seca severa (limiar de -1.28) para uma de seca extrema (limiar de -1.65) diminuem os valores das precipitações mensais e em grupos de meses que levam ao reconhecimento dessa seca.

As Figuras 5 e 9 mostram que à escala mensal existem extensas zonas com precipitações mensais limiares de seca inferiores ou iguais a 10 mm. Nos meses de Julho e de Agosto essas zonas estendem-se a todo o País, conduzindo a uma superfície limiar de seca com o valor constante de 10 mm a qual foi, assim, representada num mesmo mapa. Para obter uma maior discretização da variabilidade espacial dos valores da precipitação seria necessário criar mais classes para precipitações inferiores a 10 mm, o que, contudo, não foi efectuado dado estarem em causa precipitações mensais de tal modo reduzidas que, independentemente de serem da ordem de 10 mm ou inferiores, deverão ter exactamente as mesmas consequências, implicando inexistência de escoamento nos cursos de água e reduzida ou nula humidade armazenada nos solos.

À medida que aumenta a escala temporal do SPI, a sequência dos mapas que compõem cada figura evidencia um padrão espacial da precipitação limiar de seca pouco diferenciado. Tal circunstância é particularmente evidente no caso da maior escala temporal considerada – Figuras 8 e 12 obtidas por inversão do SPI12 – sendo justificada pelo facto, de entre cada dois mapas consecutivos, o período de acumulação da precipitação apenas diferir de dois meses: mês de início do período a que se refere o primeiro mapa e de mês de fim do período a que respeita o segundo mapa.

Julga-se interessante notar que, para qualquer uma das escalas temporais consideradas, a maior disponibilidade hídrica que caracteriza a região noroeste de Portugal (Minho e, em particular, a zona do Gerês) resulta em precipitações mensais e em grupos de meses indicativas da ocorrência de seca mais elevadas do que as precipitações limiares no resto do País. Tal facto decorre do próprio conceito associado ao SPI que reconhece os episódios de seca pelos desvios das precipitações em relação a condições médias e não pelos valores em si dessas precipitações. Assim, uma dada precipitação num dado intervalo de tempo pode indiciar uma situação de seca numa zona em que habitualmente haja maior disponibilidade hídrica

e uma situação de relativa abundância hídrica, numa zona permanentemente mais árida.

Por fim, o Quadro 2 exemplifica, à data de elaboração do presente artigo (Outubro de 2012), uma aplicação prática dos resultados da inversão do índice de precipitação padronizada aos postos udométricos identificados no quadro, esquematicamente localizados na Figura 13.

Os únicos critérios que precederam a selecção dos seis postos udométricos do Quadro 2 e da Figura 13 foram o de se incluírem no conjunto dos 144 postos que têm vindo a sustentar o estudo das secas e de dispor de registos de precipitação mensal num período de 12 meses antecedendo o mês anterior ao da elaboração do presente artigo, ou seja, dispor de precipitações mensais entre Outubro de 2011 e Setembro de 2012 (inclusive), de modo a consubstanciarem um exemplo de aplicação da utilização proposta do SPI tão actual quanto possível.

Os registos mensais de precipitação apresentados no Quadro 2 foram obtidos através da consulta do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, SNIRH. Para além dos registos facultados pelo SNIRH, explicitaram-se, na parte inferior do quadro, as precipitações limiares de seca severa ($SPI = -1.28$) e de seca extrema ($SPI = -1.65$) calculados para o mês de Setembro e para os grupos de três, seis e doze meses finalizando em Setembro de 2012, para o que foi utilizado o programa computacional já antes mencionado. Por fim, a partir dos registos mensais de precipitação, destacaram-se as precipitações de cuja comparação com as precipitações limiares de seca resulta a identificação de um episódio de seca: precipitações em Setembro de 2012 e precipitação acumuladas entre Julho e Setembro de 2012, entre Abril e Setembro de 2012 e entre Outubro de 2011 e Setembro de 2012.

No Quadro 2, uma célula sombreada a verde indica ausência de seca no período de tempo a que se refere; sombreada a amarelo ou a laranja identifica a ocorrência de uma seca, respectivamente, severa ou extrema, detectada pelo facto de a precipitação no período de tempo a que a célula respeita ser inferior à precipitação limiar de seca severa ou extrema aplicável a esse período. Observa-se que a Figura 13 que contém a localização esquemática dos postos do Quadro 2 utilizou os mapas das Figuras 5 e 9 relativos ao mês de Setembro e aos dois limiares de seca.

Para além de evidenciar que a utilização proposta do índice SPI é bastante expedita, o Quadro 2 indica de modo claro que, ao aumentar-se a escala temporal, o défice de precipitação no período finalizando em Setembro de 2012 se acentua de tal modo que, à escala de seis meses, quatro dos seis postos analisados indicam

Quadro 2 – Exemplo da utilização complementar do SPI à detecção de secas em Setembro de 2012 em seis dos postos udométricos esquematicamente localizados nas Figuras 1 e 5 a 13.

			Postos udométricos - nome e código					
			Ladoeiro (14N/02UG)	Moinhola (22F/03C)	São Brás de Alportel (31J/01C)	São Manços (23K/01UG)	Vale do Peso (17L/02UG)	Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG)
Coordenadas cartográficas (sistema Hayford Gauss Militar)			274231.0 317972.0	157884.0 179748.0	221010.0 21895.0	233390.0 165986.0	241838.6 264300.4	123280.2 172472.2
Precipitações mensais	Outubro		46.8	63.7	57.5	0.4	60.0	0.0
	Novembro		126.9	33.5	52.4	0.0	41.1	0.0
	Dezembro		13.5	53.9	0.8	0.0	11.6	0.0
	Janeiro/2012		7.5	11.1	0.1	0.7	20.3	0.0
	Fevereiro		0.7	2.2	8.2	6.3	0.8	0.0
	Março		1.5	1.9	10.0	11.3	0.8	60.8
	Abril		29.0	0.0	2.3	3.1	53.2	50.8
	Maio		49.5	0.0	3.6	2.8	46.7	0.0
	Junho		0.2	0.0	0.3	0.2	1.7	0.0
	Julho		0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0
Agosto		6.6	0.2	0.8	1.2	8.6	4.9	
Setembro		28.5	0.2	8.9	2.7	1.2	0.0	

			Postos udométricos - nome e código						
			Ladoeiro (14N/02UG)	Moinhola (22F/03C)	São Brás de Alportel (31J/01C)	São Manços (23K/01UG)	Vale do Peso (17L/02UG)	Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG)	
Monitorização de secas em Setembro de 2012 baseada nos valores de SPI1, SPI3, SPI6 e SPI12	Limiar de seca de -1.28 (seca severa)	Setembro/2012 (SPI1)	Precipitação limiar de seca (mm)	1.4	0.0	0.0	1.1	0.4	0.0
			Precipitação registada (mm)	28.5	0.2	8.9	2.7	1.2	0.0
		Julho a Setembro/2012 (SPI3)	Precipitação limiar de seca (mm)	9.4	4.3	0.0	4.5	7.9	2.3
			Precipitação registada (mm)	35.1	0.4	10.0	3.9	10.1	4.9
		Abril a Setembro/2012 (SPI6)	Precipitação limiar de seca (mm)	99.1	83.0	52.2	65.5	108.0	75.4
			Precipitação registada (mm)	113.8	0.4	16.2	10.0	111.7	55.7
		Outubro/2011 a Setembro/2012 (SPI12)	Precipitação limiar de seca (mm)	418.1	426.4	509.7	348.7	510.7	432.7
			Precipitação registada (mm)	310.7	166.7	145.2	28.7	246.3	116.5
	Limiar de seca de -1.64 (seca extrema)	Setembro/2012 (SPI1)	Precipitação limiar de seca (mm)	1.4	0.0	0.0	1.1	0.4	0.0
			Precipitação registada (mm)	28.5	0.2	8.9	2.7	1.2	0.0
		Julho a Setembro/2012 (SPI3)	Precipitação limiar de seca (mm)	4.8	0.7	0.0	1.9	0.0	0.0
			Precipitação registada (mm)	35.1	0.4	10.0	3.9	10.1	4.9
		Abril a Setembro/2012 (SPI6)	Precipitação limiar de seca (mm)	75.9	66.7	35.1	49.5	86.4	60.0
			Precipitação registada (mm)	113.8	0.4	16.2	10.0	111.7	55.7
		Outubro/2011 a Setembro/2012 (SPI12)	Precipitação limiar de seca (mm)	370.6	375.8	443.0	302.5	455.2	380.6
			Precipitação registada (mm)	310.7	166.7	145.2	28.7	246.3	116.5

	Precipitações acima do limiar de seca - Sem ocorrência de seca.
	Precipitações abaixo do limiar de seca severa - Ocorrência de seca severa
	Precipitações abaixo do limiar de seca extrema - Ocorrência de seca extrema

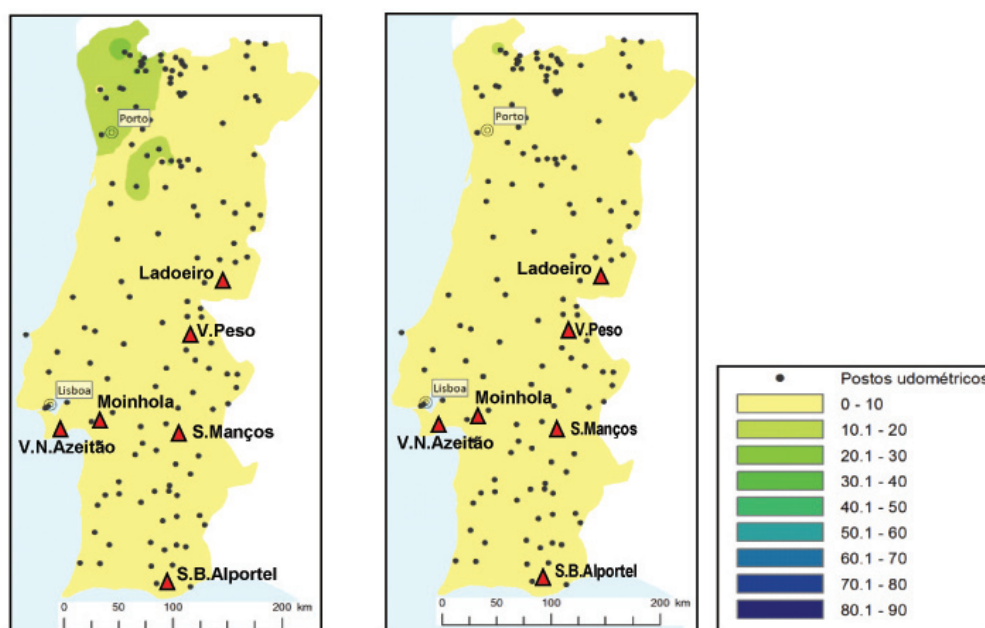


Figura 13 – Localização esquemática dos seis postos udométricos objecto do Quadro 2 sobre os mapas de precipitações limiares de seca severa (à esquerda) e de seca extrema (à direita) relativos ao mês de Setembro. (SPI1 para Setembro).

episódios de seca extrema, os quais passam a ocorrer em todos os postos, ao progredir-se para a escala de 12 meses. O facto de o défice de precipitação se acentuar com a escala temporal indica que a ausência de precipitação necessariamente terá reflexos ao nível da escassez de água nos escoamentos superficiais e nos reservatórios artificiais (albufeiras) (seca hidrológica). Obviamente que as anteriores observações respeitam estritamente à aplicação efectuada, não podendo ser generalizada para além desse contexto.

A utilização proposta do SPI permite ainda dar respostas a outras questões especialmente pertinentes na gestão de situações de seca, tais como qual a probabilidade de se recuperar de uma dessas situações.

Considerando, por exemplo, o posto São Manços (23K/01UG), tal questão poderia ser colocada nos seguintes termos: tendo por base o SPI3, qual a probabilidade de, nos dois meses que se seguem a Setembro de 2012, se recuperar da situação de seca? Sabendo que, para SPI3, os limiares de seca severa nesse posto são de 20.5 mm, no período entre Agosto a Outubro, e de 61.2 mm, entre Setembro a Novembro, respectivamente, e atendendo às precipitações apresentadas no Quadro 2 para os meses de Agosto

e Setembro (1.2 e 2.7 mm, respectivamente) a questão a que se pretende responder pode ser expressa nos seguintes termos: qual a probabilidade de a precipitação de $20.5 - 1.2 - 2.7 = 16.61$ mm ser igualada ou excedida no mês de Outubro de 2012 ou ainda qual a probabilidade de a precipitação de $61.2 - 2.7 = 58.5$ mm ser igualada ou excedida no período de Outubro a Novembro de 2012.

Embora as respostas a estas questões careçam necessariamente de investigação adicional, mediante o recurso a probabilidades condicionadas, no pressuposto de precipitações em meses ou grupos de meses independentes entre si, as probabilidades que se obtêm são da ordem de 82 e 91%, o que sugere, com algum conforto, a possibilidade de recuperação do episódio de seca meteorológica a que se assiste em Setembro de 2012. As anteriores probabilidades foram estimadas considerando de modo separado a precipitação em Outubro e a precipitação acumulada nos meses de Outubro e Novembro, por inversão da função de distribuição lei da Pearson III, tendo em conta os parâmetros estimados para cada um daqueles períodos de tempo a partir da correspondente amostra de 94 anos (de 1910/11 a 2003/04).

Importa contudo anotar que a seca, especialmente quando monitorizada apenas com base na precipitação, se reveste de especificidades muito particulares pois, pelo menos às menores escalas temporais, poderá considerar-se como tendo finalizado se ocorrer uma precipitação apreciável, mesmo que essa precipitação seja muito concentrada no tempo e ocasione essencialmente escoamento superficial, portanto, sem dar oportunidade para a recarga dos demais reservatórios de água, com ênfase para o solo e para as reservas subterrâneas.

Por fim, regista-se que o anterior exemplo de aplicação incidiu sobre postos para os quais haviam sido explicitamente calculadas as precipitações limiares de seca, através do programa de cálculo para o efeito desenvolvido. Por regra tal não acontecerá, pelo que, para se concluir se se está ou não perante um episódio de seca, será necessário comparar as precipitações acumuladas nos períodos de tempo considerados obtidas a partir de registos com as precipitações limiares de seca fornecidas por consulta das superfícies das Figuras 5 a 12.

NOTA FINAL

Tendo por base a caracterização de secas utilizando o índice de precipitação padronizada, SPI (*Standardized Precipitation Index*), propõe-se uma nova aplicação desse índice que resultou na obtenção de superfícies de **precipitação limiar de seca** que, para o território de Portugal Continental, fornecem, mês a mês, os limiares da precipitação mensal e acumulada em grupos de meses conducentes à identificação expedita de potenciais situações de seca severa e de seca extrema.

A finalizar, anota-se que a monitorização das situações de seca, incluindo a necessária actualização das superfícies de precipitação que compõem as Figuras 5 a 12 por inclusão de mais registos, requer a manutenção da rede de monitorização da precipitação. Tal observação aplica-se, obviamente, às redes de monitorização de outras variáveis hidrológicas, nunca sendo demais anotar que é fundamental dispor de amostras longas e de boa qualidade de modo a validar os modelos hidrológicos e, assim, assegurar a fiabilidade dos seus resultados.

BIBLIOGRAFIA

AGNEW, C.T., 2000. Using the SPI to identify drought. *Drought Network News* 12:6-12.

GUTTMAN, N.B., 1999. "Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm", *Journal of the American Water Resources Association*, 35, 311-322.

HAYES, M.; WILHITE, D.A.; SVODOBA, M.; VANYARKHO, O., 1999. "Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index", *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 80, 429 - 438, doi:10.1175/1520-0477, 080<0429:MTDUTS>2.0.CO;2.

HOSKING, J.R.M., 1996. "Fortran code written for inclusion in IBM research report RC20525. Fortran routines for use with method of L-moments", IBM Research Division, T.J. Watson Research Center, New York, USA.

LÓPEZ-MORENO, J.I.; VICENTE-SERRANO, S.M.; BEGUERÍA, S.; GARCÍA-RUIZ, J.M.; PORTELA, M.M.; ALMEIDA, A.B., 2009. "Dam effects on droughts magnitude and duration in a transboundary basin: The Lower River Tagus, Spain and Portugal", *Water Resources Research*, 45, W02405, doi:10.1029/2008WR007198.

McKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J., 1993. "The relationship of drought frequency and duration to time scales", in *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, American Meteorology Society*, 179-184.

NTALE, H.K.; GAN, T., 2003. "Drought indices and their application to East Africa", *International Journal of Climatology*, 23, 1335-1357.

PORTELA, M.M.; SANTOS, J.F., 2010a. "Caracterização de secas em bacias hidrográficas de Portugal Continental: aplicação do índice de precipitação padronizada, SPI, a séries de precipitação e de escoamento", *10º Congresso da Água*, 18 pp., Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), Alvor.

PORTELA, M.M.; SANTOS, J.F., 2010b. "Caracterização de secas por aplicação do índice de precipitação padronizada, SPI, a séries de precipitação e de escoamento: casos de estudo em Portugal Continental", 15 pp., *XXIV Congresso Latino-Americano de Hidráulica*, Punta del Este, Uruguay.

SANTOS, J.F.; PORTELA, M.M., 2008. Quantificação de tendências em séries de precipitação mensal e anual em Portugal Continental, *Seminário Ibero-Americano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano SEREA*, 8, Lisbon, Portugal.

SANTOS, J.F.; PULIDO-CALVO, I., PORTELA, M.M., 2010a. "Spatial and Temporal Variability of Droughts in Portugal", *Water Resources Research*, 46, W03503, DOI:10.1029/2009WR008071.

SANTOS, J.F., PULIDO-CALVO, I., PORTELA, M.M., 2010b. "Variabilidade Temporal e Espacial das Secas em Portugal Continental", *10º Congresso da Água*, 18 pp., Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), Alvor.

- SANTOS, J.F.; PORTELA, M.M.; PULIDO-CALVO, I., 2011a. "Regional frequency analysis of droughts in Portugal", *Water Resources Management*, 25(14), p. 3537-3558, DOI 10.1007/s11269-011-9869-z.
- SANTOS, J.F.; PORTELA, M.M.; PULIDO-CALVO I., 2011b. "Regional Frequency Analysis of Droughts: Portuguese Case". *International Conference on Ecohydrology and Climate Change*. EcoHCC11-75, Tomar, Portugal (poster).
- SANTOS, J.F.; PORTELA, M.M.; PULIDO-CALVO I., 2012a. "Dimensionality reduction in drought modeling". *Hydrological Processes*. DOI:10.1002/hyp.9300 (IF: 2.488).
- SANTOS, J.F.; PORTELA, M.M.; PULIDO-CALVO I., 2012b. "Spring drought prediction based on winter NAO and global SST in Portugal". *Hydrological Processes* (accepted, under revision), (IF: 2.488).
- VICENTE-SERRANO, S.M. 2005. *Las sequías climáticas en el valle medio del Ebro: Factores atmosféricos, evolución temporal y variabilidad espacial*, in serie investigación 49, Publicaciones de Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza, Spain.
- VICENTE-SERRANO, S. M., 2006a. "Spatial and temporal analysis of droughts in the Iberian Peninsula (1910-2000)", *Hydrological Sciences Journal*, 51(1), 83-97.
- VICENTE-SERRANO, S.M., 2006b. "Differences in spatial patterns of drought on different time scales: an analysis of the Iberian Peninsula", *Water Resources Management*, 20, 37-60.