APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO PADRONIZADO (SPI) PARA A REGIÃO SUL DO BRASIL (1975 - 2010)

Priscila Bogo Pessini [1] & Vinícius Bogo P. Chagas [2] & Pedro Luiz Borges Chaffe [3]*

Resumo – A ocorrência dos eventos de seca e sua propagação refletem comumente em severos impactos nos sistemas hidrológicos e consequentemente no meio socioeconômico. Dessa forma, é significante a realização de estudos de identificação e caracterização dos eventos de seca, objetivando gerar subsídios para a avaliação de vulnerabilidade e adequada gestão dos recursos hídricos. Na região Sul do Brasil, embora ocorra menor abordagem de estudos dos eventos de seca, o déficit na disponibilidade de água é o principal fator gerador de prejuízos na produção agrícola. Nesse contexto, esse estudo compreende a identificação e análise dos eventos de seca meteorológica no período de 1975 a 2010 para 671 estações pluviométricas, através do cálculo do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) aplicado às escalas de tempo de 24 meses (SPI-24), 12 meses (SPI-12), 9 meses (SPI-9), 6 meses (SPI-6) e 3 meses (SPI-3) de precipitação acumulada. A aplicação do SPI identificou que os anos mais frequentes com eventos de seca de maior duração foram 1979, 1988-1989, 2004 e 2006. Os resultados para o período de 1988-1989 convergiram com a ocorrência do fenômeno La Niña. A região centro-norte da área de estudo apresentou a maior frequência na ocorrência de eventos de seca.

Palavras-Chave – Seca meteorológica; Índice de Precipitação Padronizado (SPI), Região Sul do Brasil.

STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI) APPLICATION TO THE SOUTHERN REGION OF BRAZIL (1975 - 2010)

Abstract – Drought events and it propagation reflect on severe impacts on hydrological systems, and, consequently on socioeconomic components. Therefore, it is important to carry out studies that approach the identification and the characterization of drought events, aiming to generate subsidies for the evaluation of vulnerability and adequate management of water resources. In the southern region of Brazil, although there is a smaller approach to studies of drought events, the deficit in water availability is the main factor generating impacts in agricultural production. In this context, this study approaches the identification and analysis of meteorological drought events between 1975 to 2010 for 671 rainfall stations, through Standardised Precipitation Index computation, applied for time scales of 24 months (SPI-24), 12 months (SPI-12), 9 months (SPI-9), 6 months (SPI-6) and 3 months (SPI-3) of rainfall accumulation period. The SPI application identified that the most frequent years that presented drought events with major durations were 1979, 1988-1989, 2004 and 2006. The results for 1988-1989 period coincide with the occurrence of La Niña. The centre-north region of the study area presented the highest frequency in the occurrence of drought events.

Keywords – Meteorological drought; Standardised Precipitation Index (SPI), Southern Region of Brazil.

[1] Graduanda de Engenharia Santiária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: pri.pessini@gmail.com.
[2] Pós-Graduando de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: vbchagas@gmail.com
[3] Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: pedro.chaffe@ufsc.br

INTRODUÇÃO

Um evento de seca consiste em um período contínuo em que a quantidade de água disponível nos componentes do ciclo hidrológico está abaixo das condições normais. É importante, portanto, a compreensão de que a seca é uma condição relativa, não absoluta, dentro de um sistema hidrológico (VAN LOON, 2015). De acordo com Van Loon e Van Lanen (2013), a seca é um fenômeno causado por processos naturais de caráter climatológico e hidrológico.

Wilhite e Glantz (1985) classificam e identificam quatro diferentes categorias relacionadas aos eventos de seca: hidrológica, meteorológica, agrícola e socioeconômica. A seca meteorológica pode ser definida como o período contínuo em que a quantidade de precipitação está abaixo das condições naturais esperadas para uma determinada região possivelmente combinada ao aumento do potencial de evapotranspiração (VAN LOON, 2015). A deficiência de precipitação de uma determinada região e período pode ser considerada uma condição normal em outra região. Outras categorias de seca são definidas de acordo com os efeitos gerados pela seca meteorológica (OGALLO, 1994).

A análise dos eventos de seca envolve o estudo de séries históricas de chuva, visando estimar a magnitude, a duração e a intensidade de eventos distintos (HEIM et al., 2000). Sendo assim, com a finalidade de identificar quantitativamente e analisar as características dos eventos de seca foram desenvolvidos indicadores ou índices de quantificação e monitoramento de seca. Entre os índices existentes, o SPI é amplamente aplicado globalmente, pois utiliza uma metodologia de cálculo menos complexa, facilitando a aplicação do índice em larga escala.

Nas últimas décadas, a crescente ocorrência de eventos de seca e as dimensões de seus impactos têm gerado um aumento nas pesquisas voltadas ao estudo da seca. No cenário global, em um recente estudo de eventos extremos apresentado em relatório pelo Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas - IPCC, Seneviratne et al. (2012) aponta que existe uma tendência de que, desde a década de 1950, algumas regiões do mundo têm experimentado secas mais severas e longas.

No Brasil, a região Nordeste é conhecida historicamente pela recorrência e severidade de eventos de seca e por ser amplamente estudada na análise deste fenômeno. Recentemente, no período de 2014 a 2016, a região Sudeste do país enfrentou a pior crise hídrica de sua história devido à ocorrência da seca mais severa dos últimos 80 anos, desde o início do registro dos dados pluviométricos. A região Sul do Brasil, ainda que considerada uma região que não apresente estações chuvosas e secas muito bem definidas comparadas às outras regiões, apresenta, pois, alguns eventos expressivos de ocorrência de seca. Lindner (2007) observa que as estiagens, algumas devida ao evento La Niña e outras sem causa identificada, definem o fenômeno meteorológico que causa os maiores impactos negativos na produção agrícola da região Sul do País. Em uma abordagem mais recente, os eventos de seca têm ocorrido com maior frequência na região Sul, como os registros de eventos ocorridos em 2004, 2005 e 2006, período no qual cerca de 450 municípios decretaram situação de emergência (ALBUQUERQUE, 2010). Em 2012, novamente ocorreu um período expressivo de seca na região, o qual foi caracterizado como mais severo do que o ocorrido no período entre 2004 a 2006.

Nesse contexto, o objetivo desse estudo consiste em identificar e analisar a ocorrência dos eventos de seca na região Sul do Brasil através do cálculo do Índice de Precipitação Padronizado (SPI). Nessa análise, foram utilizadas as escalas de tempo de 24 meses (SPI-24), 12 meses (SPI-12), 9 meses (SPI-9), 6 meses (SPI-6) e 3 meses (SPI-3)

.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A área selecionada para realizar o estudo de seca meteorológica compreende toda a região Sul do Brasil (figura 1). A região Sul apresenta uma área de 576.410 km² e é constituída por três estados: Paraná (PR), Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS). De acordo com o IBGE (2010), a população que reside na região Sul corresponde a 27.386.891 habitantes. O clima do Sul do Brasil é predominantemente subtropical, o que caracteriza verões quentes e invernos frios. O regime de precipitação é praticamente uniforme ao longo do ano no sul da região, e apresenta regime de monção no norte da região Sul, em que a maior precipitação mensal ocorre no verão e os invernos são mais secos (CAVALCANTI et al., 2009). As anomalias que caracterizam eventos extremos na região geralmente são associadas à influência dos fenômenos El Niño e La Niña (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998).

A economia da região Sul é baseada principalmente na atividade agrícola, na pecuária e no setor industrial, apresentando também importante representatividade na geração de energia (SANSIGOLO et al., 2004). O uso do solo é variado, apresentando um uso intensivo agrícola na parte norte da região sul, com uma produção voltada principalmente ao cultivo de soja e feijão. Na parte sul e sudoeste a atividade agrícola é voltada para a produção de pasto e arroz irrigado. No centro-norte as áreas de uso agrícola são mescladas por fragmentos de mata Atlântica subtropical secundária. A região costeira é fortemente ocupada por áreas urbanas, pastagens e fragmentos de floresta nativa.

Dados Pluviométricos

Os dados pluviométricos utilizados no presente estudo foram obtidos das séries históricas das estações pluviométricas monitoradas pela Agência Nacional de Águas (ANA), no portal de informações hidrológicas HidroWeb. Foram selecionadas inicialmente 671 estações pluviométricas, distribuídas ao longo dos três estados (figura 1), estabelecendo-se um período contínuo de dados de 1975 a 2010 e uma porcentagem de falhas máxima de 10% da série histórica. Para a seleção das estações utilizou-se uma análise exploratória, na qual foram removidas estações com dados inconsistentes como dados de chuva na quarta ordem de grandeza ou zero no lugar de falha. O preenchimento de falhas foi realizado através da média das três estações mais próximas.

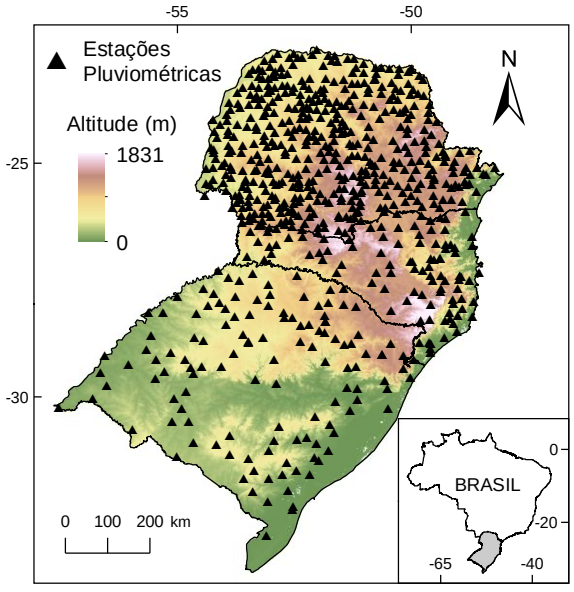

Figura 1 – Área de estudo: Região Sul do Brasil e Estações Pluviométricas utilizadas.

Índice de Precipitação Padronizado (SPI)

O Índice de Precipitação Padronizado (*Standardised Precipitation Index* – SPI) foi selecionado no presente estudo para identificar e caracterizar os eventos de seca meteorológica da região Sul. O índice foi desenvolvido com o objetivo de classificar os dados de precipitação como um valor padronizado de acordo com a probabilidade de ocorrência da chuva (McKee et al., 1993).

O SPI é computado para diferentes escalas de tempo, que consistem em um determinado período cumulativo de chuva. A escala de tempo é aplicada de forma a comparar a precipitação ao longo de determinados períodos em um registro de longo prazo. No presente estudo, as escalas de tempo selecionadas para o cálculo do SPI foram de 24 meses (SPI-24), 12 meses (SPI-12), 9 meses (SPI-9), 6 meses (SPI-6) e 3 meses (SPI-3).

O cálculo do SPI consiste no ajuste dos valores da soma móvel, conforme a escala de tempo selecionada (período de precipitação acumulada), em uma distribuição de probabilidade, geralmente Gama. A distribuição é computada através da aplicação da função de densidade de probabilidade (THOM, 1966):

$$g(x) = \frac{x^{\alpha-1}e^{-x/\beta}}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} \quad (1)$$

onde $\alpha > 0$, α é um parâmetro de forma; $\beta > 0$, β é um parâmetro de escala; $x > 0$, x é o valor da precipitação; e $\Gamma(\alpha)$ é a função Gama. A função de distribuição acumulada Gama é a integral da função de densidade de probabilidade Gama g(x). Assim, integrando a equação (1), tem-se:

$$G(x) = \int_0^x g(x)\,dx = \int_0^x \frac{x^{\hat{\alpha}-1}e^{-x/\hat{\beta}}}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}}\Gamma(\hat{\alpha})}\,dx \quad (2)$$

onde os parâmetros da função cumulativa $G(x)$ são computados de acordo com as equações:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}\right) \quad (3)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\hat{x}}{\hat{a}} \quad (4)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (5)$$

onde n é o numero de observações de precipitação e $\bar{x}$ é a média da amostra de dados. Os valores resultantes da função de distribuição acumulada gama são ajustados ao inverso da distribuição normal com media zero e variância igual a um (GUTTMAN, 1999). A aplicação do inverso da distribuição normal padronizada resulta nos valores de SPI, como representado na equação abaixo.

$$SPI = \Psi^{-1}[G(x)] \quad (6)$$

onde Ψ^{-1} é o inverso da função de probabilidade normal com média zero e variância um.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para SPI-3, SPI-6, SPI-9, SPI-12 e SPI-24 indicam que os anos que apresentaram maior período de seca nas estações estudadas, foram: 1979, 1988-1989, 2004 e 2006. Constatou-se que os anos identificados com maior frequência de ocorrência e duração de seca coincidem com as secas históricas registradas. O período entre 1988-1989 coincide com um dos episódios mais intensos de ocorrência do fenômeno La Niña (CPTEC/INPE, 2017). Entre os anos mais secos identificados, o ano de 2006 apresentou eventos de seca de maior intensidade e com maior frequência nas séries históricas avaliadas.

As diferentes escalas de tempo de SPI convergiram para períodos de seca em comum (figura 2). Ressalta-se que conforme ocorre o aumento da escala de tempo utilizada, os períodos de extrema anomalia são suavizados, fator que se deve à metodologia da soma móvel. Sendo assim, para SPI-3, 83% das estações apresentaram eventos de seca severos com SPI entre -2 e -3; para SPI-6 foram 34% das estações; para SPI-9 foram 19% das estações; para SPI-12 foram 13% das estações e para SPI-24 foram apenas 10% das estações. As escalas de tempo para 3 e 6 meses representam uma análise de curto prazo, cujos efeitos estão relacionados com a umidade do solo (GUTTMAN, 1999) e tem representatividade na seca agrícola. Os resultados obtidos para SPI-9 e SPI-12 foram similares, representando uma análise de seca de longo prazo, podendo ser relacionada com os efeitos na disponibilidade de água superficial e subterrânea (GUTTMAN, 1999).

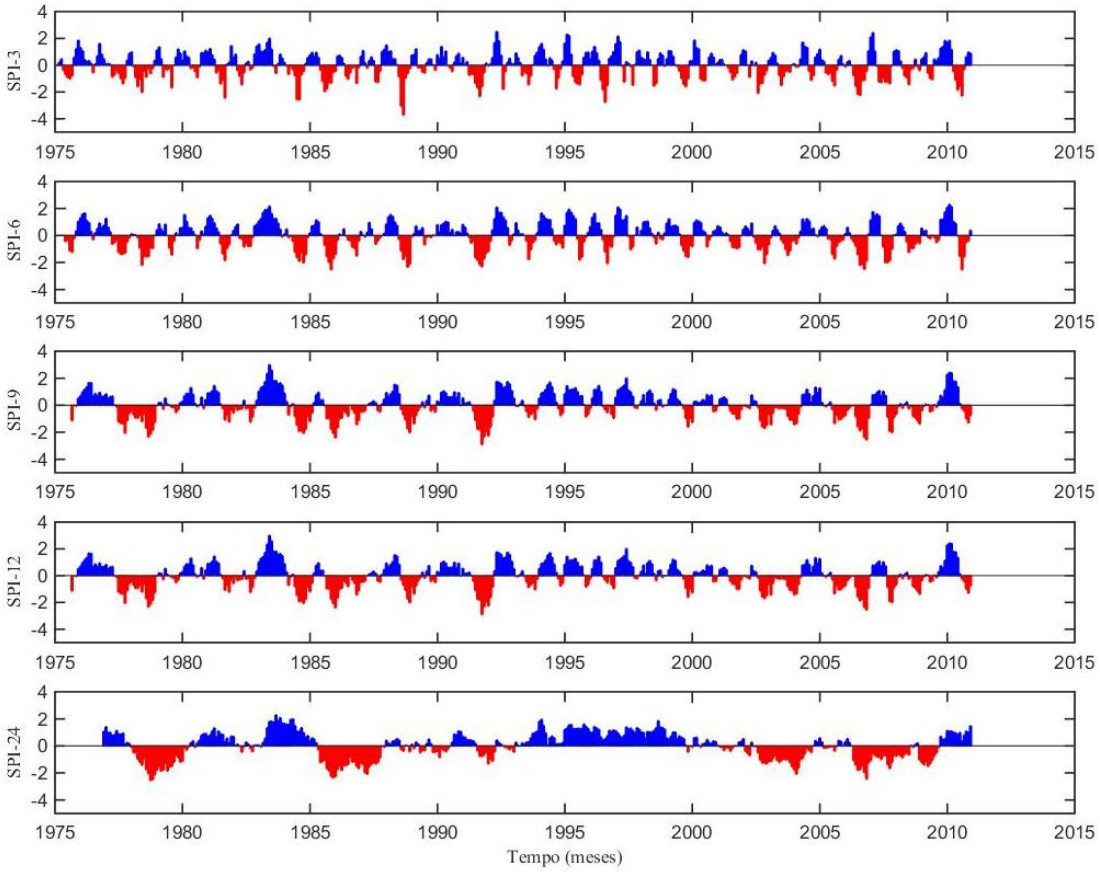

Figura 2 – SPI-3, SPI-6, SPI-9, SPI-12 e SPI-24 para a Estação Pluviométrica Deputado José Afonso (02352052).

A Figura 3 apresenta a interpolação espacial da frequência dos eventos de seca meteorológica ocorridos na região Sul para as diferentes escalas de tempo empregadas. A região que apresenta maiores frequências está localizada no norte do Paraná, fator que pode ser visualizado especialmente para as escalas de tempo de 3, 6 e 9 meses. Essa região é caracterizada por apresentar regime de monção, o que indica uma diferença significativa de precipitação entre o verão e o inverno (CAVALCANTI et al., 2009). Menores índices de precipitação nessa região ocorrem no inverno (estação seca), em que há convergência da umidade horizontal mais ao sul da região Sul. Por essa razão, pode-se concluir que as escalas de tempo de análise de seca de curto prazo representam melhor a ocorrência de eventos no norte da região Sul. A abordagem do índice para escalas de tempo maiores nesse caso torna-se menos aplicável, pois as estações localizadas no norte do Paraná apresentam variabilidade sazonal em que períodos de seca abruptos são precedidos por períodos de cheia, dentro de um intervalo de tempo menor que um ano.

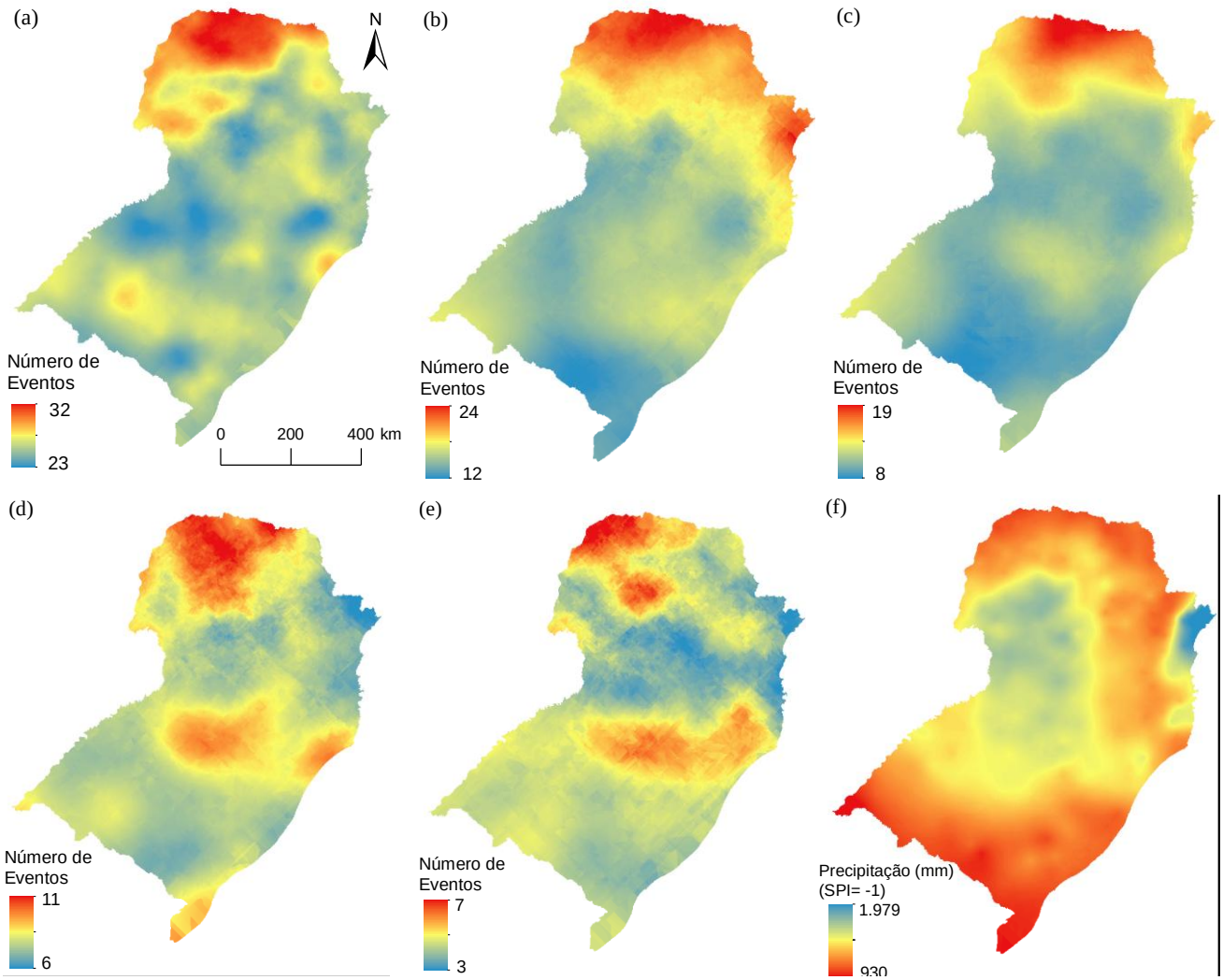

Figura 3 – Distribuição espacial da frequência de eventos de seca meteorológica para (a) SPI-3, (b) SPI-6, (c) SPI-9, (d) SPI-12, (e) SPI-24. (f) Distribuição espacial dos valores limiares (SPI = -1) para SPI-12. A interpolação de (a)-(f) foi realizada usando krigagem.

Em contrapartida, a região sul da área de estudo apresenta um regime de precipitação mais uniforme ao longo do ano, com chuvas mais intensas no inverno. Dessa forma, sugere-se que os eventos de seca são melhores identificados frente à aplicação do SPI para escalas de longo termo, representando as oscilações interanuais. É possível realizar essa avaliação nas estações que apresentaram sucessivos períodos descontínuos de eventos de seca com grande intensidade em curtos intervalos para as escalas de tempo de 3 meses e 6 meses, estes são representados por um período único e contínuo para as escalas de tempo de 9, 12 e 24 meses. Sendo assim, esses períodos de seca são caracterizados como períodos de seca prolongada. De acordo com Tallaksen, Madsen e Clausen (1997), quando ultrapassado o valor limiar sucessivamente em curtos períodos de tempo podem consistir em eventos mutuamente dependentes que representam um único período de seca prolongada. Considerando que a magnitude de um evento de seca é definida proporcionalmente à sua duração, secas prolongadas e que ocorrem com baixa frequência representam um risco maior se comparadas a frequentes eventos ocorridos em curtos períodos de tempo intercalados por períodos úmidos (VICENTE-SERRANO et al., 2004).

As maiores frequências obtidas para SPI-3, SPI-6, SPI-9, SPI-12 e SPI-24 foram respectivamente, 35, 30, 24, 15 e 11 eventos de seca ocorridos, sendo estes identificados em séries históricas de estações pluviométricas localizadas no Paraná. As durações mais longas dos eventos de seca ocorreram entre os anos de 1985 e 1995, resultado este que converge com o período de maior sequência de seca na Bacia do Rio da Prata, em 1988, relacionado à influência de eventos La Niña na região Sul (VARGAS; NAUMANN; MINETTI, 2010).

A interpolação espacial das precipitações correspondentes aos valores limiares de SPI (SPI = -1) mostra que o norte do Paraná e o sul do Rio Grande do Sul como regiões mais secas, resultado esperado e convergente com o mapa de isoietas das precipitações médias anuais (Figura 3 f). Entretanto, é importante acentuar que a região sul do Rio Grande do Sul não apresentou alta frequência de ocorrência de eventos seca, tendo em vista que o cálculo do SPI considera a variação da precipitação baseada na média obtida na série histórica, portanto o índice sugere que não houve frequentes variações em relação às condições normais dessa região. As regiões como sudoeste do Paraná, centro-oeste de Santa Catarina e noroeste do Rio Grande do Sul, apresentaram valores altos de precipitação limiar. Nesse contexto, os eventos de seca identificados nessas regiões poderão não gerar prejuízos significativos em um contexto socioeconômico, considerando a alta taxa de precipitação média anual.

CONCLUSÕES

Utilizando os dados da série histórica no período entre 1975 e 2010 de 671 estações pluviométricas foi possível avaliar as características de ocorrência de eventos meteorológicos na região Sul do Brasil. Dessa forma, através do cálculo do SPI identificou-se que os anos que apresentaram eventos de seca de longa duração com maior frequência foram 1979, 1988-1989, 2004 e 2006. Constatou-se, ainda, que há uma possível relação de ocorrência de eventos de seca e a ocorrência do fenômeno La Niña no período entre 1988-1989.

Considerando a heterogeneidade do regime de precipitações entre região centro-norte e região sul da área de estudo, os resultados obtidos para o SPI nas escalas utilizadas apresentaram padrões distintos nessas regiões. A região centro-norte apresentou maior frequência de ocorrência dos eventos de seca, sendo que as maiores frequências obtidas para SPI-3, SPI-6, SPI-9, SPI-12 e SPI-24 foram respectivamente, 35, 30, 24, 15 e 11 eventos de seca ocorridos na série histórica. Ademais, a distribuição espacial dos valores limiares para SPI=-1 indica as regiões norte do Paraná e sul do Rio Grande do Sul como regiões mais secas. Entretanto, para o centro-oeste da região sul e leste do Paraná obtiveram-se valores altos de precipitação limiar. Sendo assim, nessas regiões a aplicação do SPI deve ser interpretada como identificação das anomalias meteorológicas em relação às condições normais, não necessariamente indicando eventos de seca expressivos.

AGRADECIMENTOS

V.B.P. Chagas agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, T. M. A. (2010). Estudo dos processos de gestão de seca: aplicação no estado do Rio Grande do Sul. 2010. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CAVALCANTI, I. F. A. et. al. (2009), *Tempo e Clima no Brasil*. Oficina de Textos, São Paulo, 463p.

CPTEC/INPE. *Ocorrência do La Niña*. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 15 maio 2017.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. (1998). Precipitation anomalies in Southern Brazil associate with El Nino and La Nina events. *Journal of Climate*. 11(11), pp. 2863-2880.

GUTTMAN, N. B. (1999). Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*. 35(2), pp. 311-322.

HEIM, R. R. et al. (2000). Drought indices: a review. *Drought: a global assessment*, pp. 159-167.

LINDNER E.A. et al (2007). Análise dos desastres naturais de excesso e de escassez hídrica decretados na bacia rio do Peixe, SC/Brasil. In: *Jornadas Internacionales sobre Gestión del Riesgo de Inundaciones y Deslizamientos de Laderas.* Disponível em:< http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/0%20Lindner_Kobyiama_etal_prohimet0507.pdf>. Acesso em: 03 out. 2016.

MCKEE, T. B. et al. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. Boston, pp. 179-183.

OGALLO, L. A. (1994). Drought and desertification: an overview. *Bulletin of the World Meteorological Organization*, 1 (43), pp. 18-21.

SANSIGOLO, C. A.; PEREIRA, C. S.; SILVA, I. R. (2004). Relações entre as precipitações regionais no Sul do Brasil e as temperaturas das superfícies dos Oceanos Atlântico e Pacífico. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 19(1).

SENEVIRATNE, S. I. et al. (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*, pp. 109-230.

TALLAKSEN, L. M.; MADSEN, H.; CLAUSEN, B. (1997). On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume. *Hydrological Sciences Journal*. 42(1), pp. 15-33.

THOM, H. C. S. (1966). *Some methods of climatological analysis*. Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, 53 p.

VAN LOON, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*. 2(4), pp. 359-392.

VARGAS, W. M.; NAUMANN, G.; MINETTI, J. L. (2010). Dry spells in the River Plata Basin: an approximation of the diagnosis of droughts using daily data. *Theoretical And Applied Climatology***,** 104(1-2), pp.159-173.

VICENTE-SERRANO, S. M. et al. (2004). Drought patterns in the Mediterranean area: the Valencia region (eastern Spain). *Climate Research*. 26, pp. 5-15.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. (1985). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10(3), pp. 111-120.