



Dinâmica temporal em múltiplas escalas de tempo dos eventos secos e chuvosos no sudeste do Brasil

Sérgio Rodrigo Quadros dos Santos¹, Clovis Angeli Sansigolo² e Ana Paula Paes dos Santos³

^{1,3}Doutorandos no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – São José dos Campos-SP; (autor correspondente)

¹ Email: sergiosanantos@yahoo.com.br ²Pesquisador titular do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – São José dos Campos-SP.

Artigo recebido em 02/08/2016 e aceito em 10/08/2016

RESUMO

O Sudeste do Brasil é uma região intrinsecamente dependente do regime pluviométrico, visto que, este subsidia diversos setores da economia, como a agricultura e hidrelétricas, tornando de grande importância o estudo desta variável, a fim de prover a identificação e compreensão de sua dinâmica ao longo do tempo. Desta forma, nesta pesquisa objetivou-se analisar a dinâmica temporal dos eventos extremos secos e chuvosos mais expressivos no Sudeste do Brasil, através do Índice de Precipitação Normalizado (SPI). Para isto, utilizaram-se dados mensais de precipitação do *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP), no período de 1979 a 2014. Além disso, foi investigada as tendências destes eventos secos e chuvosos sobre a Região e a relação destes com os padrões de baixa frequência. Os resultados mostraram que a década de 80 apresentou o maior evento extremo de chuva. Por outro lado, observou-se na década de 2010 o maior evento extremo de seca. A partir das análises das tendências evidenciou-se tendências decrescentes nos valores do SPI-3, 6 e 12 meses, indicando desta forma aumento dos eventos secos. Adicionalmente, por meio da análise multivariada, constatou-se que os eventos secos e chuvosos sobre o Sudeste do Brasil estão diretamente relacionados com os fenômenos de baixa frequência.

Palavras-chave: Sudeste, SPI, Extremos, Precipitação.

Temporal dynamics at multiple scales time of the dry and rainy events in southeastern Brazil

ABSTRACT

Brazil's Southeast region is intrinsically dependent on the rainfall regime, this variable benefits many sectors of the economy such as agriculture and hydropower, playing a huge role in the study of this variable, in order to provide identification and understanding its dynamic over time. Thus, this study aimed to analyze the temporal dynamics of the extreme dry and rainy events more expressive in Brazil's Southeast, through the Standardised Precipitation Index (SPI). For this, we used monthly data of precipitation from *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) database in the period 1979-2014. In addition, we investigated the trends of these dry and rainy events over the study area and their relationship with the low-frequency patterns. The results showed that the 80s had the highest extreme rainy event. Moreover, it was observed in the 2010s the highest extreme dry event. The trend analyzes showed decreasing trends in the values of SPI-3, 6 and 12 months, indicating a decrease (increase) of rainy events (dry). In addition, through multivariate analysis it was found that the dry and rainy events over Brazil's Southeast are directly related with low-frequency patterns.

Keywords: Southeast, SPI, Extremes, rainy, dry.

Introdução

O Sudeste do Brasil está localizado entre a faixa latitudinal de 15° S a 25° S e longitudinal de 55° W a 40° W. Esta Região é altamente industrializada sendo fortemente dependente dos recursos hídricos. Aproximadamente, 40% de tais recursos são utilizados na agricultura, 40% na geração de energia elétrica e os 20% restante para

o uso domiciliar (IBGE, 2016). A variabilidade climática sobre o Sudeste do Brasil, tem sido investigada por vários autores nos últimos anos (Drummond e Ambrizzi 2005; Grimm et al., 2007; Grimm e Zilli 2009; Freitas e Ambrizzi 2012; Bombardi et al., 2013).

Destes estudos, fica claro que anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) forçam anomalias de convecção e consequentemente subsidência de grande escala ligada ao ramo descendente da circulação de Hadley que resulta em impactos na convecção, nas ondas estacionárias planetárias e correntes de jatos. Em adição, os principais sistemas atmosféricos precipitantes que atuam sobre a Região são: Frentes Frias (FF), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e o Sistema de Monção (Vera et al., 2006; Lima e Satyamurti, 2010).

Os sistemas atmosféricos atuantes na Região em conjunto com a variabilidade climática geram extremos de chuva ou seca (Cavalcanti, 2012). Segundo Grimm e Tedeschi (2009) estes eventos estão inseridos na variabilidade natural do planeta, mas a cada dia, se tornam mais extremos. Nos últimos anos o Sudeste do Brasil passou por dois eventos extremos de seca. Em 2001 o estado de São Paulo passou por um déficit de precipitação que levou a uma crise energética devido à falta de água para a produção de energia hídrica (Drumond e Ambrizzi, 2005). Mais recentemente, em 2014 houve outro déficit de precipitação em São Paulo, tendo impactos na disponibilidade de água para o consumo público, geração de energia hidrelétrica e da agricultura (Coelho et al., 2015; Coelho et al., 2015)

Dada à relevância que os extremos de seca e chuva ocupam no cenário político, científico e socioambiental, sua quantificação e monitoramento têm sido motivos de inúmeras pesquisas. Assim, ao longo dos últimos anos a relevância de se utilizar técnicas, com diferentes finalidades que possibilitam caracterizar tais eventos vem sendo utilizada por diversas pesquisas.

McKee et al. (1993) propuseram o Índice de Precipitação Normalizada (SPI), para quantificar o déficit de precipitação nas diversas escalas de tempo. Segundo esses autores, o SPI teria uma maior capacidade de detecção e monitoramento de extremos de precipitação. Além disso, o SPI tem-se mostrado bastante útil no monitoramento dos eventos secos e chuvosos, principalmente pela sua flexibilidade, simplicidade de cálculo e

interpretação (Hayes, 2000; Dos Santos et al., 2014).

Neste sentido, este artigo fornece informações atualizadas (1979-2014) sobre a dinâmica temporal dos eventos secos e chuvoso em diferentes escalas de tempo no Sudeste do Brasil a partir do SPI. O trabalho também tem como objetivo investigar as tendências dos eventos secos e chuvosos na Região, assim como, verificar a relação entre os eventos secos e chuvoso com os padrões de baixa frequência, por meio de análise multivariada. Os resultados encontrados ajudaram a direcionar as atividades mitigatórias aos diferentes setores das atividades econômicas e humanas, reduzindo os impactos causados à sociedade em decorrência dos eventos extremos.

Metodologia

Região de estudo

A região Sudeste do Brasil é formada pelos estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo (Figura 1), e ocupa uma área de 924.266 km², equivalente a 10,86% do território nacional. Nela, se concentram 80.364.010 habitantes, o que corresponde a 42,13% da população brasileira, com densidade demográfica de 76,25 habitantes/km² (IBGE, 2016).

Segundo Minuzzi et al., (2007), a região Sudeste tem uma climatologia diversificada, devido a vários fatores, como a orografia, a posição geográfica e os sistemas atmosféricos de pequena, média e grande escala que atuam, direta ou indiretamente, no regime pluvial. Dentre esses sistemas atmosféricos destacam-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os sistemas frontais como atuantes diretos, o anticiclone subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e o vórtice ciclônico de ar superior, como indiretos. Melo Júnior et al., (2006) e Reboita et al., (2010) descrevem alguns fatores que influenciam a quantidade de água precipitada nessa região, dentre os quais, citam-se: complexos convectivos de mesoescala (CCM), fatores orográficos, ZCAS, pequenas células convectivas, ASAS e os sistemas frontais.

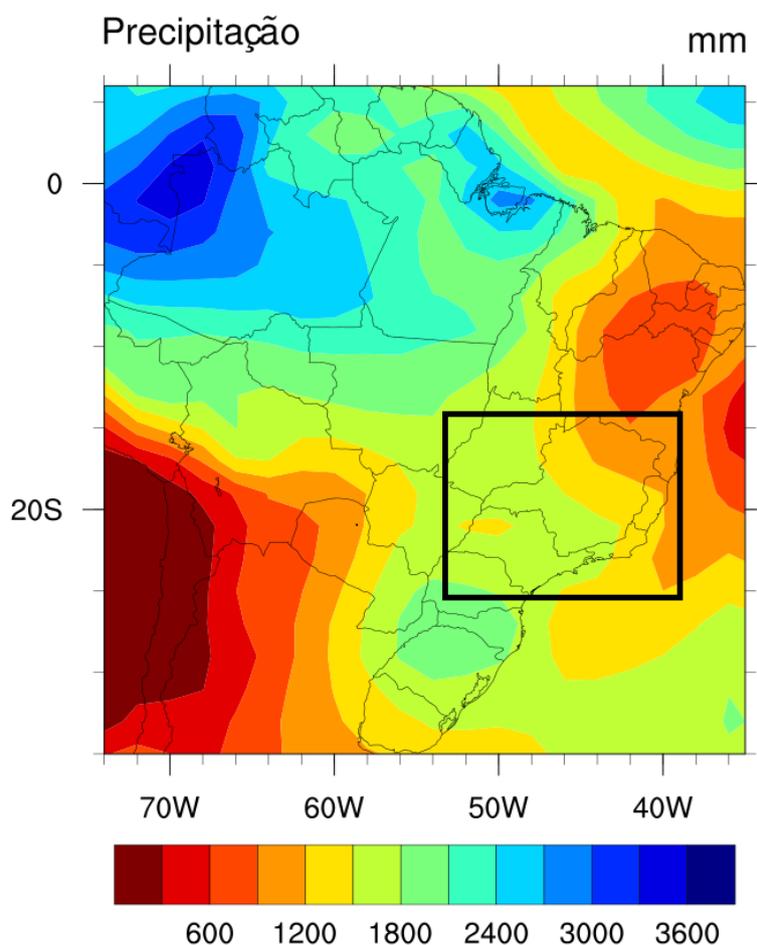


Figura 1 – Climatologia anual da precipitação sobre o Brasil obtidas com os dados do GPCP para o período de 1979 a 2014. O quadrado preto assinala o Sudeste do Brasil, sendo representado pelos Estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo.

Dados

Nesse trabalho utilizou-se séries mensais de precipitação do Global Precipitation Climatology Project (GPCP), obtidas através do site do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) com uma resolução de 2,5° lat x 2,5° lon, para o período de 1979 a 2014. O GPCP baseia-se no procedimento de análise que utiliza várias estimativas para produzir campos de precipitação global. Assim, a análise da grade é baseada em medidas de observações convencionais e satélite para calibrar o banco de dados. Para se gerar estas séries de dados são combinadas estimativas indiretas da precipitação através dos sensores VIS/IR (visível/infravermelho) e também microondas dos satélites geostacionários calibrados com dados de mais de 6.000 estações (Gruber e Levizzani, 2008).

Os dados dos índices TNA (Tropical Northern Atlantic Index), TSA (Tropical Southern Atlantic Index), AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation), PDO (Pacific Decadal Oscillation), NINO1+2 (Extreme Eastern Tropical Pacific SST), NINO3.4 (East Central Tropical Pacific SST),

NINO.3 (Eastern Tropical Pacific SST) e NINO.4 (Central Tropical Pacific SST), foram utilizados para verificar a relação dos eventos secos e chuvosos obtidos pelo SPI com as condições médias e anômalas da atmosfera e dos oceanos. Estes índices estão disponíveis no site do National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR)

Índice de Precipitação Normalizada (SPI)

No presente estudo foi utilizado o índice SPI, a versatilidade deste índice está na simplicidade do seu cálculo, além disso, ele identifica eventos secos e chuvosos em diferentes escalas de tempo (3, 6, 12 meses, etc). Isto ajuda a monitorar a dinâmica temporal desses eventos, isto é, o desenvolvimento e declínio. Como é um índice padronizado a classificação das categorias de seca/chuva pode ser utilizada em qualquer região do globo (Hayes, 2000; Dos Santos et al., 2014). Adicionalmente, O SPI apresenta uma vantagem em relação aos demais índices, por exemplo, Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI), pois utiliza apenas dados mensais de precipitação, ou

seja, não se faz necessário a utilização de outras variáveis meteorológicas na detecção dos eventos secos e chuvosos (Guttman, 1998). Por fim, este índice é muito recomendado pela World Meteorological Organization (WMO, 2009) para os estudos relacionados a eventos secos e chuvoso.

Conceitualmente, o SPI é simplesmente a variável reduzida Z_i da distribuição normal da precipitação:

$$SPI = z_i = (P_i - \bar{P}_i) / \sigma_i \quad (1)$$

na qual i é a escala de tempo (1, 3, 6, 12 meses); P_i a precipitação observada ; \bar{P}_i e σ_i , são respectivamente, a média e o desvio padrão da série ajustada.

O aspecto mais importante no seu cálculo, é que os dados de precipitação precisam ser transformados em uma distribuição normal por meio de uma função adequada. Assim, neste estudo foi utilizada a função gama. A distribuição gama possui bom ajuste para variáveis contínuas que tenham limite inferior igual a zero e não possuem limite superior, por isto é, largamente utilizada para o estudo de séries longas de precipitação (Wilks, 2006). Detalhes sobre o cálculo SPI pode ser encontrado em vários trabalhos, incluindo McKee et al. (1993), Guttman (1998), Dos Santos et al., 2014; Hosseini-Moghari e Araghinejad, (2015).

Neste estudo foram selecionadas as escalas de tempo 3, 6 e 12 meses, para as quais foram construídas as séries temporais de SPI centrada nos 12 meses do ano. De acordo com Dos Santos et al., (2014) o SPI trimestral (SPI-3) reflete as condições de curto prazo, é importante para monitoramento das precipitações sazonais. A escala semestral do SPI (SPI-6) representa os eventos de média duração, úteis para o monitoramento do período de transição entre estação seca e a chuvosa. O SPI anual (SPI-12) reflete padrões de precipitação de longo prazo. É utilizado para monitorar a variabilidade anual e interanual. Além disso, Os valores de SPI foram classificados de acordo com McKee et al. (1993) (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação dos períodos secos e chuvosos do SPI segundo McKee et al., (1993)

Valores de SPI	Classes
< -2,0	Seca Extrema
-1,99 a -1,50	Seca Severa
-1,49 a -1,0	Seca Moderada
-0,99 a -0,49	Seca Fraca

-0,49 a 0,49	Quase Normal
0,49 a 0,99	Chuva Fraca
0,99 a 1,49	Chuva Moderada
1,49 a 1,99	Chuva Severa
> 2,0	Chuva Extrema

Teste de Mann-Kendall e Método Sen

Para o teste de tendência monotônica, aplicou-se a mesma metodologia usada por Fan e Wang (2010), que utiliza um template denominado de MAKENSENS (Mann-Kendall test for trend and Sen's method for the magnitude of the trend) desenvolvido pelo Instituto Meteorológico Finlandês (Salmi et al., 2002).

Com o teste não paramétrico de Mann-Kendall, verifica-se a presença de uma tendência monotônica crescente ou decrescente e, em seguida, estima-se a inclinação e magnitude da tendência linear com o método não paramétrico de Sen (Gilbert, 1987). Uma descrição mais detalhada para o cálculo do teste estatístico Z de Mann-Kendall, estimativa de inclinação Q e da constante B pelo método Sen pode ser encontrada em Salmi et al., (2002).

Análise de Componentes Principais (ACP).

A Análise de Componentes Principais é um procedimento matemático que usa uma transformação ortogonal para converter um conjunto de variáveis, possivelmente correlacionadas, em um conjunto de valores de variáveis não correlacionadas, chamadas componentes principais (CPs). A principal vantagem da ACP perante as demais técnicas é determinar padrões espaciais e temporais consistentes e detalhados das variáveis meteorológicas (Wilks, 2006; Dos Santos et al., 2014; Rao et al., 2014). Em adição, mais detalhes e/ou considerações sobre o cálculo da APC podem ser encontradas em Richman (1983), Amanajas e Braga (2012), dentre outros.

Neste trabalho a técnica da ACP foi introduzida com o objetivo de explicar a estrutura de dependência entre os SPI-3, 6 e 12 meses com os índices TNA, TSA, AMO, PDO, NINO1+2, NINO.3+4, NINO.3 e NINO.4 no Sudeste do Brasil. Para isto, foi utilizado o modo R (R- mode factor analysis) da ACP, que em síntese é utilizado quando se busca identificar estruturas subjacentes capazes de ser percebidas pela construção de relacionamentos entre as variáveis. Desta forma, na matriz de dados as colunas representam as variáveis em estudos e as linhas o período em estudo (1979 a 2014).

Resultados

Análise temporal do SPI.

Analisando as séries médias dos SPI's no período de 1979 a 2014 sobre a região do Sudeste do Brasil, nota-se uma concordância temporal entre os valores de SPI (Figura 2). Observa-se também que, a década de 80 apresentou o maior evento extremo de chuva registrado na série climatológica nas três escalas de tempo do SPI. Este evento de chuva possuiu uma duração de 15 meses, seu início foi em outubro de 1982 e seu fim em dezembro de 1983. O SPI médio para este período foi de 1,75 para o SPI-3; 2,20 para o SPI-6 e 2,45 para o SPI-12. Estudos já realizados evidenciaram que neste

ano a fase quente do ENOS (El Niño) estava configurado no Oceano Pacífico (De Souza et al., 2005; Dos Santos et al., 2011 ; Freire et al., 2015). Sugere-se que a fase quente do ENOS tenha gerado um cenário atmosférico favorável a ocorrência desse evento extremo de chuva. Em adição, a importância da variabilidade inter eventos do sinal do ENOS, conforme reportado por Souza e Ambrizzi (2002), sobre a América do Sul (AS), mostra que as teleconexões da fase quente do ENOS (El Niño) indicam excesso de precipitação sobre o Sudeste Brasileiro.

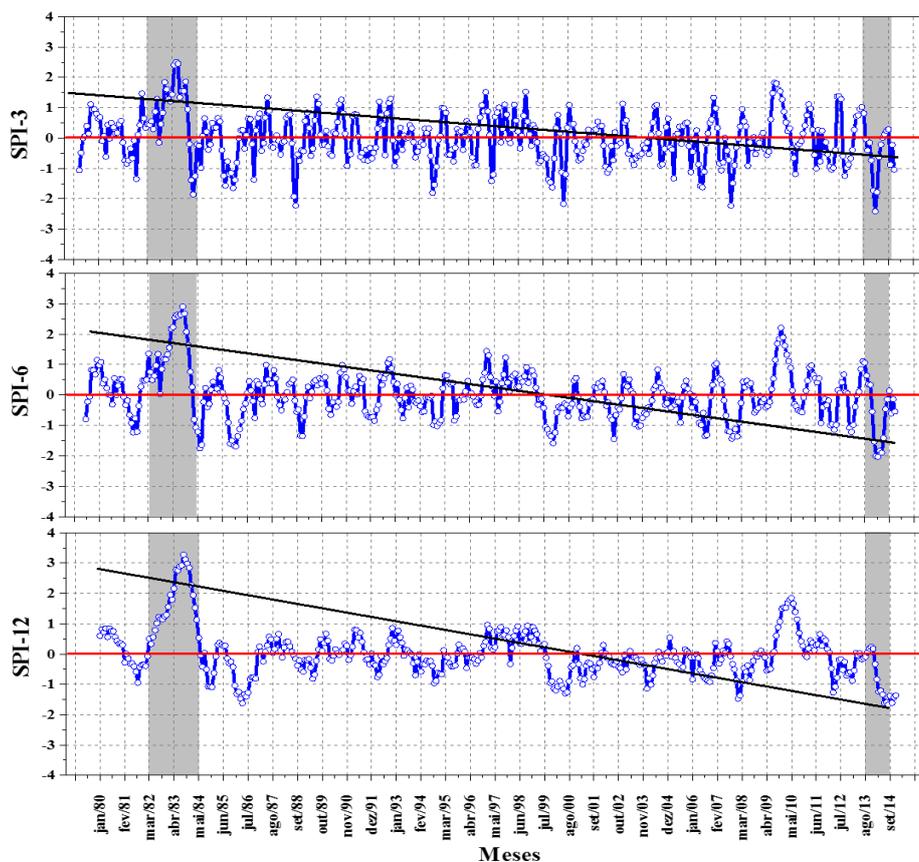


Figura 2 - Séries temporais médias do SPI nas escalas de 3, 6 e 12 meses sobre o Sudeste do Brasil (15° S a 25° S e 55° W a 50° W) no período de 1979 a 2014. As áreas sombreadas assinalam os extremos de chuva e seca.

Tabela 2 - Valores de Z (tendência) e Sig. (Significância estatística) resultantes do teste de Mann-Kendall (M-K); e de Q (magnitude) e B (constante), do método Sen, para as séries de SPI sobre o Sudeste do Brasil ao período de 1979 a 2014.

SPI	M-K		SEN	
	Z	Sig.	Q	B
SPI-3	-1,19	90%	-0,016	0,46
SPI-6	-2,86	95%	-0,040	0,93
SPI-12	-5,35	95%	-0,068	1,74

Análise fatorial em componentes principais.

Na Tabela 3 encontram-se os resultados do Teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), verifica-se

que os dados utilizados na análise fatorial estão apropriados para a aplicação da técnica, uma vez que, os valores obtidos pelo teste são superiores a

0,5. Este resultado também indica que maiores são as correlações entre as variáveis estudadas. Por outro lado, se o grau de explicação fosse menor que 0,5 significaria que os fatores encontrados na análise fatorial não conseguiriam descrever satisfatoriamente as variações dos dados originais da análise (Hair et al., 1995; Corrar et al., 2007).

O resultado da aplicação da ACP nos dados médios de SPI-3, 6 e 12 meses sobre o Sudeste do Brasil com os índices dos fenômenos de baixa frequência resultou na obtenção de três padrões principais que explicaram 71,45% da variância total dos dados (Tabela 4). Os três primeiros padrões foram selecionados segundo o critério de truncamento de Kaiser, que considera apenas autovalores maiores que a unidade (Bezerra, 2007). Contudo, analisou-se somente o primeiro e segundo fator rotacionado, já que eles explicam aproximadamente 53% da variância total dos dados.

Os valores do primeiro e segundo fator foi de aproximadamente 31% e 21% respectivamente. Esse resultado indica que os eventos secos e chuvosos obtidos pelo SPI no período de 1979 a 2014 apresentaram uma elevada dependência com os índices dos fenômenos de baixa frequência, isto é, os eventos secos e chuvosos sobre o Sudeste do Brasil estão diretamente relacionados com estes

fenômenos. Este resultado Corroborar com os estudos de Lima e Satyamurti, 2010; Freitas e Ambrizzi (2012); Bombardi et al. (2013), dentre outros. Os quais evidenciaram a influência dos fenômenos de baixa frequência na distribuição pluviométrica da Região, e conseqüentemente, nos eventos secos e chuvosos sobre a Região.

A representação diagramática do primeiro e segundo fator é ilustrado na Figura 3. Nota-se correlações positivas (negativas) entre os índices ENOS, PDO, TSA (TNA) e os SPI-3, 6 e 12. Por outro lado, o índice AMO apresentou baixa correlação com os SPI's. Analisando o padrão de correlação positiva do primeiro e segundo fator, pode-se inferir que quando há, por exemplo, o aquecimento (resfriamento) das águas do Oceano Pacífico tem-se um aumento (diminuição) dos eventos de chuva (seca) sobre o Sudeste do Brasil. Analogamente para o padrão de correlação negativa dos fatores, quando há um resfriamento (aquecimento) das águas do Oceano Atlântico Norte tem-se um aumento (diminuição) dos eventos chuvosos (secos) sobre o Sudeste do Brasil. Este resultado descreve a alta relação dos eventos secos e chuvosos obtidos através do SPI com os fenômenos de baixa frequência.

Tabela 3 - resultados obtidos pelo Teste KAISER-MEYER-OLKIN

Teste de KMO	
KMO	0,599

Tabela 4 - Valores Próprios, Variância Explicada (%) e Inércia Acumulada (%) entre os SPI-3, 6 e 12 meses e os fenômenos de baixa frequência obtidos pela ACP.

CP	Variância Total Explicada					
	Cargas Fatoriais Não-Rotacionadas			Cargas Fatoriais Rotacionadas		
	Valor Próprio	Inércia Explicada	Inércia Acumulada	Valor Próprio	Inércia Explicada	Inércia Acumulada
1	4,02	36,53	36,53	3,48	31,61	31,61
2	2,04	18,51	55,04	2,39	21,77	53,38
3	1,81	16,41	71,45	1,99	18,07	71,45
4	0,88	8,01	79,46			
5	0,72	6,57	86,03			
6	0,62	5,60	91,63			
7	0,48	4,38	96,02			
8	0,21	1,91	97,93			
9	0,16	1,44	99,36			
10	0,06	,59	99,95			
11	0,01	,05	100,00			

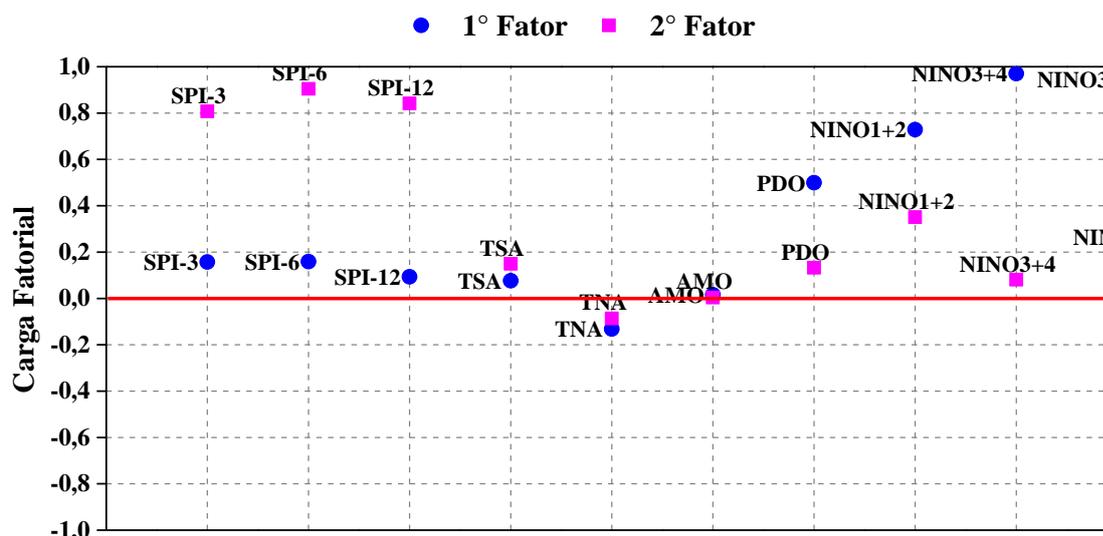


Figura 3 - Representação diagramática das cargas fatoriais referente ao primeiro e segundo fator.

Conclusões

O Índice de Precipitação Normalizado (SPI) aplicado aos dados de chuva do GPCP sobre o Sudeste do Brasil identificou, em múltiplas escalas de tempo, dois eventos extremos: um de seca e outro de chuva. Além disso, o SPI também identificou o início, fim e duração destes eventos extremos. Nas três escalas de tempo estudadas (SPI-3, 6 e 12 meses) a década de 80 apresentou o maior evento extremo de chuva registrado na série climatológica, com uma duração de 15 meses. Por outro lado, observou-se na década de 2010 o maior evento extremo de seca, com duração de 17 meses.

Adicionalmente, evidenciou-se tendências decrescentes nos valores do SPI-3, 6 e 12 meses, indicando desta forma diminuição dos eventos chuvosos e aumento dos eventos secos sobre o Sudeste do Brasil no período em estudo.

O resultado da aplicação da ACP nos dados médios de SPI-3, 6 e 12 meses sobre o Sudeste do Brasil com os índices dos fenômenos de baixa frequência resultou na obtenção de três padrões principais, que explicaram 71,45% da variância total dos dados.

Além disso, foi constatado que os eventos secos e chuvosos obtidos pelo SPI no período de 1979 a 2014 apresentaram uma elevada dependência com os índices dos fenômenos de baixa frequência, evidenciando desta forma, a influência destes fenômenos na distribuição pluviométrica, e consequentemente, nos eventos secos e chuvosos sobre a Região.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela concessão de bolsa de doutorado do CNPq e

juntamente com os demais autores, agradecem ao GPCP e NCEP/NCAR pelos dados cedidos.

Referências

- Amanajás, J.C., Braga, C.C. 2012. Padrões Espaço-Temporal Pluviométricos na Amazônia Oriental Utilizando Análise Multivariada. *Revista Brasileira de Meteorologia* 27, 423-434.
- Bombardi, R.J., Carvalho, L.M.V., Jones, C., Reboita, M.S. 2013. Precipitation over eastern South America and the South Atlantic Sea surface temperature during neutral ENSO periods. *Climate Dynamics* 42, 1553–1568.
- Bezerra, F. A. 2007. Análise Fatorial. In: Corrar, L.J., Paulo, E., Dias Filho, J. M. (Org.). *Análise Multivariada*. São Paulo, Atlas, 541.
- Cavalcanti, I. F.A. 2012. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. *Atmospheric Research* 118, 27-40.
- Coelho, C.A.S., Cardoso, D.H.F., Firpo, M.A.F. 2015. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-16.
- Coelho, C. A. S., et al. 2015. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Climate Dynamics* 46, 1-16.
- Corrar, L.J.P., Filho, J.M.D. 2007. *Análise Multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia*. Ed. Atlas. São Paulo
- Drumond, A.R.M., Ambrizzi, T. 2005. The role of SST on the South American atmospheric circulation observed during the 2000/2001 austral summer. *Clim Dyn* 24, 781–791.

- Dos Santos, S. R. Q. et al. 2014. Classificação de Eventos Extremos de Precipitação em Múltiplas Escalas de Tempo em Belém-PA: Utilizando o Índice de Precipitação Normalizada. *Revista Brasileira de Geografia Física* 7, 628-635.
- Dos Santos, S. R. Q. et al. 2014. Variabilidade da Precipitação no Estado do Pará por meio de Análise em Componentes Principais. *Revista Brasileira de Geografia Física* 7, 615-627.
- Dos Santos, S. R. Q. et al. 2011. Regime térmico e hídrico do solo para área de floresta tropical em anos de El Niño e La Niña, Caxiuanã-PA: estudo de caso. *Revista Brasileira de Meteorologia* 26, 367-374.
- De Souza, E. B., Kayano, M. T., Ambrizzi, T. 2005. Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. *Theoretical and Applied Climatology* 81, 177-191.
- Freitas, A. C. V., Ambrizzi, T. 2012. Changes in the Austral Winter Hadley Circulation and the Impact on Stationary Rossby Waves Propagation. *Advances in Meteorology*. 1-15.
- Fan, X., Wang, M. 2011. Change trends of air temperature and precipitation over Shanxi Province, China. *Theoretical and Applied Climatology* 103, 519-531.
- Freire, J. L. M., Freitas, S. R. D., Coelho, C. A. D. S. 2015. Calibration of the BRAMS regional model for predicting climate extreme events. *Revista Brasileira de Meteorologia* 30, 158-170.
- Grimm, A. M., Pal, J. S., Giorgi, F. 2007. Connection between spring conditions and peak summer monsoon rainfall in South America: Role of soil moisture, surface temperature, and topography in eastern Brazil. *Journal of Climate* 20, 5929-5945.
- Grimm, A. M., Zilli, M. T. 2009. Interannual variability and seasonal evolution of summer monsoon rainfall in South America. *Journal of Climate* 22, 2257-2275.
- Grimm, A. M., Tedeschi, R. G. 2009. ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate* 22, 1589-1609.
- Gruber, A., Levizzani, V. 2008. Assessment of Global Precipitation Products A project of the World Climate Research Programme Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX) Radiation Panel.
- Guttman, N. B. 1998. Comparing the Palmer drought index and the standardized precipitation index. *Journal of the American Water Resources Association* 34, 113-121.
- Gilbert, R. O. 1987. *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. John Wiley & Sons, 320.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., Black, W. C. 1995. *Multivariate Data Analysis: With Readings*. Prentice Hall.
- Hayes, M. J. 2000. Revisiting the SPI: clarifying the process.
- Hosseini-Moghari, S. M., Araghinejad, S. 2015. Monthly and seasonal drought forecasting using statistical neural networks. *Environmental Earth Sciences* 74, 397-412.
- Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística (IBGE). 2016. Informações dos estados brasileiros. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 jun.
- Lima, K. C., Satyamurty, P., Fernández, J. P. R. 2010. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* 101, 121-135.
- McKEE, T.B., Doesken, N. J., Kleist, J. 1993. The relationships of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA. Preprints. *Bull. American Meteorological Society*, 233-236.
- Minuzzi, R. B. et al. 2007. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 22, 338-344.
- Melo Júnior, J. C. F. et al. 2006. Distribuição espacial da frequência de chuvas na região hidrográfica do Atlântico, Leste de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 10, 417-425.
- Reboita, M. S. et al. 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25, 185-204.
- Rao, D. U. M., Reddy, T. S., Reddy, G. R. 2014. Atmospheric radar signal processing using principal component analysis. *Digital Signal Processing* 32, 79-84.
- Richman, M. B. 1986. Rotation of principal components. *Journal of Climate* 6, 293-335.
- Souza, E. D., Ambrizzi, T. 2002. ENSO impacts on the South American rainfall during 1980s: Hadley and Walker circulation. *Atmosfera* 15, 105-120.
- Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T. 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates – the Excel template application MAKESENS.

Helsinki (Publications on Air Quality No. 31, Report code FMI-AQ-31).
SABESP – Companhia de Saneamento Básico de São Paulo. Situação dos Mananciais.
Disponível em:
<http://www2.sabesp.com.br/mananciais/divulga_caopcj.aspx>. Acesso em: 07 mai. 2016.

Vera, C. et al. 2006. Toward a unified view of the American monsoon systems. *Journal of Climate* 19, 4977-5000.
World Meteorological Organization (WMO). 2009. Inter-Regional Workshop in Indices and Early Warning Systems for Drought
Wilks, D. S. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences Academic*.