

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA EVAPOTRASPIRAÇÃO POTENCIAL NA ANÁLISE DE SECA NO ESTADO DA PARAÍBA

Reginaldo Moura Brasil Neto¹; Celso Augusto Guimarães Santos² & Richarde Marques da Silva³

RESUMO – A seca é um fenômeno complexo que afeta a população nos mais diferentes aspectos. Sendo assim, diversos índices vêm sendo utilizados no intuito de entender de maneira mais completa o comportamento espaço-temporal das secas ao longo do tempo. O intuito desse trabalho é avaliar a influência da evapotranspiração potencial na análise das secas de curto-, médio- e longo-prazo no estado da Paraíba mediante aplicação dos índices SPI e SPEI ao longo de 18 anos. Os resultados mostram que as análises entre os índices SPI e SPEI para as cidades de João Pessoa e Campina Grande foram menos influenciadas pela evapotranspiração potencial se comparadas as análises feitas para os municípios de Patos e Monteiro. No geral, o aumento da escala temporal de análise da seca fez com que os valores de SPI e SPEI passassem a ser mais semelhantes ao longo do tempo, sendo os valores dos coeficientes de determinação encontrados entre as séries consideravelmente altos. Apesar de que, para alguns eventos, os valores de SPI passassem a ser ora subestimados ora superestimados se comparados com os valores de SPEI, percebeu-se que os dois índices identificaram basicamente o mesmo comportamento das secas, independente da escala temporal e da localidade das regiões.

ABSTRACT – Drought is a complex phenomenon that affects the population in the most different aspects. Thus, several indices have been used in order to fully understand the spatiotemporal behavior of droughts over time. The objective of the present work is to evaluate the influence of potential evapotranspiration on the analysis of short-, medium- and long-term droughts in the State of Paraíba by applying the SPI and SPEI indices over 18 years. The results show that the analysis between the SPI and SPEI indices for the cities of João Pessoa and Campina Grande were less influenced by potential evapotranspiration when compared to the analysis made for the municipalities of Patos and Monteiro. In general, the increase in the time scale of analysis of the drought made the SPI and SPEI values to become more similar over time, with considerably high values of the coefficients of determination among the time series. Although, for some events, SPI values were sometimes either underestimated or overestimated compared to SPEI values, it was observed that the two indices basically identified the same behavior of the droughts, regardless of the time scale and the locality of the regions.

Palavras-Chave – Paraíba; SPI; SPEI.

¹ Mestrando do Programa de Engenharia Civil e Ambiental - Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco III, 58051-900, João Pessoa – PB. E-mail: regismouraneto@hotmail.com

² Professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/CT - Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco III, 58051-900, João Pessoa – PB. E-mail: celso@ct.ufpb.br

³ Professor Adjunto IV do Departamento de Geociências - Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco III, 58051-900, João Pessoa – PB. E-mail: richarde@geociencias.ufpb.br

1. INTRODUÇÃO

A seca é um dos fenômenos mais complexos, importantes e recorrentes da Terra que afeta a agricultura, especialmente nas regiões áridas e semiáridas. Esse fenômeno também causa diversos danos à sociedade nos mais diferentes aspectos, como na geração de energia hidroelétrica e aos ecossistemas (Ionitta *et al.*, 2016). Sendo assim, diferentes índices vêm sendo aplicados para mensurar a severidade das secas com o intuito de facilitar o entendimento desse fenômeno, com especial destaque para o *Standardized Precipitation Index* (SPI) e o *Standardized Precipitation Evapotranspiration Index* (SPEI).

Enquanto o SPI mensura as condições de seca levando em consideração apenas os dados de precipitação, o SPEI mede as secas analisando o balanço hídrico de determinada região com base na evapotranspiração potencial (ETP). A diferença entre os resultados pode ser intensificada em função não só da região que está sendo analisada como também em função da influência da ETP ao longo do tempo. O entendimento do processo da ETP é de suma importância, visto que regiões com altos níveis de evapotranspiração tem seus corpos hídricos e reservatórios mais susceptíveis a ação da evaporação, causando rebaixamento do nível da água. A Paraíba enfrentou recentemente um longo período de escassez e por isso tem sido objeto de estudo ao se analisar as condições de seca (Brasil Neto *et al.*, 2017). Logo, o intuito desse trabalho é avaliar a influência da ETP na análise da seca no estado da Paraíba avaliando as secas de curto-, médio- e longo prazo mediante aplicação dos índices SPI e SPEI entre 1998–2015 (18 anos).

2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estado da Paraíba tem área total de 56.469,778 km², está localizado na região Nordeste do Brasil e é subdividido em quatro mesorregiões: (a) Agreste Paraibano, (b) Borborema, (c) Mata Paraibana e (d) Sertão Paraibano. Ressalta-se ainda que grande parte da Paraíba está inserida no Semiárido Nordestino, região que é frequentemente afetada por secas de diferentes durações e intensidades. Para este estudo, foram avaliadas as condições de seca de algumas das principais cidades do estado da Paraíba, estando cada uma delas localizadas em uma mesorregião distinta. As cidades selecionadas para esse estudo foram João Pessoa, Campina Grande, Patos e Monteiro, localizadas nas mesorregiões da Mata Paraibana, do Agreste Paraibano, do Sertão da Paraíba e da Borborema, respectivamente. A Figura 1 mostra o mapa de localização das principais cidades no estado da Paraíba e as respectivas mesorregiões.

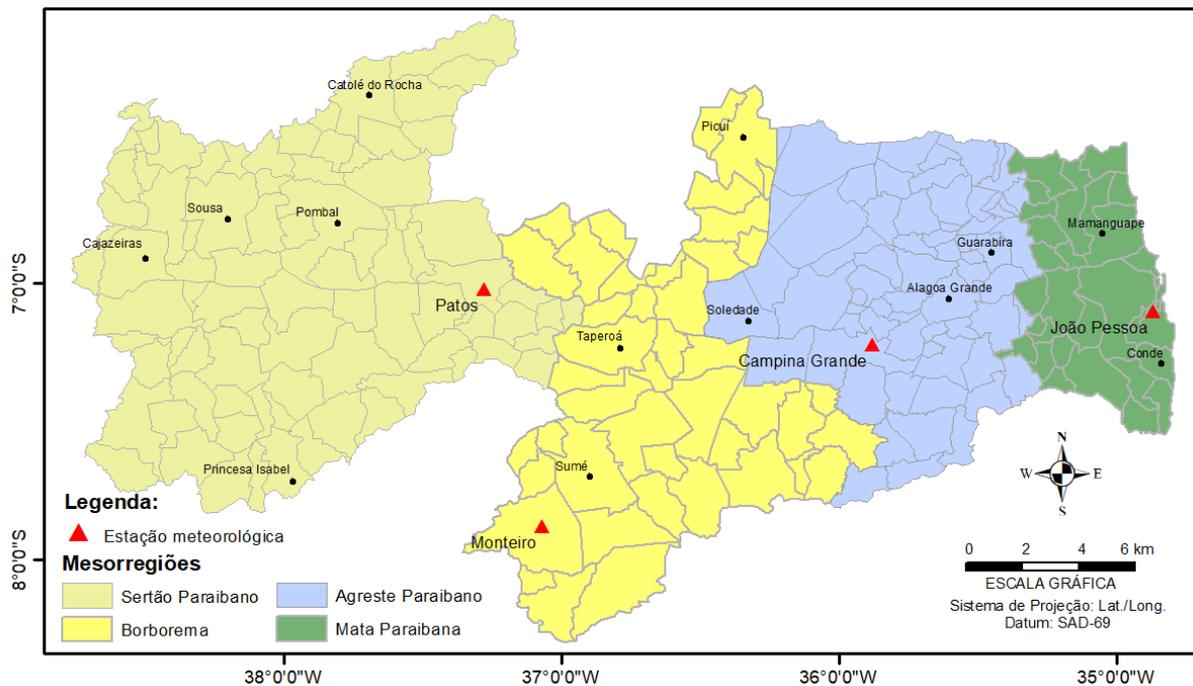


Figura 1 – Mapa de localização das principais cidades do estado da Paraíba

2.2. Dados de precipitação

Para este trabalho foram utilizados dados de precipitação mensais dos postos pluviométricos de João Pessoa, Campina Grande, Patos e Monteiro. Os dados foram disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs) e têm abrangência temporal de 18 anos, desde janeiro de 1998 até dezembro de 2015 e não apresentam falhas em suas séries.

2.3. Dados de temperatura

Em relação aos dados de temperatura, foram utilizados os dados de temperaturas mensais do ar disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) dos postos pluviométricos usados neste estudo e para o mesmo período de abrangência de dados (janeiro de 1998 até dezembro de 2015). No entanto, ressalta-se que diferentemente dos dados pluviométricos, existiam algumas falhas dentro das séries de temperatura mensal do ar e por tal motivo, o processo de correção utilizado foi preencher os dados faltosos com a temperatura mensal média do ar de cada estação, de modo a se obter uma série completa.

2.4. Índices SPI e SPEI

Para avaliar as condições de seca das principais cidades do estado da Paraíba, foram aplicados os índices SPI e SPEI para diferentes escalas temporais. Neste trabalho, adotando a classificação proposta por Santos *et al.* (2017), admitiu-se que os índices SPI e SPEI de 1, 3 e 6 meses representam as secas de curto-prazo, os índices SPI e SPEI de 9 e 12 meses representam as

secas de médio-prazo e os índices SPI e SPEI de 18, 24 e 48 meses representam as secas de longo-prazo.

Ressalta-se que apesar do fato de que a metodologia de cálculo seja muito semelhante entre os índices SPI e SPEI, há uma diferença básica entre as considerações feitas pelos dois métodos. A diferença básica entre os dois índices é que, enquanto o SPI mensura as condições de seca de determinado evento levando em consideração exclusivamente os valores de precipitação, o índice SPEI mensura as mesmas condições de seca levando em consideração o balanço hídrico para determinado evento, sendo necessária, portanto, a determinação da evapotranspiração potencial de determinada região para determinado período de tempo.

Neste trabalho, a estimativa do balanço hídrico foi realizada mediante a aplicação do método de Thornthwaite (1948), que calcula a evapotranspiração potencial levando em consideração basicamente os dados de temperatura mensal do ar. O procedimento de cálculo dos dois índices pode ser encontrado de maneira mais detalhada em McKee *et al.* (1993) para o índice SPI e em Vicent-Serrano *et al.* (2010) para o índice SPEI.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, os índices SPI e SPEI foram calculados para cada uma das cidades analisadas e para cada uma das escalas temporais descritas neste trabalho. A Figura 2 mostra, como exemplo, os resultados obtidos para a cidade de João Pessoa, com oito séries SPI (marcadas em azul) e oito séries SPEI (marcadas em preto) para cada um dos meses analisados da série temporal.

Para a cidade de João Pessoa, percebe-se que houve uma grande concordância entre as estimativas do SPI e do SPEI. Isso é representado pela semelhança entre as séries encontradas independente da escala temporal analisada. Para as secas de curto-prazo, notou-se que os valores de SPI e SPEI tendem a se alternar de maneira mais frequente, perdendo, desse modo, a continuidade de um evento úmido, i.e. $SPI > 0$, e seco.

Ainda a respeito às secas de curto-prazo, percebe-se que em algumas estimativas, os valores de SPI tenderam a ser mais extremos do que os valores de SPEI. Analisando as Figuras 2b e 2c, por exemplo, percebe-se que entre os anos de 2013 e 2014, os valores de SPI indicaram maiores picos de seca do que os valores de SPEI. Isso implica em dizer que, segundo o índice SPI, um evento foi categorizado como sendo mais seco se comparado com o mesmo resultado do índice SPEI.

Para as secas de médio-prazo, o comportamento entre as séries também foi muito semelhante, mas ainda assim, em alguns casos, os valores que mensuravam a seca quando calculados pelo índice SPI tenderam a ser mais extremos do que quando calculados pelo índice SPEI para um mesmo evento, a exemplo do que é mostrado, por exemplo, no período entre os anos de 1999 e 2000 pelas Figuras 2d e 2e.

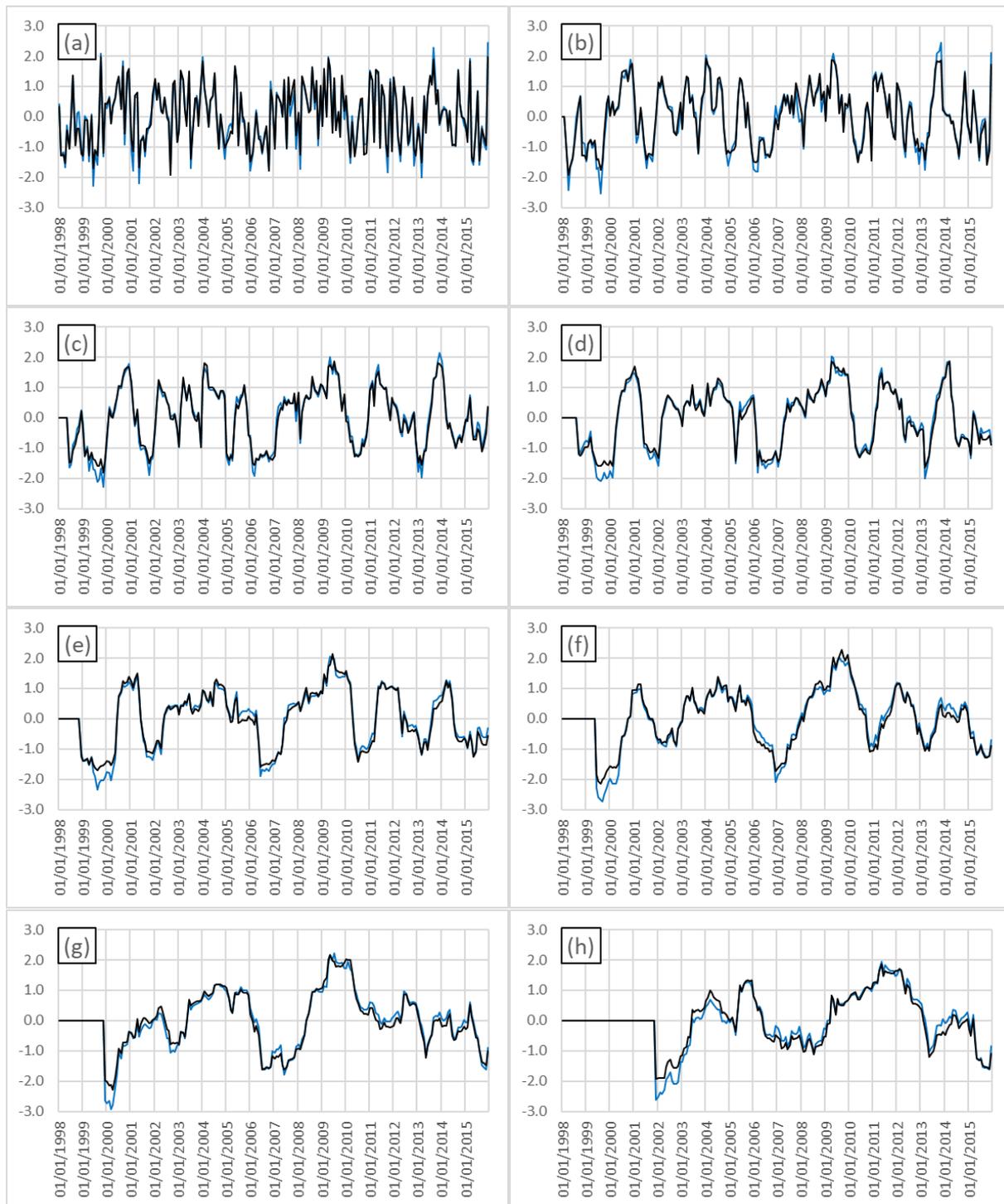


Figura 2 – Comportamento temporal dos índices SPI e SPEI para a cidade de João Pessoa para o período acumulado de (a) 1, (b) 3, (c) 6, (d) 9, (e) 12, (f) 18, (g) 24 e (h) 48 meses

Também foram analisados os outros gráficos que representavam o comportamento temporal das secas estimadas pelos índices SPI e SPEI. Sendo assim, no intuito de identificar alguma relação entre o comportamento da seca estimado pelos índices SPI e SPEI, os gráficos de dispersão entre os valores obtidos para cada uma das cidades e para cada uma das escalas temporais foram analisados. A Figura 3 mostra a relação entre índice SPI e SPEI para as principais cidades do estado da Paraíba para cada um dos oito períodos de acumulação utilizados neste trabalho.

É possível perceber, por exemplo, que assim como mostrado pela Figura 2, os valores de SPI e de SPEI para a cidade de João Pessoa são muito próximos ao longo do tempo e para quaisquer escalas temporais utilizadas, e assim sendo, tendem a se aproximar consideravelmente da reta de igualdade. De maneira geral, percebe-se que com o aumento do intervalo de análise da seca, i.e. quando se passa a analisar as secas de curto- a longo-prazo, os valores encontrados para os índices SPI e SPEI tendem a se assemelhar cada vez mais, independente da cidade analisada.

Para João Pessoa, os resultados mostraram que independente da escala temporal utilizada para se analisar as secas, os valores dos índices SPI e SPEI foram muito semelhantes entre si, indicando desse modo que a evapotranspiração potencial, não representa uma variável que influencia consideravelmente a estimativa dos valores do SPEI. Caso a evapotranspiração potencial para a região fosse uma variável muito significativa, para um mesmo evento de precipitação, os valores de SPEI seriam muito maiores ou menores do que os valores de SPI.

De qualquer maneira, ressalta-se que para as secas de curto-prazo, encontraram-se valores mais distintos entre si e isso deve ao fato de que, em função da escala temporal ser reduzida (de 1 a 6 meses), as influências da temperatura tendem a influenciar de maneira mais significativa os valores do SPEI em relação ao SPI. Logicamente, com o aumento do período de acumulação, esses efeitos da temperatura e do balanço hídrico tendem suavizar, fazendo com que os valores de cálculo dos índices SPI e SPEI sejam cada vez mais próximos.

Para a cidade de Campina Grande, localizada na região do Agreste Paraibano, encontrou-se um comportamento muito semelhante ao da cidade de João Pessoa, de modo que independentemente do tipo de seca analisada, fosse ela de curto-, médio- ou longo-prazo, os valores dos índices SPI e SPEI tenderam a apresentar resultados muito semelhantes, se aproximando da reta de igualdade.

Para as secas de curto-prazo, percebeu-se que para os eventos muito úmidos, os valores de SPI foram superestimados em comparação com os valores de SPEI. Para as secas de médio-prazo, o comportamento se manteve e ainda foi perceptível o fato de que também para os eventos muito

secos, os valores de SPI continuaram a ser superestimados. Para as secas de longo-prazo, ao analisar os eventos muito secos, percebeu-se que os valores de SPI passaram a ser subestimados, indicando condições de secas mais severas do que estimado pelo índice SPEI.

Patos foi a cidade que apresentou o comportamento mais distinto entre os índices SPI e SPEI, principalmente em se tratando das secas de curto-prazo. Isso se deve ao fato de que as temperaturas nessa cidade são consideravelmente altas e isso influencia o balanço hídrico da região de maneira mais significativa. Sendo assim, para as secas de curto-prazo, enquanto os valores de SPI categorizaram inúmeros eventos com valores próximos a zero, os valores do índice SPEI foram muito inferiores, realçando ainda mais a influência da temperatura na região.

Para as secas de médio-prazo, os valores de SPI e de SPEI passaram a ser mais semelhantes, mas ainda assim os valores de SPEI eram subestimados em relação aos valores de SPI. O comportamento das secas de longo-prazo, por sua vez, foi muito semelhante aos das secas de médio-prazo. Ainda que os valores de SPI e SPEI tenham passado a se assemelhar, percebe-se que os valores de SPEI tenderam a indicar valores mais baixos do que os de SPI.

Monteiro, assim como Patos, foi uma das cidades que foi mais influenciada pela variação da evapotranspiração potencial ao longo do tempo. Para as secas de curto-prazo, percebeu-se que os valores de SPEI tenderam a ser subestimados se comparados com os valores de SPI. Logo, isso implica em dizer que para a cidade de Monteiro, enquanto um evento pode ser considerado normal ao analisar apenas as condições de chuva, o mesmo evento pode ser considerado seco ao se analisar condições de chuva e de temperatura.

Para as secas de médio-prazo e longo-prazo, tanto para os eventos mais secos quanto para os mais úmidos, os valores de SPEI foram superestimados se comparados com os valores de SPI. Assim como para a cidade de Patos, que também foi muito influenciada pelos efeitos da temperatura, percebeu-se que o aumento na escala temporal utilizada fez com que os efeitos no balanço hídrico fossem suavizados, fazendo com que os valores de SPI e SPEI passassem a ser cada vez mais parecidos. Ainda no intuito de comparar os resultados obtidos mediante a aplicação dos dois índices de seca, foram calculados os valores dos coeficientes de determinação para cada cidade e para cada escala temporal utilizada, assim conforme mostrado na Tabela 1. A partir da Tabela 1, percebe-se que, no geral, quanto maior for o período de acumulação mensal, maior são os valores dos coeficientes de determinação.

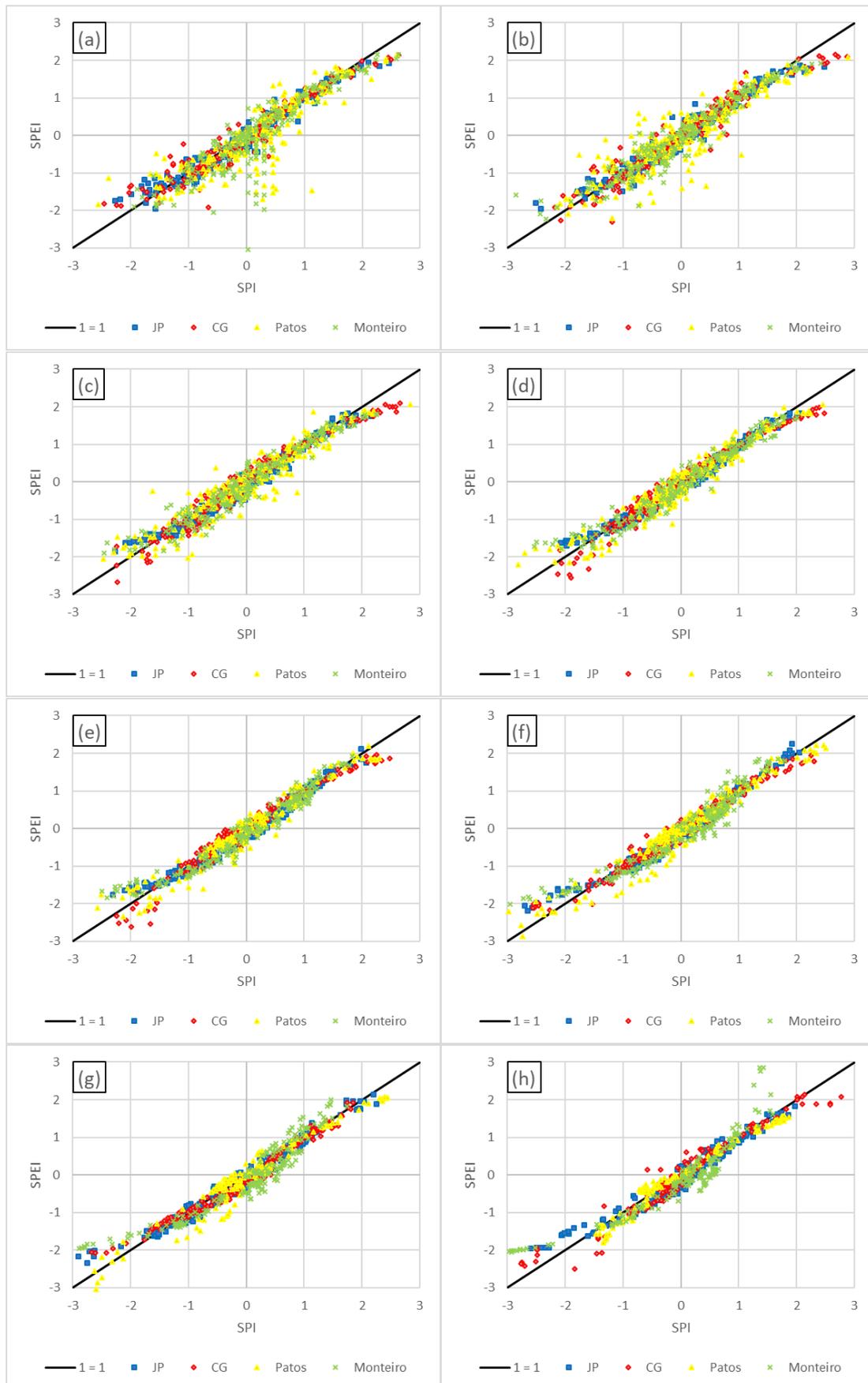


Figura 3 – Relação entre índice SPI e SPEI para as principais cidades do estado da Paraíba para o período acumulado de (a) 1, (b) 3, (c) 6, (d) 9, (e) 12, (f) 18, (g) 24 e (h) 48 meses

Em função do que foi mostrado na Figura 3, as cidades de João Pessoa e Campina Grande foram as que apresentaram os maiores coeficientes de determinação ao comparar as séries do índice SPI com as séries do índice SPEI, independente da escala temporal utilizada. Desse modo, estima-se nesse caso que essas foram as duas cidades que são menos influenciadas pelos efeitos da temperatura. Para a cidade de Patos e de Monteiro, foram encontrados baixos valores de coeficiente de determinação se comparados aos outros valores das outras as cidades, ao se analisar as secas de curto-prazo. Assim como analisado, estima-se que os efeitos da temperatura influenciam consideravelmente as condições de seca nessas regiões, e assim sendo, principalmente para menores escalas temporais, os efeitos da temperatura passam a ser mais significativos.

Tabela 1 – Coeficiente de determinação entre os índices SPI e SPEI para cada escala temporal

Meses	João Pessoa	Campina Grande	Patos	Monteiro
1	0,96	0,94	0,63	0,76
3	0,97	0,93	0,79	0,91
6	0,98	0,96	0,88	0,94
9	0,98	0,96	0,93	0,94
12	0,97	0,96	0,94	0,94
18	0,96	0,97	0,94	0,90
24	0,97	0,98	0,94	0,87
48	0,95	0,95	0,96	0,80

4. CONCLUSÕES

A partir deste trabalho, percebeu-se que a variação da evapotranspiração potencial de determinada região pode influenciar de maneira significativa o cálculo do índice SPEI. No presente estudo, percebeu-se que os índices de João Pessoa e Campina Grande não foram tão influenciados pelos efeitos da temperatura quanto às regiões de Patos e de Monteiro, e assim sendo, os valores de coeficiente de determinação entre os índices SPI e SPEI das regiões mais próximas ao litoral foram maiores do que para as regiões mais inseridas no interior.

De qualquer maneira, percebeu-se que o comportamento da seca de todas as cidades se manteve basicamente o mesmo comportamento para os dois índices, e esses valores tenderam a ser mais semelhantes quanto maior fosse o período analisado. Em alguns casos, notou-se que a depender das cidades que estavam sendo analisadas, os valores do índice SPI ora era superestimado, ora subestimados se comparados com os valores de SPEI, e essa variação na estimativa ocorria de maneira significativa ao se analisar os eventos mais extremos, fossem eles secos ou úmidos.

De modo geral, foi comprovado que na grande maioria dos casos, os valores de SPI e SPEI se comportaram de maneira semelhante e tenderam a indicar de maneira bastante satisfatória qual foi o tipo de evento que atingiu determinada região em determinado período de tempo. Logo, para trabalhos futuros, esperam-se realizar análises mais robustas para o estado da Paraíba como um todo, utilizando outros métodos de estimativa da evapotranspiração potencial e resultados obtidos mediante utilização de dados de sensoriamento remoto, garantindo uma análise cada vez mais robusta a respeito da influência da evapotranspiração na região semiárida do país.

5. BIBLIOGRAFIA

BRASIL NETO, R.M.; SANTOS, C.A.G.; SILVA R.M. (2017). “Análise espacial da seca no estado da Paraíba em 2015 utilizando dados do satélite TRMM e SPI” in Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, 2017, pp. 1-8.

IONITA, M.; SCHOLZ, P.; CHELCEA, S. (2016). “Assessment of droughts in Romania using the standardized precipitation index”. *Natural Hazards*, 81(3), pp. 1483–1498. doi: 10.1007/s11069-015-2141-8

McKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. (1993). “The Relationship of Drought Frequency and Duration Times Scales”. *American Meteorological Society*, 8th Conference on Applied Climatology, pp. 179–184.

SANTOS, C.A.G.; BRASIL NETO, R.M.; PASSOS, J.S.A.; SILVA, R.M. (2017). “Drought assessment using a TRMM-derived Standardized Precipitation Index for the Upper São Francisco River basin, Brazil”. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(6), pp. 1–19. doi: 10.1007/s10661-017-5948-9

THORNTHWAITE, C.W. (1948). “An Approach toward a Rational Classification of Climate”. *Geographical Review*, 38(1), pp. 55–94. doi:10.2307/210739

VICENTE-SERRANO, S.M.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J.I. (2010). “A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index”. *Journal of Climate*, 23, pp. 1696–1718. doi: 10.1175/2009JCLI2909.1