

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **ANÁLISE COMPARATIVA DE ÍNDICES DE SECA OPERACIONAIS PARA O NORDESTE BRASILEIRO**

*Javier Tomasella<sup>1</sup> & Ana Paula Martins de Amaral Cunha<sup>1</sup>*

**RESUMO** – Este estudo compara alguns índices de seca gerados operacionalmente por instituições federais, destacando vantagens e fraquezas de cada índice. Foram feitas comparações espaciais e temporais entre índices e com o SPI derivado de dados de estações representativas dos diferentes regimes de chuva da região. A análise comparativa espacial e temporal entre os índices revelou que os indicadores baseados em dados de satélites mostram melhor detalhamento do fenômeno, mas geram maior espalhamento da distribuição de frequência das classes. Indicadores baseados em observações sofrem o efeito de interpolação, principalmente em áreas com menor cobertura pluviométrica. Finalmente, o índice qualitativo participativo avaliado mostrou viés para as classes de maior severidade

#### **ABSTRACT**

This study compares some operationally drought indexes from federal institutions, highlighting the strengths and weaknesses of each index. Spatial and temporal comparisons were made between indices and the SPI derived from data from stations representative of the different rainfall regimes of the region. Spatial and temporal analysis between indices revealed that the satellite-based indicators showed more details of the phenomenon, but generate larger spreads of the experimental frequency of the classes. Indicators based on observations suffer the effect of spatial interpolation, especially in areas with lower density of rain gauges. Finally, the qualitative participatory index evaluated showed bias towards higher severity classes

**Palavras-Chave** – Semiárido, Monitor de secas; SPI; VHI, VSWI

#### **INTRODUÇÃO**

Estudos recentes sugerem que a seca, tem aumentado em magnitude e frequência nos últimos anos (Cunha et al. 2018; Brito et al., 2018). Somado a esta tendência, o aumento do consumo de água associado ao aumento da população e da melhoria de qualidade de vida, tornam os impactos das secas cada vez mais severos. Os impactos da seca são determinados não apenas pela frequência e intensidade da seca meteorológica (ameaça física), mas também pela vulnerabilidade da população aos efeitos da seca (Cunha et al., 2019). Dada a complexidade da seca, onde os impactos podem se acumular gradualmente ao longo do tempo e variar amplamente em muitos setores, um sistema de apoio à decisão bem projetado é essencial para gerenciar de maneira efetiva ações de mitigação e resposta à seca (Goddard et al., 2003).

---

1) Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN, Rod. Presidente Dutra km 39, 12630-000 Cachoeira Paulista/SP, fone: 012 3208 7849, javier.tomasella@cemaden.gov.br

No caso do Brasil, como em muitos outros países, a abordagem dos governos federal e estaduais tem sido reativa à seca (isto é, gerenciamento de crises) através da provisão de assistência emergencial ou de socorro às áreas ou setores afetados. Com essa abordagem, a seca só recebe a atenção dos tomadores de decisão quando está em níveis máximos de intensidade e extensão espacial e quando as opções de gerenciamento são limitadas. A literatura mostra que esta abordagem tem sido caracterizada como ineficaz, mal coordenada e intempestiva (Wilhite, 2000; Wilhite e Wood, 1994). Essa abordagem não só é financeiramente mais cara, como o alívio fornecido por esse processo é muitas vezes politicamente direcionado, ou programaticamente mal direcionado. Assim, diante da necessidade de dar respostas imediatas às situações emergências, e da falta de planejamento e preparação para as secas, as iniciativas tem, muitas das vezes, pouca aderência a critérios técnicos.

Por causa das perdas variadas e potencialmente catastróficas resultantes das secas, tanto os tomadores de decisão governamentais quanto não-governamentais precisam de melhores ferramentas de previsão e monitoramento para ajudá-los a lidar de forma mais eficaz com a seca. Um sistema de alerta antecipado e previsão de risco de seca é a base de um novo paradigma de gestão de seca baseado no gerenciamento de risco. Os avanços recentes em ciência e tecnologia estão melhorando as capacidades de monitoramento da seca e a disponibilidade de tais informações.

Em 2013 o Ministério da Integração Nacional (MI), estabeleceu parcerias com a Agência Nacional de Águas (ANA) e com a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), além de outras instituições, para a implementação de um sistema de monitoramento de seca para o NEB (chamado de Monitor de Secas – MS), com base na metodologia adotada pelo Monitor de secas dos Estados Unidos, desenvolvido pela Universidade de Nebraska (Martins et al., 2015).

No mesmo ano de 2013, em razão da extensão e severidade da seca que teve início no ano de 2012 no NEB, o Governo Federal solicitou ao Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) apoio na identificação dos municípios impactados pela seca, com a finalidade de subsidiar as ações de suporte emergencial aos municípios. Desde então o CEMADEN monitora operacionalmente a região Nordeste e outras regiões do Brasil, em especial a ameaça física associada às secas.

Um sistema de alerta é um conjunto de capacidades necessárias para gerar e disseminar, com antecedência e de forma compreensível, informações sobre risco de desastre, de modo a possibilitar que indivíduos, comunidades e organizações vulneráveis a desastres possam se preparar e agir, de

forma apropriada e em tempo suficiente, para reduzir sua possibilidade de sofrer danos e/ou perdas (UNISDR, 2012, Cunha et al., 2019). No entanto, como não há uma definição única para a seca nem consenso de índices mais apropriados para avaliar as características das secas, é ainda um desafio científico estabelecer indicadores universais de seca para regiões heterogêneas e para países continentais como o Brasil. Nesses casos, as definições de limiares para a declaração de situação de seca são muitas vezes arbitrárias.

Assim, este trabalho tem por objetivo analisar as principais ferramentas de monitoramento disponibilizadas operacionalmente e publicamente por instituições da esfera federal, visando avaliar as fraquezas e deficiências dessas ferramentas. Com isto procura-se promover o debate que leve à proposição de critérios técnicos definidos que permitam que os tomadores de decisão planejem ações baseadas em sólidos critérios técnicos, e que os recursos públicos atinjam à parcela da população mais afetada pelo fenômeno.

## **2. INDICADORES DE SECA OPERACIONAIS AVALIADOS**

### **2.1 Monitor de Secas da ANA- MS**

O MS entrou em operação no início de 2016. O nível operacional, por sua vez, é assumido pela FUNCEME, na fase experimental, e posteriormente pela ANA. O MS está fundamentado em três indicadores de secas, sendo dois deles meteorológicos, que contemplam curto e longo prazo, e um hidrológico, de curto prazo. Com relação aos indicadores meteorológicos, um dos utilizados é o Índice Padronizado de Precipitação - SPI (McKee et al., 1993). O segundo indicador meteorológico utilizado é o Índice Padronizado de Precipitação-Evapotranspiração -SPEI (Vicente-Serrano et al., 2010). Para o uso no monitor, o SPEI é calculado com os dados de estações meteorológicas que possuem medições de precipitação e temperatura. Dados que a densidade da rede operacional existente é limitada seja na extensão das séries, seja na cobertura espacial principalmente ao oeste da Região Nordeste, embora o SPEI seja considerado como um dos índices mais confiáveis no monitoramento de secas (Vicente-Serrano et al., 2010), é acidente que a sua aplicação na Região Nordeste fica comprometida em razão da necessidade de extrapolar dados de evaporação em alta resolução.

Produtos de apoio também são utilizados para o traçado do mapa do monitor. Nesse caso, é utilizado apenas de forma visual e não o dado em ponto de grade. Dentre estes produtos de apoio estão, a precipitação combinada entre os dados observados e estimativas de precipitação do Tropical

Rainfall Measuring Mission (TRMM) da NASA, umidade do solo (CPC/NOAA) com aproximadamente 50km de resolução espacial e Índice de Saúde da vegetação (VHI).

O MS define critérios para a adoção de cinco níveis de criticidade, indo desde seca fraca a seca excepcional. O Monitor de Secas preconiza o processo participativo que gera criação de seu produto-chave (o mapa mensal da seca) cujos limites são definidos pelos usuários com base em experiência pessoal, não sendo, portanto, um produto calculado com base em dados em ponto de grade. As validações ainda são realizadas para um número limitado de amostras, não sendo superior a 10 pontos em toda a região nordeste.

Embora a definição dos critérios de criticidade seguem regras definidas, a definição de extensão de secas com base na avaliação do grau de severidade pressupõe um grau de subjetividade devido às características heterogêneas da região no que tange à vegetação, geologia, clima, relevo e solos. Maiores detalhes sobre o monitor de secas podem ser acessados em <http://monitordesecas.ana.gov.br/>.

## **2.2 Índice de Precipitação Padronizada: SPI-CPTEC**

Os dados de precipitação considerados no cálculo do SPI definido como SPI-CPTEC, são provenientes do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE, 2018) e consiste de dados observados de estações meteorológicas de diversas fontes tais como, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Cemaden e Centros Estaduais de Meteorologia. Estes dados são interpolados em grade regular de 5 km, a partir destes dados, o SPI é calculado com base na formulação proposta por McKee et al. (1993).

Para o cálculo do SPI é necessário que se disponha de séries completas com pelo menos 30 anos de dados de precipitação. A baixa densidade da rede pluviométrica existente, principalmente no interior da Bahia, Piauí e Maranhão, cria incertezas enquanto à extrapolação espacial do produto, ainda mais considerando os fortes gradientes pluviométricos que caracterizam a região Nordeste.

## **2.3 Índice de Precipitação Padronizada ajustado: SPI - AJ**

Em áreas extensas onde a densidade de estações meteorológicas, ou mesmo a escala temporal dos dados é insuficiente, a tarefa de monitorar a intensidade da seca, nessas regiões torna-se uma tarefa desafiadora. Neste contexto, Cunha et al. (2018) desenvolveram o SPI-ajustado, que mantém a mesma simplicidade do SPI tradicional, porém calculado a partir de uma metodologia com base na relação empírica entre indicador de seca estimado por sensoriamento remoto (VHI) e aquele estimado por precipitação observada (SPI tradicional). Mais detalhes desse método podem ser

encontrados em Cunha et al., (2018). A série mensal de SPI-ajustado para o período de 2014-2017 foi considerada no presente estudo.

Embora o produto tenha como principal virtude a resolução espacial uniforme em toda a área de estudo, o que elimina as limitações impostas pela distribuição espacial de rede pluviométrica que afeta o cálculo do SPI padronizado, o SPI ajustado tem como limitação o fato que a resposta do índice é específica para cada tipo de vegetação, sendo que o produto final não pode ser considerado simplesmente um indicador de seca meteorológica como o SPI padronizado, mas um híbrido entre índices vegetativos como o VHI e índices meteorológicos. Ou seja, o índice SPI ajustado associa resposta da vegetação ao déficit de chuva que causa essa resposta.

## **2.4 Índice de Saúde da Vegetação - VHI**

O VHI (Kogan et al.1997) é calculado a partir do Índice de Condição da Vegetação (VCI) e Índice da Condição da Temperatura (TCI). O VHI tipicamente apresenta alta correlação com precipitação e umidade do solo. O índice é disponibilizado a cada 8 dias com resolução espacial de 4km pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) através do link: [http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh\\_ftp.php](http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_ftp.php) ).

## **2.5 Índice de Suprimento de Água para a vegetação - VSWI**

O VSWI é calculado a partir do NDVI e da temperatura da superfície, ambos do sensor MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua, disponibilizadas pelo Earth Observing System (EOS/NASA), obtendo como produto final um índice com resolução espacial de 250m e 1km. Assim como o VHI, o VSWI relaciona o NDVI com a temperatura da superfície. O VSWI indica condição de seca quando o valor do NDVI é baixo (baixa atividade fotossintética) e a temperatura da vegetação é alta (estresse hídrico). Portanto, o índice também é inversamente proporcional ao conteúdo de umidade do solo é fornece uma indicação indireta do suprimento de água para a vegetação (Cunha et al., 2015). A série mensal de anomalias de VSWI consideradas no presente trabalho compreende o período de 2014-2017.

## **3 ANÁLISE COMPARATIVAS**

Uma vez que o MS se tornou operacional em Julho de 2014, as análises deste trabalho compreendem valores mensais de Julho de 2014 a dezembro de 2018, totalizando 54 meses.

Seguindo a classificação proposta pelo MSNE, os índices numéricos foram categorizados em 6 classes, indo desde condição normal a seca excepcional. As categorias seguiram no caso do SPI os

valores recomendados pelo “*National Mitigation Center*” e adotado pelo MSNE. No caso dos índices VHI e AVWSI, as categorias foram feitas com base em Kogan et al., (1997) e Cunha et al (2018), respectivamente.

No caso do MS, os shapefiles que delimitavam as diferentes classes foram rasterizadas a uma grade regular com resolução de 5 km. Os outros indicadores, de caráter numéricos, foram projetados para a mesma grade regular para permitir comparações em nível de pixel.

Os produtos foram comparados com base à distribuição espacial da mediana das classes no período de estudo.

Além disso, foram escolhidas 10 estações pluviométricas (Tabela 1) distribuídas de maneira a representar os diferentes regimes pluviométricos da região. Para cada estação foram calculadas as séries temporais do SPI, e em seguida o SPI foi classificado de acordo com o SPI – CPTEC e SPI-AJ. Para comparação, calculou-se a mediana dos demais indicadores dentro de um raio de 10 km em torno da localização geográfica de cada estação.

Tabela 1 – Postos pluviométricos utilizados

<b>Código</b>	<b>Município</b>	<b>Período de observação</b>
00536032	Afonso Bezerra /RN	1934-2018
82976	Caracol/PI	1975-2018
82382	Chapadinha/MA	1976-2018
82583	Crateús/CE	1962-2018
83446	Guaratinga/BA	1977-2018
837038	Inajá/PE	1972-2018
83186	Jacobina/BA	1961-2018
82992	Palmeira dos Índios/AL	1961-2018
82780	Picos/PI	1965-2018
82480	Piriri/PI	1976-2018
82392	Sobral/CE	1961-2018

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Distribuição espacial dos índices no período 07/2014-12/2018

A figura 1 mostra a distribuição espacial da mediana do período de estudo dos diferentes indicadores operacionais. De um modo geral, os indicadores baseados em satélites (AVSWI, VHI e SPI\_AJ) apresentam uma melhor concordância do padrão espacial entre si. Essa distribuição espacial observada é coincidente com a distribuição espacial de chuva anual, que é um fator que delimita o semiárido. No caso do AVSWI, a mediana corresponde a seca extrema em várias áreas

do interior do semiárido. Os índices VHI e o SPI\_AJ apresentam comportamento similar ao AVSWI, o que era esperado uma vez que o SPI-AJ é derivado diretamente do VHI.

Com relação ao MS, pode se observar uma predominância de condições de seca severa em grande parte do semiárido. No centro da área estudada, a mediana corresponde a situação de seca excepcional. Já o SPI-CPTEC, a mediana apresenta um padrão diferente com relação aos demais indicadores. De acordo com o SPI-CPTEC, condições de seca severa e extrema são observadas principalmente ao noroeste da área estudada. Como era de se esperar, o SPI-CPTEC é influenciado pela distribuição espacial da rede pluviométrica, que é deficiente em muitas áreas da Bahia, Maranhão e Piauí, o que provavelmente compromete a interpolação espacial dos dados.

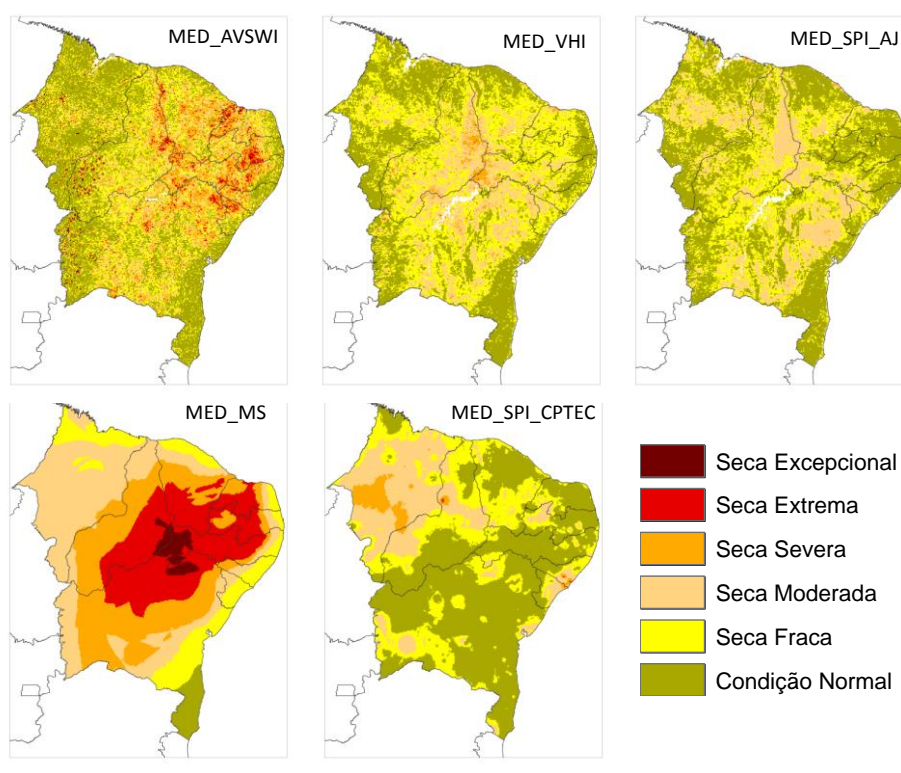


Figura 1 – Distribuição espacial da mediana das categorias de seca no período 07/2014-12/2018.

#### 4.2 Comparação da distribuição de frequências de categorias no período 07/2014-12/2018 dos indicadores em 10 estações selecionadas

A figura 2 mostra os box-plot violino dos diferentes índices de seca avaliados em comparação com o índice de precipitação padronizada das 10 estações da tabela 1, indicado como SPI-OBS para o período de estudo.

Em geral, o mesmo padrão de persistência de seca excepcional e extrema apontado pelo MS é verificado na Figura 2. Em grande parte das estações avaliadas, as medianas das categorias de secas apontadas pelo MS são menores do que as medianas dos demais indicadores de seca, ou seja, existe

uma persistência do MS apontar condição de secas mais extremas, especialmente para as estações inseridas no limite geográfico do semiárido.

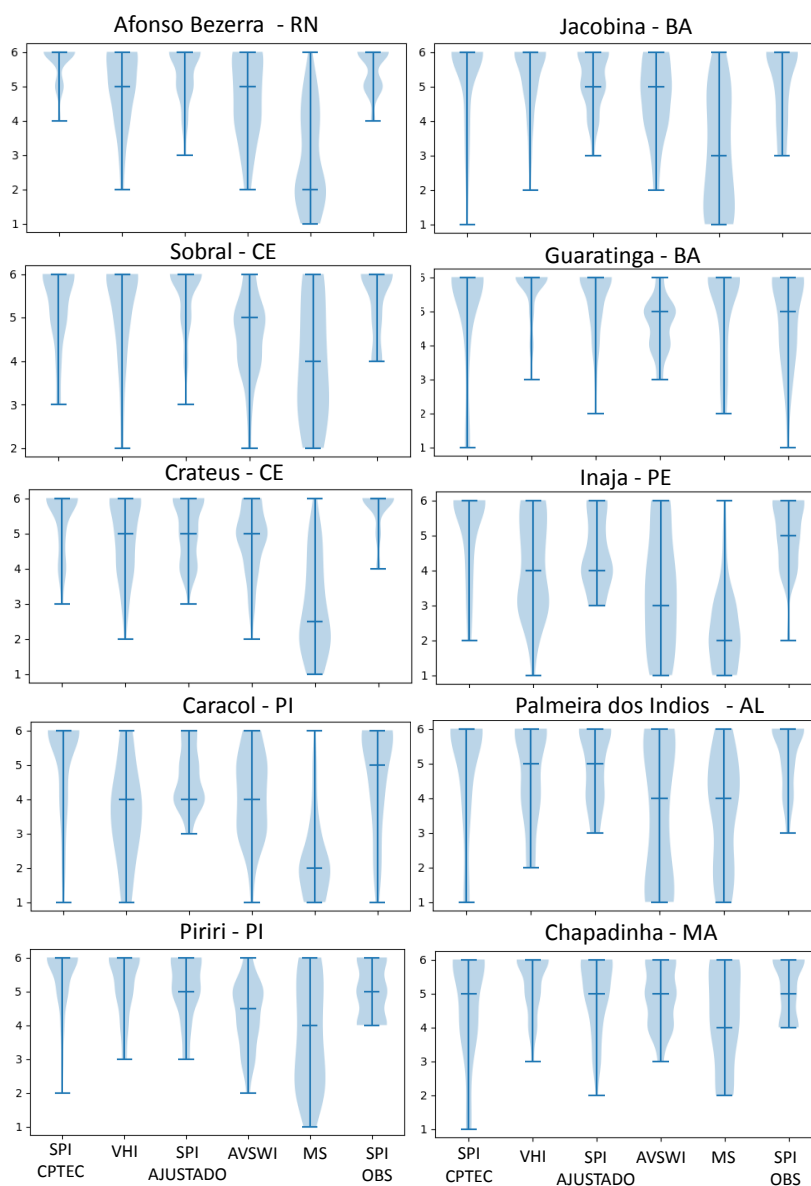


Figura 2: Box-plots violino dos índices avaliados em comparação com o SPI calculado em diferentes localidades da área do estudo.

## 5 CONCLUSÕES

A análise comparativa no sentido espacial indica que:

- Produtos baseados em satélites indicam classes de seca mais severas associadas com área do semiárido
- O monitor da seca apresentou categorias mais severas do que os outros indicadores analisados, seja em recorrência, seja em extensão espacial



- O SPI-CPTEC é afetado por efeitos de interpolação espacial, o que faz que sua distribuição espacial seja dependente da rede de estações pluviométricas

A análise comparativa de 10 postos pluviométricos indicou que

- Os indicadores baseados em satélite (AVWSI, VHI e SPI-AJ) apresentam em geral variação entre categorias mais abrangente do que o SPI calculado a partir de dados de observação de estações meteorológicas
- O SPI-AJ tende a apresentar um padrão de distribuição de frequência similar ao SPI baseado em observações, porém com maior espalhamento
- O SPI-CPTEC apresenta comportamento contrastante, em alguns casos coincidentes com SPI-OBS, em outros diferente, o que sugere que essas discrepâncias são resultados das incertezas inerentes à interpolação espacial.
- O MS mostra uma maior incidência de categorias severas de secas.

Em função da análise, recomenda-se:

- No caso do MS, que sejam dados maiores detalhes de como o indicador é estimado e quais os componentes que determinam a categorização do índice, uma vez que a maior incidência de categorias de seca severa sugere um viés do indicador. É necessário, do mesmo modo que no caso dos indicadores usados pela NOAA (VHI), mostrar como o índice final é construído para que se possa fazer uma avaliação mais aprofundada.
- É necessário se explorar melhor o uso de indicadores baseados em sensores remotos, uma vez que não sofrem os efeitos da distribuição espacial da rede de pluviômetros, que afeta produtos tais como o SPI-CPTEC. No entanto, neste caso, faz-se necessário aplicar melhores métodos para filtragem de ruídos.

Indicadores como o SPI, são amplamente utilizados, em aproximadamente 40% dos sistemas operacionais. Ainda, sistemas modernos (mais de 50%) coletam dados de impacto, mas em geral, a falta de abordagens sistemáticas e protocolos bem definidos torna esses dados in situ fragmentados.

Uma vez que sistemas de monitoramento de secas têm evoluído no uso de indicadores compostos visando capturar um quadro integrado do risco de seca, é necessário que produtos operacionais incluam vários tipos e fontes de dados, baseados em protocolos estabelecidos de maneira a reduzir a subjetividade da avaliação. A credibilidade e confiabilidade de um sistema de alerta contra seca depende não apenas da disponibilidade de dados, mas também de uma criteriosa

escolha de indicadores que contemplem a propagação (temporal e espacial) da seca em diferentes componentes do ciclo hidrológico, e seus impactos nos contextos ecológico, econômico e social.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem ao CNPq, Rede Clima e INCT fase 2 (CNPq-processo nº 465501/2014-1, FAPESP processo nº 2014/50848-9 e CAPES processo nº 16/2014).

## 5 REFERÊNCIAS

- BRITO, S.S.B., CUNHA, A.P.M.A., CUNNINGHAM, C.C., ALVALÁ, R.C., MARENGO, J.A. AND CARVALHO, M.A. (2017) *Frequency, duration and severity of drought in the semiarid Northeast Brazil region*. International Journal of Climatology, 38, 517–529.
- CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos). (2014). Índice Padronizado de Precipitação (SPI). INPE, São José dos Campos.
- CUNHA APM, ALVALÁ RC, NOBRE CA, CARVALHO MA. (2015). *Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region*. Agric. For. Meteorol. 214–215: 494–505.
- CUNHA, A. P. M., TOMASELLA, J., RIBEIRO-NETO, G. G., BROWN, M., GARCIA, S. R., BRITO, S. B., & CARVALHO, M. A. (2018). *Changes in the spatial–temporal patterns of droughts in the Brazilian Northeast*. Atmospheric Science Letters, 19(10), e855.
- CUNHA, A.P.M.A. MARCHEZINI, V., LINDOSO, D.P.L., SAITO, S.M., ALVALÁ, R.C.S. (2019) *Desafios para a Consolidação de um Sistema de Alerta de Risco de Desastre Associado às Secas no Brasil*. Sustentabilidade em Debate. V. 10, n.1,p.60-76.
- GODDARD, S., HARMS, S.K., REICHENBACH, S.E., TADESSE, T., & WALTMAN, W.J. (2003). *Geospatial decision support for drought risk management*. Communication of the ACM, 46(1), 35-37.
- KOGAN, F.N., 1997. *Global drought watch from space*. Bull. Am. Meteorol. Soc. 78,621–636.
- MARTINS, E. S.; DE NYS, E.; MOLEJON QUINTANA, C.; BIAZETO, B.; VIEIRA, R. F.; ENGLE, N. Monitor de Secas do Nordeste, em busca de um novo paradigma para a gestão de secas. Brasília: Série Água Brasil, 10 do Banco Mundial, 2015.
- MCKEE, T.B., DOESKEN, N.J. AND KLEIST, J. (1993) *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. In Eighth Conference on Applied Climatology, January 1993 Anaheim, CA/USA.
- Riebsame, W.E., Changnon JR., S.A., & Karl, T.R. (1991). *Drought and Natural Resources Management in the United States: Impacts and Implications of the 1987-89 Drought*. Westview Press, Boulder, CO. 174 pp.
- VICENTE-SERRANO, S. M., BEGUERÍA S, AND LÓPEZ-MORENO JI. (2010) *A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index*. J. Climate, 23, 1696– 1718.
- UNISDR. Drought Risk Reduction Framework and Practices:contributing to the implementation of the Hyogo. Framework for Action. United Nations secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), Geneva, Switzerland, 213 p. 2012.
- WILHITE, D.A., (2000). *Preparing for drought: a methodology*. In *Drought: A Global Assessment*, Wilhite DA (ed.). Routledge, 2, 89-104.
- WILHITE, D.A., & WOOD, D.A. (1994). *Drought Management in a Changing West: New Directions for Water Policy*. IDIC Technical Report 94-1. International Drought Information Center, University of Nebraska-Lincoln.