



XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ANÁLISE DOS EVENTOS DE SECA NO NORDESTE SETENTRIONAL BRASILEIRO COM BASE NO ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO NORMALIZADA

*Luiz Martins de Araújo Júnior¹, Francisco de Assis de Souza Filho², Cleiton da Silva Silveira¹,
Tyhago Aragão Dias¹, James Doss-Gollin³*

RESUMO – Este trabalho tem como objetivo avaliar a persistência da seca meteorológica ao longo dos anos e caracterizar tanto espacialmente como temporalmente níveis de severidade de seca para o Nordeste Setentrional Brasileiro (NSB). A fim de alcançar os objetivos traçados alguns índices podem ser utilizados como índice de Palmer, o índice de severidade da seca de Palmer e o índice normalizado de precipitação. Para esse estudo o índice utilizado foi o índice de precipitação normalizada (SPI). Os resultados mostraram, temporalmente, que com o passar dos anos as secas têm ficado cada vez mais severas e cada vez mais estações meteorológicas têm sido incluídas em alguma categoria de seca. Isso mostra a necessidade da criação de um planejamento eficaz que possa ser desenvolvido ao longo de todo o ano e não apenas em época de secas extremas mais generalizadas.

ABSTRACT – The objective of this work is to evaluate the persistence of inter-annual meteorological droughts and to characterize them both spatially and temporally in levels of severity for the Brazilian Septentrional Northeast (NSB). Commonly used tools are the Palmer index, the Palmer drought severity index, and the normalized precipitation index. For this study the normalized precipitation index was utilized. Temporal analysis reveals that as time passes, drought severity is increasing and have reached increasing meteorological seasons. This analysis demonstrates the necessity to develop an effective drought management plan for use not only during the most severe droughts but throughout the entire year.

Palavras-Chave – Seca , SPI e Nordeste Setentrional

1) Doutorando em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará, Av.Mister Hall,S/N, Campus do Pici, bloco 713, Fortaleza, CE, CEP:60.455-760, e-mail: lu.m.a.junior@gmail.com.

2) Professor Titular do Curso de Doutorado em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará, Av.Mister Hall,S/N, Campus do Pici, bloco 713, Fortaleza, CE, CEP:60.455-760, e-mail: assissouzafilho@gmail.com.

3) Graduando em Engenharia Mecânica pela Yale, Connecticut, e-mail: james.dossgollin@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A seca é um fenômeno recorrente que tem afligido diversas civilizações ao longo da história. Ela afeta ecossistemas, setores econômicos e sociais, abastecimento urbano de água, entre outras coisas. A grande variedade de setores afetados pela seca, a sua diversificada distribuição geográfica e temporal, e a demanda alocada para o abastecimento de água por uso humano torna difícil o desenvolvimento de uma única definição de seca (HEIM JR, 2002).

Segundo a literatura científica existem basicamente 4 tipos de seca, que são meteorológica ou climatológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica. A relação entre esses diferentes tipos de seca é complexa.

Nesse contexto, algumas avaliações numéricas são necessárias para efeitos de comparação de medidas de seca de região para região, bem como para a comparação de eventos de secas passados. No entanto, a discordância que existe sobre a definição de seca torna impossível criar um índice de seca universal. As características da seca e a ampla gama de setores econômicos em que se tem um impacto faz com que seu efeito seja difícil quantificar. Desse modo, devido à complexidade da seca, um único índice não tem sido capaz de captar adequadamente a intensidade e a gravidade da seca e seus potenciais impactos sobre um grupo tão diversificado de usuários. Várias metodologias têm sido desenvolvidas e utilizadas na análise de secas.

Índices de seca são comumente utilizados na monitorização e identificação das secas em várias escalas temporais. Dentre estes os mais difundidos pela sua utilização são o índice de Palmer, PDSI (*Palmer Drought Severity Index*) e o índice normalizado de precipitação, SPI (*Standardized Precipitation Index*).

O índice de seca de Palmer (1965) foi criado com o intuito de identificar e avaliar a severidade das secas na região de “Great Plains” dos EUA. Esse índice tem como base o balanço hídrico do solo, cujos cálculos utilizados são a precipitação, a evapotranspiração potencial calculada pelo método de Thornthwaite e a capacidade utilizável do solo. O índice normalizado de precipitação, SPI, desenvolvido recentemente por McKee *et al.* (1993, 1995), teve grande divulgação e baseia-se na distribuição de probabilidade da precipitação e pode ser calculado em diferentes escalas de tempo. Por ser um índice normalizado, permite adequada comparação entre diferentes locais e climas. Além disso, a aplicação de métodos estocásticos às séries de SPI permitiu o desenvolvimento de uma metodologia de alerta das secas que é aparentemente promissora na perspectiva de implementação das medidas de mitigação de secas (Paulo *et al.*, 2005).

Nesse contexto, o objetivo desse estudo é verificar a persistência da seca meteorológica no Nordeste Setentrional Brasileiro (NSB) ao longo dos anos, ou seja, avaliar se todo ano é ano de seca no NSB, pois as secas nem sempre são gerais, podendo ocorrer de maneiras mais localizadas ou pontuais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

No desenvolvimento desse estudo foram utilizados dados diários de precipitação das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), entre o período de 1961 e 2012, para a região do NSB localizada entre as latitudes 0° e 10°S e as longitudes 34°W e 43°W (Figura 01). A Tabela 01 mostra a identificação e a localização das estações meteorológicas utilizadas no trabalho.

Tabela 01 – Identificação e localização das estações meteorológicas.

CÓDIGO DA ESTAÇÃO	LONGITUDE	LATITUDE	CÓDIGO DA ESTAÇÃO	LONGITUDE	LATITUDE
82287	-41,76	-3,08	82753	-40,04	-7,90
82294	-40,14	-2,88	82777	-40,38	-7,00
82296	-42,28	-3,41	82780	-41,48	-7,03
82298	-42,25	-3,90	82784	-39,30	-7,31
82392	-40,33	-3,73	82789	-38,11	-7,81
82397	-38,53	-3,81	82791	-37,26	-7,01
82474	-41,80	-4,28	82792	-37,06	-7,88
82480	-41,78	-4,26	82795	-35,88	-7,22
82487	-39,00	-4,28	82797	-35,71	-7,83
82493	-37,76	-4,78	82798	-34,86	-7,10
82578	-42,81	-5,08	82879	-42,25	-8,35
82583	-40,66	-5,16	82882	-41,13	-8,13
82586	-39,28	-5,16	82886	-39,33	-8,51
82588	-38,36	-5,11	82890	-37,08	-8,41
82590	-37,81	-5,61	82892	-36,76	-8,40
82594	-36,57	-5,15	82893	-36,51	-8,88
82596	-35,65	-5,65	82900	-34,95	-8,05
82598	-35,20	-5,91	82979	-42,10	-9,63
82683	-40,41	-6,00	82983	-40,48	-9,38
82684	-41,90	-7,85	82986	-38,21	-9,36
82686	-39,29	-6,36	82989	-37,90	-9,28
82689	-38,21	-6,75	82990	-37,43	-9,75
82690	-37,08	-6,46	82992	-36,70	-9,44
82691	-36,81	-6,11	82994	-35,70	-9,66
82693	-36,58	-6,43	82996	-35,43	-9,18
82696	-35,68	-6,97			

Os dados diários adquiridos foram transformados em series mensais e, em seguida, esses foram utilizados para o cálculo do índice de precipitação normalizada, SPI, ao qual foi feita uma escolha de escala temporal. A escala de tempo utilizada para o cálculo do índice esta diretamente relacionada com o tempo necessário para que os efeitos da seca sejam sentidos sobre os diferentes setores de atividades e sobre os recursos hídricos em geral.

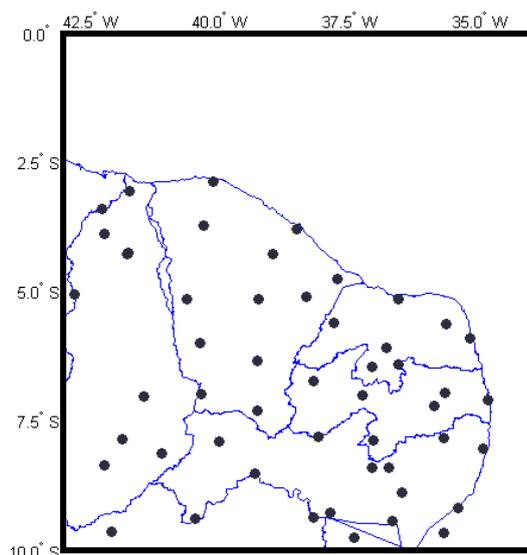


Figura 01 – Mapa de localização das estações meteorológicas do INMET no Nordeste Setentrional Brasileiro.

Quando os impactos de uma seca ocorrem de maneira imediata sobre a agricultura de sequeiro, a qual depende do armazenamento de água do solo, tem-se assim que os tempos de resposta são curtos. Atividades resultantes das reservas de águas superficiais podem, ou não, vir a ser afetadas posteriormente, correspondendo-lhes tempos de resposta mais longos. As atividades dependentes de reservas subterrâneas são, em geral, as últimas a ser afligidas pela seca, compreendendo tempos de resposta ainda mais longos.

Com isso, tem-se que o tempo de recuperação depende da duração da seca, da sua severidade e da precipitação observada após o seu término. Deste modo, escalas de tempo mais curtas ou mais longas refletem diferentes tempos de desfasamento na resposta dos diferentes tipos de recursos hídricos às anomalias de precipitação. Para esse trabalho a escala temporal utilizada foi a de 12 meses, ou seja, uma escala de tempo anual afim de verificar a variação interanual da precipitação.

O SPI é um índice adimensional em que valores negativos indicam seca e valores positivos indicam períodos úmidos. Com esse índice, a intensidade da seca, a magnitude e a duração podem ser determinadas, bem como a probabilidade de surgir a partir de uma série histórica uma seca específica.

Para o cálculo do SPI, basicamente calcula-se a precipitação acumulada de cada mês, para a escala de tempo escolhida, ajusta-se uma distribuição de probabilidade a esse acúmulo de precipitação, estima-se os valores da distribuição de probabilidade correspondente aos valores de precipitação acumulada e converte os valores de probabilidade acumulada obtidos em valores do SPI que correspondem à variável normal reduzida.

A distribuição de probabilidade utilizada no ajuste da precipitação acumulada foi a gama dois parâmetros, definida por

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, x > 0 \quad (1)$$

em que $\alpha > 0$ é o parâmetros de forma, $\beta > 0$ o parâmetro de escala, x é a precipitação acumulada e

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

a função gama. A distribuição gama, conforme exposto na equação (1), só está definida para $x > 0$, logo quando um dado mês apresenta valores nulos de precipitação total, faz-se necessário o uso de uma transformação da distribuição de probabilidade acumulada, dada por

$$F(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (3)$$

sendo $G(x)$ conhecida como função gama incompleta, que é a função de distribuição estimada a partir dos valores não nulos da série de dados utilizada e q a probabilidade de zeros na amostra. Com isso, o SPI é definido, conforme Pereira e Paulo (2004), como,

$$SPI = \varphi^{-1}[F(x)] \quad (4)$$

em que φ a função de distribuição normal reduzida. Os valores de SPI podem ser classificados conforme a Tabela 2, onde foi considerado apenas valores negativos de SPI.

Tabela 02 – Classificação dos valores de SPI de acordo do o Monitor da Seca.

SPI	Classificação	Categoria
0 a -0,99	D0	Seca Ligeira
-1,00 a -1.49	D1	Seca Moderada
-1,50 a -1,99	D2	Seca Severa
$\leq -2,00$	D3	Seca Extrema

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 02 é apresentado a porcentagem do número de estações do INMET, inseridas no NSB, em cada nível de classificação (D0,D1,D2,D3) de severidade da seca do SPI, para o período de 1962 a 2012.

Da Figura 02 nota-se que na primeira metade da década de 1980 ocorreu uma seca generalizada em praticamente todo o NSB, em que anos como o de 1980 e 1984 mais de 80% das estações estavam em condições de secas extremas (D3). Na década de 1990, verificam-se alguns picos de seca generalizada nos anos de 1991, 1994 e 19998 sendo esse último ano uns dos mais sofríveis, pois mais de 90% encontravam-se em condições de secas extremas (D3).

Outro nível de seca, mais ameno, porém de severidade ainda bastante preocupante é o de categoria D2, destacado principalmente na primeira metade da década de 1980, com picos de porcentagem por volta de 70%, indicando o acontecimento de uma seca generalizada na área em estudo.

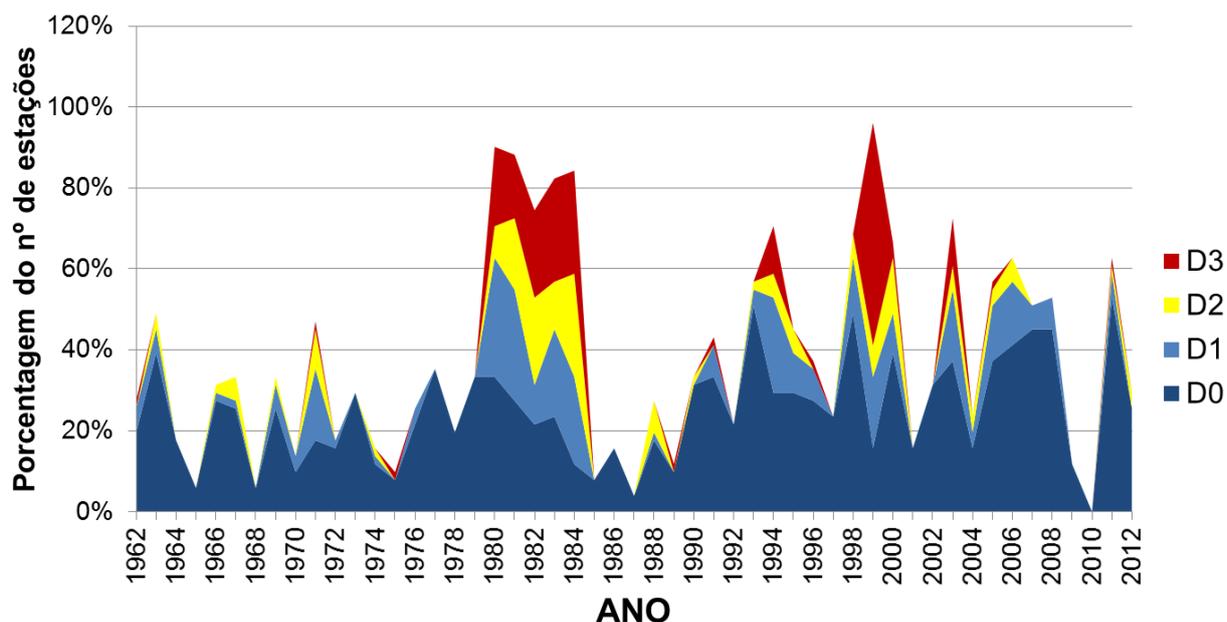


Figura 02 – Porcentagem do número de estações do NSB classificadas categorias D0, D1, D2 e D3 entre 1962 e 2012.

Ainda com relação à Figura 02, é possível observar secas de ligeiras (D0) a moderadas (D1) ao longo de praticamente toda a série histórica, essas categorias de seca não ultrapassaram os 40% dos números de estações em todo o NSB até o final da década de 1970, com porcentagem de categorias de seca mais elevadas muito baixa, indicando que esse período pode ser considerado úmido. Na década de 1990 e 2000, as categorias D0 e D1 ultrapassaram a porcentagem de 40% das estações e categorias de secas mais elevadas ultrapassando 60% dos números de estações, indicando que esse período é bem mais seco que o anteriormente citado.

Outro ponto a ser destacado na Figura 02, é o ano de 2010, que 0% das estações do NSB apresentou algum nível de seca, demonstrando ser um ano atípico, com o acontecimento de chuvas intensas em meio a longos períodos de secas.

A Figura 03 mostra a distribuição espacial da classificação do SPI para os anos de 1981 e 1998, anos de maiores porcentagens de estações nas categorias D2 e D3, respectivamente. No ano de 1981 nota-se uma grande desuniformidade espacial da seca, em que dentro de um mesmo estado, por exemplo o Ceará, é possível observar todas as categorias de secas arbitradas. Para o ano de 1998, verifica-se uma tendência de uniformidade espacial da seca na parte leste do NSB, na categoria D3, indicativa de seca extrema, e na parte oeste do NSB percebe-se uma maior concentração de estações com nível de severidade de seca menor.

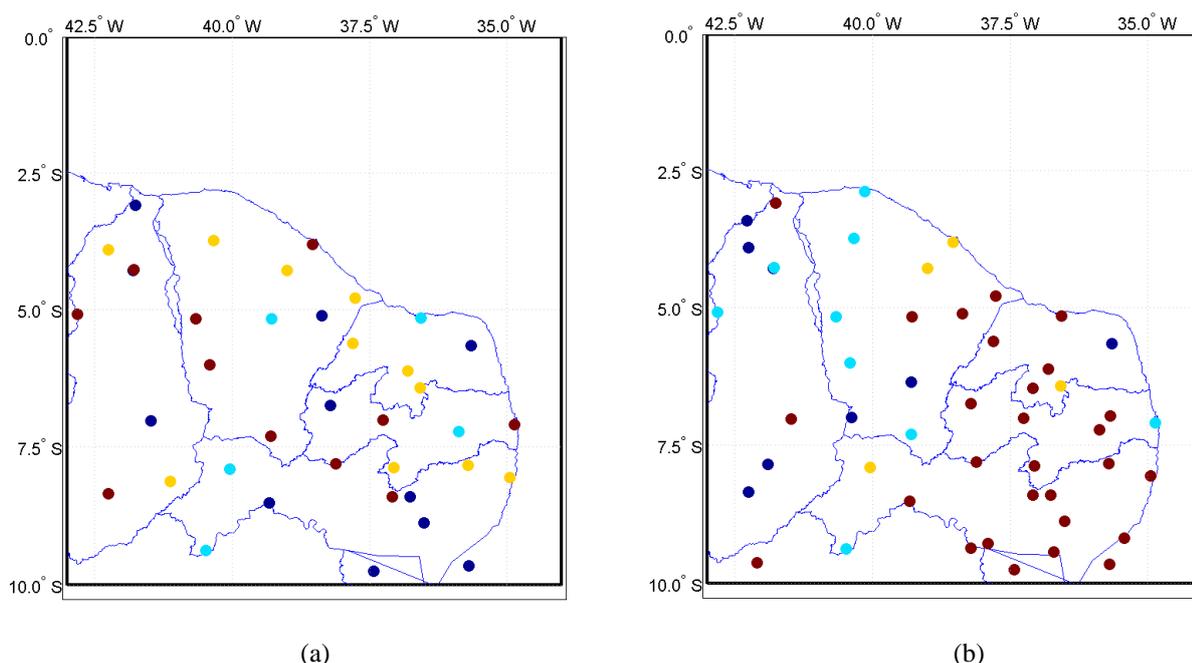


Figura 03 – Mapa de classificação da severidade de seca, em que azul escuro é D0, azul claro é D1, amarelo é D2 e marrom é D3, sendo (a) 1981 e (b) 1998.

4 CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo mostram o comportamento espacial e temporal para uma melhor caracterização e monitorização das secas. Através deles foi possível concluir, temporalmente, que ao longo dos anos as secas têm ficado cada vez mais severas e cada vez mais estações têm sido incluídas em alguma categoria de seca. Espacialmente, tem-se que uma determinada categoria de seca pode se dar de maneira mais generalizada ou de modo mais localizado.

Com isso, é possível afirmar que praticamente todo ano é ano de seca, seja essa seca um pouco mais generalizada ou não, e isso mostra a necessidade da criação de um plano de contingência ou um plano de gestão de seca contínuo, isto é, um planejamento eficaz que possa ser desenvolvido ao longo de todo o ano e não apenas em época de secas extremas mais generalizadas.

Desta maneira, a longo prazo seria possível melhorar a eficiência de uso da água e a curto prazo poderia se desenvolver estratégias de mitigação para a escassez de água, evitando ou diminuindo os impactos durante a ocorrência de eventos mais extremos de seca.

BIBLIOGRAFIA

HEIM JR, R. R. (2002). “A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States”. American Meteorological Society.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. (1993). “*The relationship of drought frequency*

and duration to time scales” in 8th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Boston, pp. 179-184.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. (1995). “*Drought monitoring with multiple time scales*” in 9th Conference on Applied Climatology American Meteorological Society, Boston, pp. 233-236.

PALMER, W. (1965). “*Meteorological Drought*”. U.S. Weather Bureau, Res. Paper N° 45, Washington.

PAULO, A. A.; FERREIRA, E.; COELHO, C.; PEREIRA, L. S. (2005). “*Drought class transition analysis through Markov and Loglinear models, an approach to early warning*”. Agricultural Water Management, 77, pp. 59–81.

PEREIRA L.S.; PAULO, A.A. (2004). “*Indicadores de Escassez de Água: Índices de Secas*” in Conf. Conv. Workshop Indicadores y Tecnologías de Uso del Agua en las Tierras secas de Iberoamérica (Proyecto CYTED XVII-1, Junho 2004) CYTED, Mendoza, Argentina.