

XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ADAPTAÇÃO DO MÉTODO DE PALMER (PDSI) PARA A REGIÃO SEMIÁRIDA PERNAMBUCANA

Ana Alice Peregrino Pinto¹ ; Giovana Bueno Alves² & José Roberto Gonçalves de Azevedo³

RESUMO – A seca é um fenômeno natural que gera prejuízos em vários países e para o qual é difícil encontrar uma definição que abranja sua complexidade, embora existam diversos conceitos oficiais. Como diversos fatores afetam a severidade de uma seca, ela pode ser analisada sob diferentes perspectivas disciplinares, incorporando fatores físicos, biológicos, socioeconômicos, dentre outros. O Índice de Severidade da Seca de Palmer (PDSI) é um dos métodos de avaliação da severidade da seca mais conhecido, desenvolvido nos Estados Unidos, e foi adaptado para realização do presente estudo, no qual foram utilizados 38 postos pluviométricos localizados na Bacia do Brígida, no estado de Pernambuco. O método de Hargreaves & Christiansen foi escolhido para cálculo da evapotranspiração, e foi feita uma reavaliação dos valores dos índices de classificação das secas do método original. Comparando os resultados do método original e da adaptação, a severidade da seca se manteve proporcional entre ambos, porém sua duração teve resultados opostos. Para o método original, a tendência é de que a duração aumente, já para a adaptação a tendência é de que diminua. Pode-se observar comportamento similar entre os períodos de secas resultantes de cada método.

ABSTRACT – Drought is a natural phenomenon that results in losses through many countries and for which it is difficult to find a definition that covers all its complexity, although there are several official concepts. As many factors affect the severity of the drought it can be analyzed from different disciplinary perspectives, incorporating different factors such as physical, biological, socioeconomical, among others. Palmer's Drought Severity Index (PDSI) is one of the most known methods of evaluation of the severity of a drought, developed in the United States, and was adapted for the accomplishment of the present study, in which were used 38 stations within the Brigida river watershed, in the state of Pernambuco. The method of Hargreaves e Christiansen was chosen for computation of evapotranspiration, and an revaluation of the values of the index that classify the drought in the original method. Comparing the results of the original method and its adaptation, the drought severity remained proportional between both, however the duration results were conflicting. For the original method, the tendency is an increase of the duration, while with the adaptation the tendency is of decrease. It can be observed similar behavior between the drought periods resulting from each method.

Palavras-Chave – Seca; Índice de Severidade de Seca de Palmer; Semiárido Brasileiro.

1) Departamento de Engenharia Civil - Centro de Tecnologia e Geociências - Universidade Federal de Pernambuco. Av. da Arquitetura, S/N, Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil. E-mail: aalicep.01@gmail.com

2) Departamento de Engenharia Civil - Centro de Tecnologia e Geociências - Universidade Federal de Pernambuco. Av. da Arquitetura, S/N, Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil. E-mail: alvesbuenogiovana@gmail.com

3) Departamento de Engenharia Civil - Centro de Tecnologia e Geociências - Universidade Federal de Pernambuco. Av. da Arquitetura, S/N, Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil. E-mail: jose.azevedo@ufpe.br

INTRODUÇÃO

Palmer (1965), define a seca como “um período de tempo, geralmente com duração de ordem de meses ou anos, durante o qual a umidade de uma área é constantemente menor do que a umidade esperada ou apropriada desta área. A severidade dessa seca é considerada como função tanto da duração como da magnitude dessa deficiência”.

O Índice de Severidade de Secas de Palmer (PDSI) teve sua origem nos Estados Unidos, em uma região de clima continental. O objetivo de Palmer (1965) era de gerar um índice padronizado, comparável em diferentes localidades e em qualquer época do ano, e para isso ele julgou necessário encontrar um fator de padronização.

Vários autores aplicaram o método em diferentes regiões do Brasil, e realizaram adaptações buscando resultados que melhor correspondessem ao clima local. Neste trabalho buscou-se uma adaptação do método que melhor representasse a realidade da bacia do rio Brígida, região localizada em Pernambuco, no Nordeste do Brasil.

A adaptação realizada foi comparada com o trabalho de Faeirsten (2018), também realizado na Bacia do Brígida. Os resultados mostram uma tendência geral de aumento da severidade das secas ao longo dos anos, e uma redução na duração média das mesmas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área escolhida para estudo é a bacia hidrográfica do rio Brígida, localizada no Estado de Pernambuco, na Região Nordeste do Brasil. Segundo a Embrapa o clima da região (semiárido quente) conta com temperaturas próximas de 27°C, baixa nebulosidade, forte insolação, índices elevados de evaporação e estação chuvosa irregular e torrencial de novembro a abril, com precipitação variando de 250 a 750 mm anualmente, deixando de ocorrer durante alguns anos e provocando secas.

A presente pesquisa utilizou dados obtidos de 38 postos pluviométricos cujas séries históricas de pluviometria foram obtidas a partir do portal Hidroweb, constando de dados mensais desde 1961 até 2016, e com o preenchimento de falhas tendo sido previamente executado por Silva (2017), utilizando um aplicativo desenvolvido por Azevedo (2017).

A região estudada conta com apenas duas estações meteorológicas automáticas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), próximas, e devido à escassez de dados da região e similaridade do comportamento dos dados, para o presente estudo foram utilizados os mesmos dados de temperatura máxima, média e mínima da estação do INMET de Cabrobó para os demais 37 postos.

O Método de Palmer

O método, como descrito por Palmer (1965), determina o PDSI a partir de parâmetros do balanço hídrico e utilizando os períodos de maior seca para cada um dos 38 postos da região de estudo. A partir desses períodos são arbitrados valores representativos de uma seca extrema, severa, moderada e suave (denominado através do parâmetro X) e são realizadas regressões lineares que resultaram na equação da característica climática (K), pela qual se estabelece uma forma de comparar dados obtidos em uma mesma região em épocas diferentes, ou em regiões diferentes. O índice X que vai definir a severidade de uma seca em uma dada região.

Adaptação do método de Palmer para a bacia do Brígida

As adaptações realizadas no presente estudo alteram as equações de K, X e o método utilizado para o cálculo da evapotranspiração, tendo como justificativas as críticas de diversos autores sobre alguns aspectos do método original, que são informadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Críticas feitas ao método de severidade de seca de Palmer.

Critica	Autor	Razão
Utilização do método de Thornthwaite & Mather (1955)	Palmer (1965); Alley (1984); Azevedo & Silva (1994)	A não existência de um método universal para cálculo do balanço hídrico. Allen et al. (1998) recomenda a utilização do método de Penman-Monteith (FAO).
Adaptação do K', por utilizar apenas nove localidades dos Estados Unidos	Alley (1984); Wells et al. (2004)	Não produzir confiabilidade que permitisse, em nível nacional, a comparação de condições hídricas de diferentes regiões, tornando necessária a adaptação do método, dificultando ou até mesmo impossibilitando as comparações espaciais de valores do índice.
Valor do PDSI=-4, escolhido de forma arbitrária, para designação de uma seca extrema	Alley (1984)	O valor é baseado em uma equação que levou em conta, para seu desenvolvimento, apenas dados de Kansas e Iowa.

Fonte: Os autores (2019).

A partir dos dados de entrada, são calculados os demais dados do balanço hídrico de cada posto. Para isso foi utilizada a metodologia de Palmer (1965), como aplicada por Fairstein (2018) e Silva (2017).

Com base nos trabalhos de Fairstein (2018) e Silva (2017), foi utilizado o método apresentado por Hargreaves e Christiansen (1973) para cálculo da evapotranspiração, já modificado para os dados climáticos disponíveis no Brasil, como citado por Studart (2006), utilizando apenas dados de temperatura e umidade.

Seguindo a metodologia de Palmer (1965), são obtidos os coeficientes de evapotranspiração (α), recarga (β), runoff (γ) e perda (δ) e com estes são calculados os valores CAFEC para evapotranspiração, recarga de umidade do solo, runoff, perda de umidade do solo e para a precipitação. Por fim, ainda como o método original, calcula-se a anomalia de precipitação mensal (“d”) e a primeira estimativa de K (o “k”).

Para obter a Equação 1, Palmer (1965) primeiro obteve a equação do somatório de z (primeira aproximação do índice de anomalia de umidade), para a qual utilizou os períodos de piores secas.

$$\sum z = -4,297360 * t - 25,711038 \quad (1)$$

Assim, foram calculados os piores valores de somatório de z em cada posto para intervalos de 3, 6, 9, 12, ..., até 48 meses e realizado um ajuste linear dos piores valores para cada um dos intervalos de tempo dentre os 38 postos (Figura 1), gerando a Equação 1.

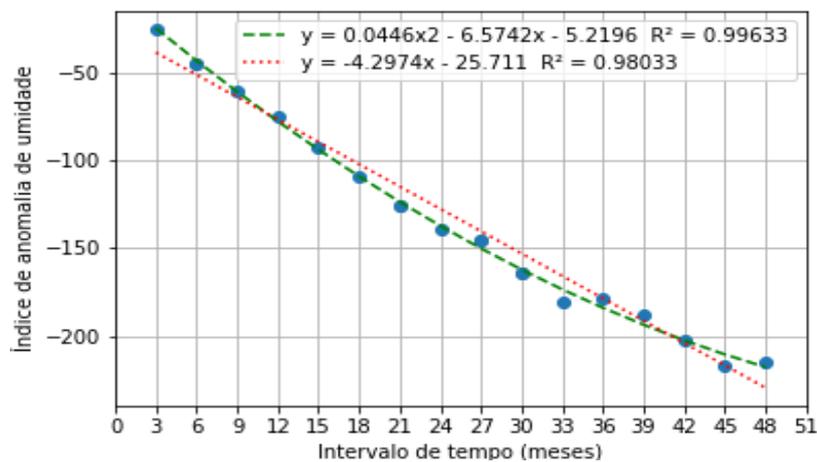


Figura 1 - Gráfico de piores secas (Σz) para diversos períodos de tempo.

Fonte: Os autores (2019).

Com esses valores também foram estimados novos valores de X que representam os intervalos de intensidade das secas. Foi proposto o valor de -6, utilizando como critério de escolha a frequência de valores do índice de severidade de seca, a ser comentado mais a frente, dividindo os intervalos de forma que a porcentagem da frequência de cada tipo de seca ficasse aproximadamente similar, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Distribuição dos valores por intervalo de PDSI

Intervalos	Frequência	%
0.00 a -1.49	2557	16.10%
-1.50 a -2.99	3066	19.31%
-3.00 a -4.49	3237	20.39%
-4.50 a -5.99	3173	19.98%
≤ -6.00	3846	24.22%

Fonte: Os autores (2019).

Com o valor de X determinado para seca extrema e constatando-se que os pontos referentes a t = 12 e t = 36 meses eram bem representados pelo ajuste linear (Figura 1), criou-se um sistema que resultasse nos coeficientes a e b da equação desejada, mostrada abaixo:

$$Xi = \sum_{t=1}^i zi / (0,7162 * t + 4,2852) \quad (2)$$

Porém, como Palmer (1965), concluiu-se que a equação precisaria de uma constante “c” para evitar que um mês anormalmente úmido reflita nos valores de Σz por tempo demais, mascarando a seriedade de uma seca futura. O valor de “c” foi encontrado considerando a contribuição individual de cada mês (i = 1 e t = 1), resultando na Equação 3 mostrada abaixo:

$$\Delta X = \frac{z1}{5,0014} + c * Xi - 1 \quad (3)$$

Considerando Xi como uma diferença entre dois meses subsequentes (Xi = ΔX), Palmer argumenta que a condição de contorno na qual estamos interessados é a que mantém uma dada seca com a mesma severidade (ΔX = 0). Foi criada a Tabela 3, assim como feito por Palmer.

Tabela 3 – Ajuste do valor de “c” na equação do PDSI

Ti-1	Xi-1	$\Sigma zi-1$	ΔXt	Ti	Xi	Σzi	Δzi
1	-1	-50.014	0	2	-1	-57.176	-7.162
9	-1	-107.312	0	10	-1	-114.474	-7.162
1	-3	-150.042	0	2	-3	-171.529	-21.487
9	-3	-321.936	0	10	-3	-343.423	-21.487

Fonte: Os autores (2019).

A partir desses valores, foi possível encontrar $\Delta z = \Sigma zi - \Sigma zi-1$, que é o valor usado na Equação 3 para calcular o c. Para os dados da bacia do Brígida, as manipulações resultaram na equação final para o PDSI:

$$X_i = X_{i-1} + \frac{z_i}{5,0014} - 0,14321 * X_{i-1} \quad (4)$$

A equação para o valor de K foi obtida a partir dos pontos plotados em um gráfico constando, nas abscissas, uma relação entre as variáveis do balanço hídrico $((PE + R + RO)/(P + L))$, e nas ordenadas, uma relação entre o valor do pior somatório de z para o período de doze meses ($\sum z_{12} = -77,23$) e os piores somatórios de d, também para o período de 12 meses, para cada um dos 38 postos, gerando o gráfico mostrado abaixo na Figura 2, utilizou-se o ajuste linear para os pontos plotados, o que gerou a Equação 5 a seguir.

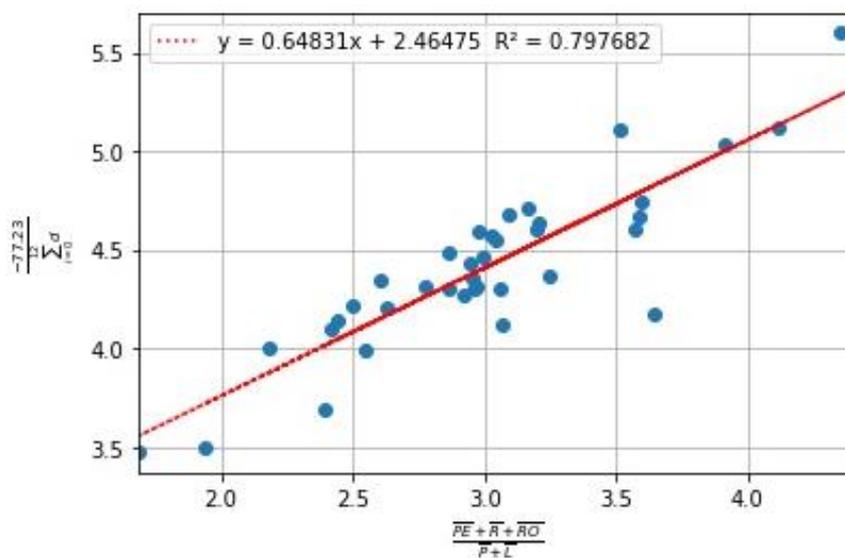


Figura 2 - Gráfico do ajuste linear para K.

Fonte: Os autores (2019).

$$K' = 0,646724 * \left(\frac{\frac{PE+R+RO}{P+L}}{D} \right) + 2,465293 \quad (5)$$

A partir dessa equação, foi possível calcular o DK' médio dos 38 postos, o que gerou a equação abaixo para o valor final de K:

$$K = \frac{61,11}{\sum_{i=1}^{12} DK'} K' \quad (6)$$

A melhor estimativa do valor de K permite calcular “Z”, o índice de anomalia de umidade propriamente dito com o qual é calculado o PDSI.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após aplicação do método de Palmer, adaptando o artigo original às especificidades da região estudada, uma análise dos resultados obtidos foi realizada. Os principais pontos de discussão são descritos a seguir.

Determinação do fator de ponderação

Recalculando o fator de ponderação, foi encontrado o valor de Σz de -77,23 para a Bacia do Brígida contra -25,6 obtido por Palmer. Blain (2005), em sua adaptação, utilizou a equação original de Palmer para obter DK' , porém encontrou também um somatório de z , sendo ele de -27,85.

Um dos fatores adaptados foi o fator X que designa uma seca extrema. Palmer (1965) obtém esse valor de forma arbitrária, porém sua aplicação na região do presente estudo se torna inviável, pois mais de 40% das secas seriam classificadas como extremas nesse caso.

Essas adaptações resultaram então no fator DK' de 61,11 e nas Equações 4, 5 e 6. A Tabela 4 resume os diferentes DK' obtidos no Brasil.

Tabela 4 – Valores de DK' obtidos em adaptações do PDSI para o Brasil

Palmer (1965)	Blain (2005)	Limeira et al. (2007)	Atual
17,67	22,8	21,87	61,11

Fonte: Os autores (2019).

O valor de 61,11 é discrepante em relação aos demais valores, porém isso pode ser justificado pela proporcionalidade deste valor com o do Σz para 12 meses obtido. O valor de 17,67 de Palmer é 33% do valor DK' obtido, porém o Σz para 12 meses de Palmer (-25,6) é 29% de -77,23, como podemos observar na Tabela 5 abaixo:

Tabela 5 - Comparação de percentuais entre os valores de Palmer e a atual adaptação.

	Somatório do z	DK médio	% do z em relação a Palmer	% do DK médio em relação a Palmer
Palmer	25,6	17,67	33%	29%
Atual	77,2794	61,1125		

Fonte: Os autores (2019).

Na Figura 1 é também perceptível a proximidade de ambas as regressões (linear e polinomial) com os dados do gráfico. Porém, analisando a diferença entre os valores reais e calculados ao quadrado, para cada uma das regressões temos uma grande discrepância, sendo o erro do ajuste linear 81,34% maior que o do ajuste polinomial referente aos mesmos dados. Este erro pode ter resultado da diferença de 4% entre a relação do Σz e o DK médio, analisando o método original de Palmer e a adaptação realizada (Tabela 5). Torna-se, então, interessante o ajuste dessa equação como polinomial. No entanto, para isso seria também necessário encontrar uma adaptação linear para a constante c , o que não foi realizado ao longo deste estudo, tendo sido mantida a regressão linear.

Comparação da utilização da equação de Palmer e a equação adaptada

Para comparação, foi utilizado o trabalho de Fairstein (2018), que utiliza as equações originais do método de Palmer (1965) para encontrar calcular o PDSI. A Tabela 6 resume os resultados obtidos aplicando ambas as adaptações por meio das planilhas eletrônicas.

Tabela 6 – Resultados da aplicação de ambas as adaptações

	Método adaptado por Fairstein (2018)	Adaptação atual
Nº de períodos de seca	1105	1182
Média de secas por posto	29	31
Média da duração das secas	11,2 meses	10,45 meses
% de periodos de seca extrema	18%	15%
% de periodos de seca severa	15%	14%
% de periodos de seca moderada	28%	31%
% de periodos de seca leve	39%	40%

Fonte: Os autores (2019).

A partir dos resultados pode-se também analisar as tendências em relação a severidade e duração dos períodos de seca. Pela adaptação de Fairstein (2018) em relação a severidade da seca, para 15 dos 38 postos a tendência é de redução do índice de Palmer, porém apenas um posto tem a tendência de diminuir sua duração. Ao analisar mais profundamente este posto (cód. 740023 – Serra Branca), o número de secas diminui de 26 secas para 25, e a severidade aumenta, porém permanece proporcional aos resultados obtidos pela primeira adaptação, assim com a duração permanece (Figuras 3 e 4).

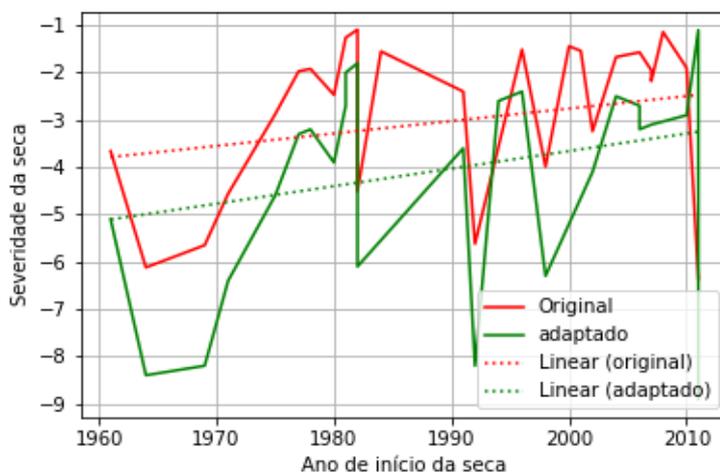


Figura 3 - Relação das severidades das secas obtidas em Serra Branca

Fonte: Os autores (2019).

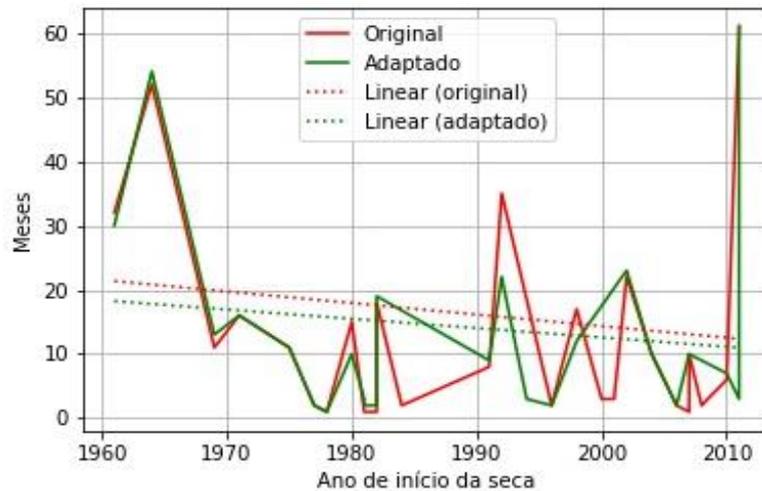


Figura 4 - Relação das durações das secas obtidas em Serra Branca

Fonte: Os autores (2019).

Avaliando os diferentes valores de PDSI deste mesmo posto para a seca extrema para cada um dos métodos, obtemos que o método original, cujo X da seca extrema é -4, é 66,67% do valor do X para a adaptação atual (-6). Ao reduzirmos em 66,67% os valores obtidos com a nova adaptação, obtemos o gráfico da Figura 5, com linhas de tendência próximas.

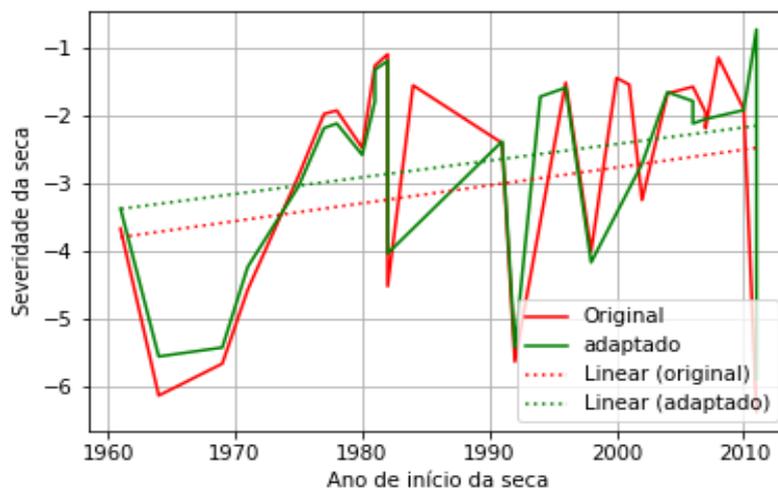


Figura 5 - Comparação dos resultados do PDSI original e da adaptação realizada no atual estudo reduzida em 66,67%.

Fonte: Os autores (2019).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir da adaptação realizada para o índice de severidade de seca de Palmer para a região da bacia do Brígida, foi possível analisar a tendência geral que segue o fenômeno da seca para as séries de dados existentes. Os resultados sugerem um aumento da severidade das secas ao longo dos anos,

embora haja uma redução na duração média das mesmas.

As adaptações do fator de ponderação regional, da equação do PDSI e a utilização do método de Hargreaves e Christiansen (1973) para cálculo do balanço hídrico, realizadas no presente trabalho, sugerem, devido aos resultados proporcionais ao que propõe Palmer (1965) no artigo original, uma nova abordagem no que pode ser considerado esperado para os resultados de uma região do Nordeste Brasileiro.

REFERÊNCIAS

ALLEY, W.M. “*The Palmer drought severity index: limitations and assumptions*”. Journal of Climate and Applied Meteorology, Boston, v. 23, p. 1100-1366. 1984.

AZEVEDO, P.V., SILVA, V.P.R. “*Índice de seca para a microrregião do agreste da Borborema, no estado da Paraíba*”. Revista Brasileira de Meteorologia. v. 9, n. 1, p. 66-72, 1994.

AZEVEDO, J. R. G. “*Software para Preenchimento de falhas*”. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2017.

BLAIN G. C. “*Avaliação e adaptação do índice de severidade de seca de Palmer (PDSI) e do índice padronizado de precipitação (SPI) às condições climáticas do Estado de São Paulo*”. 2005. 133 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, São Paulo. 2005.

EMBRAPA. Base de dados (Clima). [S.l.]. Disponível em: <<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>. Acesso em: 04 jul. 2019.

FAEIRSTEIN, G. V. M. “*Avaliação do índice de severidade de seca de Palmer (PDSI) através de planilha eletrônica*”. Trabalho de Conclusão de Curso.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Brasília: INMET, 2017. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 04 dez. 2017.

LIMEIRA, R.C.; AZEVEDO, P. V.; BEZERRA, W. A.; ALMEIDA, M. V.; MENEZES, H. E. A. “*Aplicação do Índice de Severidade de Seca de Palmer para o Estado da Paraíba*”. Revista Fafibe On-line, v.3, 2007. p. 1-6. Disponível em: <http://www.unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistafafibeonline/sumario/11/19042010140747.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2017.

PALMER, W. C. “*Meteorological drought. Research Paper*”, n. 45, p. 1-65. Washington D.C. 1965.

SILVA, F. J. B. C. da. “*Estimativa de cenários de seca e aridez a partir de análise hidrológica e de sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do rio Brígida - PE. 2017*”. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2017.

Studart, T. *Apostila da disciplina de hidrologia aplicada*. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2006.

WELLS, N. GODDARD, S. HAYES M. J. “*A self-calibration Palmer Drought Index*”. Journal of Climatology. v. 17. n.12. p. 2335-2351. 2004 [S.l.].