

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE COMPARATIVA DA DIFERENÇA DO ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO PADRONIZADO (SPI) UTILIZANDO DADOS DE ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E SENSORIAMENTO REMOTO

Dieyson Pelinson¹, Fernando Mainardi Fan², Anderson Luis Ruhoff³ & Rodrigo Cauduro Dias de Paiva⁴

RESUMO: O Índice de Precipitação Padronizado (SPI) estima o tempo e magnitude de eventos com déficit ou excesso de precipitação. Devido à baixa disponibilidade de estações meteorológicas que medem a precipitação, o uso de informações por sensoriamento remoto vem crescendo e se tornando uma ótima ferramenta para preencher essa lacuna. Esse trabalho teve como objetivo calcular o SPI utilizando dados de precipitação advindos de estações meteorológicas e da plataforma CHIRPS, e compará-los para os municípios de Porto Alegre, Passo Fundo e Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul. Os valores do SPI para 12 meses calculados com informações CHIRPS demonstraram boa correlação com os dados das estações, sendo representativos nos períodos de estiagens mais recentes no estado. Os valores variam entre as duas informações, mas não sendo significativos em sua maioria, para mudar a classificação quanto a categoria.

ABSTRACT: The Standardized Precipitation Index (SPI) estimates the timing and the magnitude of events with a deficit or excess of precipitation. Due to the low availability of meteorological stations that measure precipitation, the use of information by remote sensing is growing and becoming a great tool to fill this gap. This paper discusses about SPI estimates using precipitation data from meteorological stations and the CHIRPS platform, and to compare them for the municipalities of Porto Alegre, Passo Fundo and Santa Maria, in the state of Rio Grande do Sul. The 12 months SPI values calculated with CHIRPS information showed a good correlation with the data from the meteorological stations, being representative in the most recente drought periods in the state. Values vary between the two pieces of information but are mostly not significant to change the classification by category.

Palavras-Chave – SPI; Sensoriamento Remoto; Seca

INTRODUÇÃO

Eventos climáticos extremos relacionados a anomalias nas variáveis meteorológicas, vem sendo identificados com mais frequência ao longo das últimas décadas, podendo estar ligado a mudanças climáticas, ou mesmo a uma maior disponibilidade de informações, fazendo com que esses fenômenos sejam mais facilmente identificados e caracterizados. Dentre esses eventos, destacam-se aqueles relacionados a precipitação, principalmente ligados ao seu déficit, que podem durar dias ou até meses, sendo responsáveis por grande impacto no ciclo hidrológico, e consequentemente causando diversas perdas econômicas e sociais.

As secas estão diretamente ligadas a diminuição da precipitação por um determinado período de tempo, assim, a fim de identificar e analisar períodos com déficits de precipitação, nos últimos anos diversos índices foram desenvolvidos. Com base em uma série histórica de dados, esses índices

1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, (51) 996292766, pelinsondieyson@gmail.com

2) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, (51) 996489286, fernando.fan@ufrgs.br

3) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, (51) 997206995, andersonruhoff@gmail.com

4) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, (51) 998502426, rodrigo.paiva@ufrgs.br

fazem um diagnóstico desses períodos, e a partir de equações empíricas podem-se determinar a intensidade, a duração e a frequência em que essa anomalia ocorre em diferentes regiões.

Dentre os diversos índices utilizados para monitorar esses eventos, aquele que possui maior notoriedade, sendo recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO) é o índice de precipitação padronizado (SPI), proposto por McKee et al. (1993), que avalia os eventos quanto a sua duração e severidade.

Para o uso desse tipo de metodologia, necessita-se uma confiável e ampla disponibilidade espacial e temporal de dados de precipitação. Em regiões como África e América do Sul há ainda uma grande escassez de informações de estações meteorológicas, além da falta de acesso aos dados de precipitação. Desta forma, observa-se a existência de diversas lacunas espaciais de amostragem de dados, o que é especialmente evidente em regiões menos desenvolvidas ou com baixa densidade populacional (Costa, 2019). Com isso, as estimativas de precipitação a partir de informações de sensoriamento remoto, tornam-se a melhor opção de obtenção de dados, por normalmente possuírem dados com grande resolução temporal e resolução espacial relativamente alta.

Diferentes estudos (Mernitzki et al. (2019); Costa et al. (2019); Curtarelli (2010)) foram realizados nos últimos anos, demonstrando significativa similaridade na comparação entre as informações obtidas por sensoriamento remoto e estações pluviométricas em diferentes regiões do Brasil.

Neste contexto, esse estudo tem como objetivo analisar a variação na obtenção do índice de precipitação padronizado, utilizando-se dados advindos de estações meteorológicas (INMET) e dados de precipitação por sensoriamento remoto estimados pelo CHIRPS.

REGIÃO DE ESTUDO

O estado do Rio Grande do Sul apresenta precipitação bem distribuída ao longo do ano, com chuvas em todos os meses, porém vem sofrendo com inúmeros períodos de estiagem, onde segundo Ferreira (2014), a SEAPA indica que de cada dez anos, sete apresentam deficiências hídricas.

Por se destacar na produção agrícola e pecuária, os efeitos desse déficit atingem diretamente a economia gaúcha, além dos problemas causados no abastecimento de água.

De acordo com Grimm (2000), a região sul do Brasil possui um clima de muitos contrastes nos regimes de precipitação e temperatura, devido à localização geográfica e às formações geomorfológicas. O volume de chuvas no estado também se diferencia conforme a região, onde ao sul a precipitação média fica em torno de 1300 e 1500 mm, e ao norte a média aumenta, e fica entre 1500 e 1800 mm, com maior intensidade à nordeste, especialmente na encosta do Planalto.

Visto essa diferença em relação as precipitações, definiu-se para esse estudo os municípios de Porto Alegre, na região metropolitana do estado, Passo Fundo localizado ao norte, e o município de Santa Maria, localizando-se na região central do estado.

DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Com a crescente demanda por informações meteorológicas para estudos, e a dificuldade em se obter as mesmas advindas de estações de monitoramento in situ, diversos produtos de sensoriamento remoto foram desenvolvidos para preencher essa lacuna de informação. Esses dados são, normalmente, obtidos através de sensores embarcados em satélites, que medem diferentes variáveis úteis em estudos sobre o ciclo hidrológico terrestre.

A precipitação é considerada umas das principais informações em estudos meteorológicos, podendo ser o principal fator estudado, ou ser utilizada como dado de entrada em modelos hidrológicos. Dentre as diversas fontes de informação de precipitação por sensoriamento remoto,

Costa et al. (2019) apresenta o produto CHIRPS (Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations), desenvolvido pelo USGS (United States Geological Survey) e pelo UCSB (Climate Hazards Group at the University of California, Santa Barbara) como uma boa fonte de informação de precipitação, pois esse caracteriza-se pelo grande conjunto de dados, a partir do conjunto de observações locais e remotas, com dados diários e resolução espacial de $0,05^\circ$, ou aproximadamente 5 km, próximo ao Equador, com cobertura geográfica de 50°S A 50°N , e com dados de 1981 até aos dias atuais.

Com o objetivo de avaliar os dados do produto CHIRPS, são utilizados dados provenientes das estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A localização das estações selecionadas é vista na Figura 1 e apresentadas na Tabela 1. Foram utilizados dados mensais do ano de 1990 a 2020.

Figura 1 - Localização das Estações Meteorológicas INMET



Tabela 1 - Informações das Estações Meteorológicas Selecionadas

Estação Meteorológica	Altitude (m)	Latitude	Longitude
Passo Fundo (83914)	684,05	-28,2286	-52,4194
Porto Alegre (83967)	41,18	-30,0536	-51,1747
Santa Maria (83936)	103,1	-29,7247	-53,7204

ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO PADRONIZADO (SPI)

O índice de precipitação padronizado (SPI) proposto por McKee et al. (1993) e apresentados em Fernandes et al. (2009), tem como objetivo quantificar o déficit de precipitação para diferentes escalas de tempo, através do uso da precipitação mensal acumulada para diversos intervalos de tempo, identificando a duração dos períodos secos e possibilitando analisar qual a precipitação necessária para finalizar um evento de seca.

Para calcular o SPI, deve-se utilizar pelo menos trinta anos de dados de precipitação, sendo ajustado pela distribuição gama, e depois transformada em uma distribuição normal, que apresenta a média com valor zero e variância unitária.

A distribuição gama é definida pela função de densidade de probabilidade dada pela equação 1.

$$g(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

Sendo:

$\alpha > 0$ = parâmetro de forma (adimensional);

$\beta > 0$ = parâmetro de escala (mm);

$x > 0$ = total de precipitação acumulada (mm);

$\Gamma(\alpha)$ = função gama.

E a função gama é obtida pela equação 2.

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

Para estimar os parâmetros de forma α e β , utiliza-se o método da máxima verossimilhança (Thom, 1966), apresentadas pelas equações 3, 4 e 5.

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad (4)$$

$$A = \ln(\bar{X}) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x) \quad (5)$$

Sendo:

\bar{X} = média aritmética da precipitação pluvial (mm);

\ln = logaritmo neperiano;

N = número de observações de precipitação.

Os parâmetros obtidos são aplicados para encontrar a probabilidade cumulativa de um evento de precipitação observado para uma escala de tempo mensal. Essa probabilidade cumulativa é representada pela equação 6.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (6)$$

Substituindo $t = \frac{x}{\beta}$, a equação 7 se transforma na função gama incompleta, apresentada na equação 7.

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (7)$$

Como a função gama é indeterminada para x igual a 0, e a distribuição de precipitação pode conter zeros, a probabilidade cumulativa toma o seguinte aspecto.

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (8)$$

Sendo:

$H(x)$ = distribuição de probabilidade cumulativa;

q = probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros);

$G(x)$ = distribuição cumulativa teórica.

Thom (1966) indica que q pode ser estimado por $\frac{m}{n+1}$, sendo m o número de zeros presentes na série temporal de precipitação e n o tamanho da amostra.

A distribuição de probabilidade cumulativa $H(x)$ é então transformada em uma variável aleatória normalizada Z , com média zero e desvio padrão 1, com a variável Z correspondendo ao SPI, através da aproximação matemática desenvolvida por Abramowitz e Stegun (1965), que converte a probabilidade cumulativa em uma distribuição normal a variável Z , pelas equações 9 e 10.

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (9)$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (10)$$

Sendo t definido pelas equações 11 e 12.

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (11)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{1 - (H(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (12)$$

E os coeficientes utilizados nas equações:

$$C_0 = 2,515517;$$

$$C_1 = 0,802853;$$

$$C_2 = 0,010328;$$

$$d_1 = 1,432788;$$

$$d_2 = 0,189269;$$

$$d_3 = 0,001308.$$

O SPI pode ser aplicado em diferentes escalas de tempo, assim, por exemplo, o SPI-1 corresponde a precipitação acumulada em períodos mensais, e o SPI-12 corresponde a precipitação acumulada no período de doze meses.

McKee et al. (1993) usaram os valores de SPI para definir a existência de seca e seu grau de intensidade, como apresentado na Tabela 2. Segundo os autores, a seca ocorre quando o valor do SPI é continuamente negativo, chegando a uma intensidade igual ou menor a -1, e terminando quando o SPI se torna positivo. Como mostra a Tabela 2, o SPI indica não somente a existência de secas, mas também identifica períodos úmidos.

Tabela 2 - Classificação do Índice de Precipitação Padronizada (adaptado de McKee et al. (1993))

SPI	Classificação
$\geq 2,00$	Extremamente úmido
1,50 a 1,99	Severamente úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente úmido
0,99 a -0,99	Próximo ao normal
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco
-1,50 a -1,99	Severamente seco
$\leq -2,00$	Extremamente seco

A grande vantagem desse método é o fato de padronizar a análise, permitindo comparar regiões distintas, como regiões mais úmidas com outras áridas e secas.

RESULTADOS

Nas Figuras 2, 3 e 4 estão apresentados graficamente os valores de SPI para um período de 12 meses, para os dados obtidos nas estações meteorológicas e pelo CHIRPS. Optou-se pelo SPI de 12 meses para análise de tendência entre ambas alternativas de obtenção de dados. Ainda nas três figuras estão destacados os valores de SPI considerados dentro do normal (-1 a 1).

Nota-se a boa correspondência na tendência entre os valores de SPI obtidos pelo CHIRPS e as estações nos três municípios analisados. Quando comparados os picos, notam-se variações entre os valores, onde o SPI calculado através das informações CHIRPS apresentam menos variação, quando comparados as estações.

Figura 2 - Comparação SPI 12 meses entre estação 83914 (Passo Fundo) e CHIRPS, onde as linhas (-1 a 1) representam os limiares classificados como próximos ao normal.

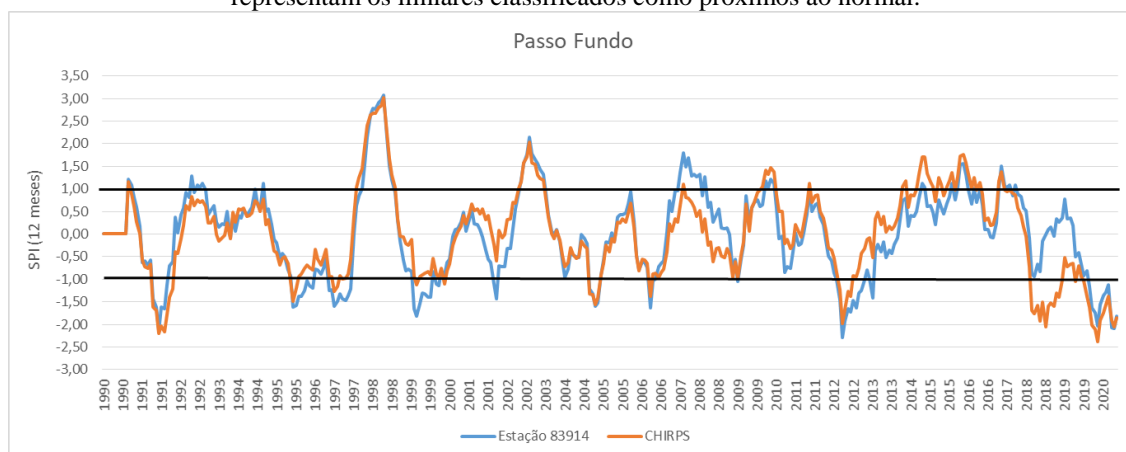


Figura 3 - Comparação SPI 12 meses entre estação 83967(Porto Alegre-RS) e CHIRPS, onde as linhas pretas (-1 a 1) representam os limiares classificados como próximos ao normal.

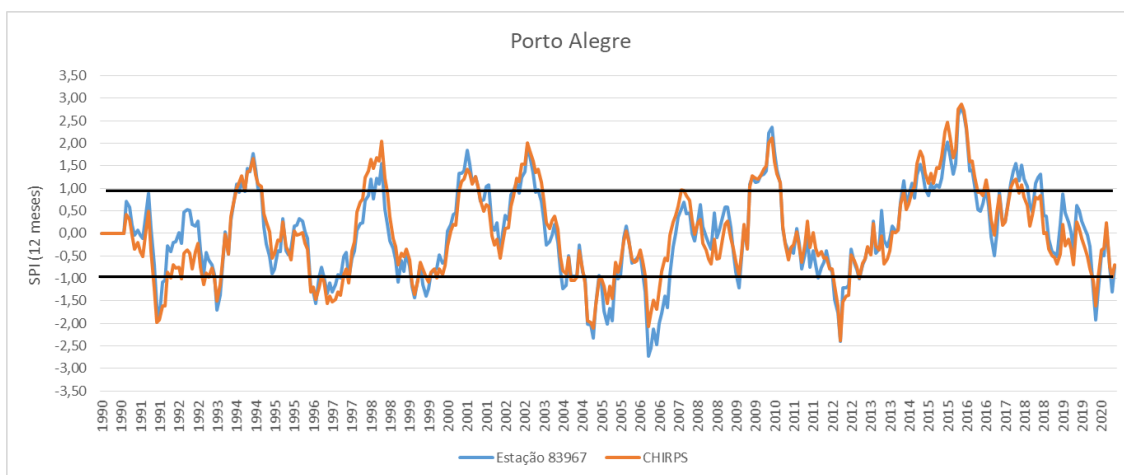
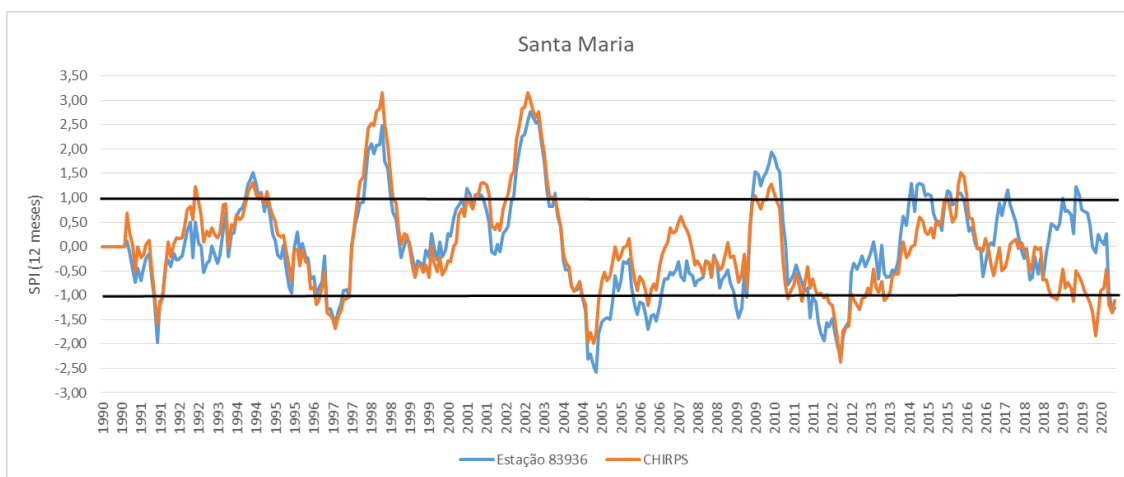


Figura 4 - Comparação SPI 12 meses entre estação 83936(Santa Maria-RS) e CHIRPS, onde as linhas pretas (-1 a 1) representam os limiares classificados como próximos ao normal.



Ao categorizar os valores de SPI de acordo com a Tabela 2, nota-se que mesmo apresentando diferenças nos valores do índice, esses não são significativos, em sua maioria, para mudar a classificação quanto a categoria. Verificou-se que nas estações de Santa Maria e Passo Fundo, o SPI dos dados da estação e dos dados CHIRPS obtiveram a mesma classificação quanto a categoria em 70% dos meses. Já para a estação de Porto Alegre, esse valor sobe para 76%.

Através dos dados apresentados na Tabela 3 e os gráficos apresentados anteriormente, nota-se que os três períodos mais recentes considerados críticos de estiagem no estado do Rio Grande do Sul (2005, 2012 e 2020), foram devidamente destacados, apresentando pouca variação quanto as categorias de seca. Ainda, mesmo aqueles que foram diferentemente categorizados, apresentaram valores muito próximos ao limiar da categoria.

Tabela 3 - Classificação e valores de SPI 12 meses para os anos de 2005, 2012 e 2020 nos municípios de Porto Alegre-RS, Passo Fundo-RS e Santa Maria-RS

		2005		2012		2020	
		ESTAÇÃO	CHIRPS	ESTAÇÃO	CHIRPS	ESTAÇÃO	CHIRPS
PORTO ALEGRE	Jan	-2,03	-1,98	-0,75	-0,41	0,09	-0,34
	Fev	-2,33	-2,11	-0,64	-0,56	-0,03	-0,52
	Mar	-1,58	-1,60	-0,40	-0,54	-0,30	-0,79
	Abr	-0,93	-1,02	-0,76	-0,80	-1,26	-1,05
	Mai	-1,13	-1,01	-0,86	-0,79	-1,93	-1,62
	Jun	-1,73	-1,17	-1,47	-1,18	-1,28	-0,97
	Jul	-2,02	-1,57	-1,76	-1,61	-0,46	-0,37
	Ago	-1,66	-1,18	-2,41	-2,38	-0,50	-0,33
	Set	-1,94	-1,45	-1,21	-1,53	0,16	0,24
	Out	-0,79	-0,65	-1,20	-1,40	-0,76	-0,73
	Nov	-1,01	-0,86	-1,15	-1,37	-1,30	-0,98
	Dez	-0,94	-0,66	-0,35	-0,49	-0,74	-0,70

		2005		2012		2020	
		ESTAÇÃO	CHIRPS	ESTAÇÃO	CHIRPS	ESTAÇÃO	CHIRPS
PASSO FUNDO	Jan	-1,32	-1,34	0,21	0,36	-0,81	-1,37
	Fev	-1,60	-1,57	-0,16	0,09	-1,16	-1,61
	Mar	-1,52	-1,42	-0,49	-0,30	-1,64	-2,03
	Abr	-0,91	-0,91	-0,59	-0,36	-1,74	-2,11
	Mai	-0,58	-0,64	-0,87	-0,53	-2,03	-2,38
	Jun	-0,18	-0,25	-1,01	-0,85	-1,56	-1,91
	Jul	-0,20	-0,39	-1,45	-1,24	-1,37	-1,75
	Ago	0,03	-0,10	-2,30	-1,98	-1,29	-1,56
	Set	-0,18	-0,18	-1,92	-1,66	-1,12	-1,38
	Out	0,37	0,27	-1,65	-1,27	-2,07	-1,91
	Nov	0,44	0,24	-1,72	-1,37	-2,09	-2,06
	Dez	0,43	0,34	-1,47	-0,92	-1,83	-1,85

		2005		2012		2020	
		ESTAÇÃO	CHIRPS	ESTAÇÃO	CHIRPS	ESTAÇÃO	CHIRPS
SANTA MARIA	Jan	-2,20	-1,76	-1,78	-0,95	0,73	-0,91
	Fev	-2,45	-1,98	-1,93	-1,06	0,69	-1,03
	Mar	-2,58	-1,77	-1,56	-0,99	0,44	-1,16
	Abr	-1,79	-1,11	-1,65	-1,16	-0,01	-1,35
	Mai	-1,55	-0,70	-1,47	-1,20	-0,13	-1,83
	Jun	-1,49	-0,53	-1,77	-1,51	0,24	-1,36
	Jul	-1,47	-0,70	-2,01	-1,87	0,13	-0,91
	Ago	-1,50	-0,60	-2,27	-2,37	0,05	-0,86
	Set	-1,12	-0,31	-1,86	-1,72	0,27	-0,46
	Out	-0,60	0,00	-1,64	-1,67	-0,93	-1,19
	Nov	-0,90	-0,28	-1,55	-1,63	-1,35	-1,36
	Dez	-0,71	-0,20	-0,54	-0,97	-1,26	-1,11

Extremamente seco	Severamente seco	Moderadamente seco	Próximo do normal
-------------------	------------------	--------------------	-------------------

Ainda é interessante notar como eventos de seca são sentidos de formas diferentes em diferentes regiões do estado. Nota-se principalmente no ano de 2020, como a região de Passo Fundo foi mais afetada, em comparação as demais, quando analisado o grau representado pelo SPI.

CONCLUSÃO

No geral, para o período analisado (1990 – 2020) cerca de 15% dos meses foram considerados secos, apresentando valores de SPI abaixo de -1.

Os valores do índice SPI obtidos através de dados de precipitação CHIRPS demonstraram ser uma boa alternativa quando da não existência de estações meteorológicas. Os valores obtidos apresentaram boa correlação quanto a tendência observada nos valores obtidos nas estações.

REFERÊNCIAS

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. A. (1965). *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables*. New York: Dover, 1046 p.

COSTA, J.; PEREIRA, G.; SIEUIRA, M. E.; CARDOZO, F.; SILVA, V. V. da. (2019). “Validação dos Dados de Precipitação Estimados pelo CHIRPS para o Brasil”. *Revista Brasileira de Climatologia*. Ano 15 – vol. 24, pp. 228 – 243.

CURTARELLI, M. P. (2010). *Avaliação dos Dados de Precipitação do Satélite TRMM para a Bacia de Contribuição da UHE Itumbiara (GO)*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos - SP.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. da; AMORIM, A. de O.; CARDOSO, A. S. (2009). *Índices para a Quantificação da Seca*. Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás - GO.

FERREIRA, M. G. (2014). *Análise da Variabilidade da Precipitação e da Estiagem no Município de Erechim e Região Norte do Rio Grande do Sul*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre - RS.

GRIMM, A. M.; SANT’ANNA, C. L. S. (2000). *Influência de Fases Extremas da Oscilação Sul sobre a Intensidade e Frequência da Chuvas no Sul do Brasil*. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro - RJ.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. (1993). *The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales*. In: Eighth Conference on Applied Climatology. Anaheim - California.

MERNITZKI, T. J. S.; JÚNIOR, J. F. de O.; GOIS, G. de; JUNIOR, C. A. da S.; POLETO, M. V. P.; JUNIOR, A. H. S. L.; SILVA, C. A. C. P.; ROSSI, F. S. (2019). *Análise Comparativa de Índice de Precipitação Padronizado Via Satélite Ambiental e Estação Meteorológica*. XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos - SP.

THOM, H. C. S. (1966). *Some Methods of Climatological Analysis*. Geneva: World Meteorological Organization. 53 p. (WMO. Technical note, 81).