

PKS

PUBLIC
KNOWLEDGE
PROJECT

REVISTA DE
GEOGRAFIA

Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE

OJS

OPEN
JOURNAL
SYSTEMS

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia>

ANÁLISE DOS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO MÁXIMA NO MUNICÍPIO DE CACHOEIRA DO SUL/RS, DE 1987 A 2020

Eduardo Petrucci¹ - <https://orcid.org/0000-0003-2870-0941>

Luciana Machado de Azevedo² - <https://orcid.org/0000-0002-9808-8316>

¹ Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia-MG, Brasil*

² Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), São Borja-RS, Brasil**

Artigo recebido em 04/03/2023 e aceito em 15/08/2023

RESUMO

Os eventos extremos de precipitação são caracterizados por ocorrências de chuvas em que os valores precipitados se distanciam muito de uma condição média, e são de caráter natural ao sistema ambiental, podendo causar desastres. Entretanto, tais eventos podem ocorrer sob influência de fenômenos anômalos muito distantes do local de ocorrência, as teleconexões. A fim de determinar as características das séries temporais, podem ser aplicadas técnicas estatísticas para prever suas ocorrências e estimar as quantidades precipitadas no período. Com isso, este trabalho tem como objetivo analisar as ocorrências de eventos extremos de precipitações máximas, por meio do ajuste à Distribuição de Gumbel, na cidade de Cachoeira do Sul/RS, utilizando dados diários de precipitação no período de 1987 a 2020, provenientes da Agência Nacional de Águas (ANA), bem como estimar os respectivos períodos de retorno para as precipitações máximas. Os resultados obtidos apontaram que a probabilidade de ocorrência da precipitação recorde de 2016, em que foram registrados 185,3 mm em um dia, é de 1,77% e o período de retorno é de 56,6 anos. Utilizando a série temporal de precipitação, a previsibilidade das precipitações máximas segundo os períodos de retorno são: 2 anos (96,7 mm), 5 anos (131,6 mm), 10 anos (154,7 mm), 25 anos (183,9 mm), 50 anos (205,5 mm), 75 anos (218,1 mm), 100 anos (227,0 mm), 200 anos (248,4 mm), 500 anos (276,7) e 1.000 anos (298,0 mm).

Palavras-chave: precipitação; eventos extremos; probabilidade; período de retorno; Gumbel.

* Doutor em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Professor Visitante na Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). E-mail: eduardo.geografia.ep@gmail.com.

** Licenciada em Geografia pela Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). E-mail: luciana.azenutrico@gmail.com.

ANALYSIS OF EXTREME EVENTS OF MAXIMUM DAILY PRECIPITATION IN THE TOWNSHIP OF CACHOEIRA DO SUL/RS, FROM 1987 TO 2020

ABSTRACT

Extreme precipitation events are characterized by the occurrence of rainfall with volumes far from average conditions, and are a natural characteristic of the environmental system, which can cause disasters. Although, these events may occur due to the influence of abnormal phenomena distant from the event's location, i.e. the teleconnections. In order to determine the characteristics of the climatic series, statistical techniques may be applied to predict occurrence and estimate the quantities of precipitation in the period. Thus, this work aims to analyze the occurrence of extreme maximum precipitation events, through adjustment with the Gumbel Distribution, in the township of Cachoeira do Sul/RS, using daily precipitation data from 1987 to 2020, from Agência Nacional de Águas (ANA) as well as to estimate return periods for maximum rainfall. The results obtained showed that the probability of occurrence of the record rainfall of 2016, with 185.3 mm recorded in one day, is 1.77% and the return period is 56.6 years. Using the precipitation time series, the maximum precipitation predictability according to the return periods are: 2 years (96.7 mm), 5 years (131.6 mm), 10 years (154.7 mm), 25 years (183.9 mm), 50 years (205.5 mm), 75 years (218.1 mm), 100 years (227.0 mm), 200 years (248.4 mm), 500 years (276.7) and 1,000 years (298.0 mm).

Keywords: precipitation; extreme events; probability; return periods; Gumbel.

ANÁLISIS DE LOS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN EL MUNICIPIO DE CACHOEIRA DO SUL/RS, DE 1987 A 2020

RESUMEN:

Los eventos de precipitación extrema se caracterizan por ocurrencias de lluvias en que los valores precipitados se alejan mucho de una condición promedio, son naturales al sistema ambiental y pueden causar desastres. Sin embargo, tales eventos pueden ocurrir bajo la influencia de fenómenos anómalos muy distantes del lugar de ocurrencia, las teleconexiones. Para determinar las características de las series de temporales, se pueden aplicar técnicas estadísticas para predecir su ocurrencia y estimar las cantidades precipitadas en el período. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo analizar las ocurrencias de eventos extremos de precipitaciones máximas, a través de la Distribución Gumbel, en el municipio de Cachoeira do Sul/RS, utilizando datos de precipitación diaria de 1987 a 2020, de la Agencia Nacional de Aguas (ANA), además de estimar los periodos de retorno para las precipitaciones máximas. Los resultados obtenidos mostraron que la probabilidad de ocurrencia de la precipitación récord de 2016, la que se registraron 185,3 mm en un día, es de 1,77% y el periodo de retorno es de 56,6 años. Utilizando la serie temporal de precipitación, la predictibilidad de las precipitaciones máximas, según los periodos de retorno son: 2 años (96,7 mm), 5 años (131,6 mm), 10 años (154,7 mm), 25 años (183,9 mm), 50 años (205,5 mm), 75 años (218,1 mm), 100 años (227,0 mm), 200 años (248,4 mm), 500 años (276,7) y 1000 años (298,0 mm).

Palabras-clave: precipitación; eventos extremos; probabilidad; periodo de retorno; Gumbel.

INTRODUÇÃO

A água é o elemento essencial para a vida, sua importância é justificada pela manutenção dos ecossistemas terrestres, possibilitando a realização das atividades humanas, tais como a produção agrícola, geração de energia, consumo humano e animal, processos industriais, abastecimento dos reservatórios, dentre outras. É encontrada na natureza sob várias formas, nos estados sólido, líquido

e gasoso e movimenta-se pelo ciclo hidrológico, que é um processo natural e global de circulação fechada da água entre a atmosfera e a superfície terrestre.

A movimentação da água no ciclo hidrológico ocorre em dois sentidos principais, o primeiro, no sentido superfície-atmosfera, quando ocorre a evaporação da água das superfícies líquidas e do solo, bem como da transpiração da vegetação e, o segundo ocorre quando o vapor d'água presente na atmosfera se condensa e precipita nas formas líquida (precipitação pluvial) ou sólida (neve) (VAREJÃO-SILVA, 2006). Esses processos não são lineares e possui variabilidade nas dimensões espacial e temporal. O conhecimento acerca da distribuição e da variabilidade da precipitação é de fundamental importância para o conhecimento das características climáticas de determinada região (SANTOS E GALVANI, 2014) e contribuir como suporte ao planejamento das atividades.

A distribuição espacial da precipitação é condicionada pela influência de diversos fatores, tais como, a relação estabelecida entre a atuação dos sistemas atmosféricos produtores de tempo e os fatores climáticos (latitude, relevo, maritimidade/continentalidade, correntes marítimas, vegetação, altitude), como apontado por Mendonça e Danni-Oliveira (2007). De modo geral, as regiões mais chuvosas estão localizadas em regiões próximas ao equador devido às intensas taxas de evaporação e elevadas temperaturas que favorecem os processos convectivos.

Com relação à variação temporal da precipitação, ela pode ser determinada a longo prazo, nas escalas decenal, interanual e sazonal, sendo estabelecidas relações entre estações secas e chuvosas, anos secos e chuvosos etc., ou a curto prazo, como variações diárias, caracterizando, assim, dias com ou sem chuva. Nas regiões tropicais, há uma concentração das chuvas entre as estações de primavera-verão, e estação seca pronunciada durante o inverno (MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2007). Para as regiões subtropicais, como apontado por Kuinchtner e Buriol (2001) e Grimm (2009), há uma boa distribuição da precipitação ao longo do ano, com ausência de uma estação seca definida, ou seja, sem que haja forte concentração do período chuvoso em um único período, como nas regiões tropicais.

A variação espacial e a flutuação temporal são características inerentes ao tempo e ao clima. A flutuação temporal é uma característica que deve ser discutida com maiores detalhes, pois o seu estudo nas mais diferentes escalas cronológicas permite compreender como era o clima terrestre no passado longínquo (paleoclima), no passado recente e como o é no presente, além de permitir, a partir de modelos, simular situações de clima no futuro (ANGELOCCI E SENTELHAS, 2010, p. 1).

As principais características da precipitação, como apontado por Tucci (2004) são o total precipitado (altura pluviométrica, medida em milímetros), a duração (período em que ocorre o evento chuvoso, medida em tempo) e as distribuições temporal e espacial. Além disso, podem ser destacadas a intensidade (razão entre o total precipitado e o tempo de ocorrência, medida em mm/h) e a

frequência de probabilidade e tempo de recorrência, estes, relacionados com a variabilidade espacial e temporal, principalmente.

Há determinados eventos chuvosos em que um grande volume de água é precipitado em um curto período, destacando-se, assim, a intensidade do fenômeno. A esses eventos, podem ser denominados de eventos extremos (BEIJO, 2002). Os eventos extremos podem ser caracterizados por serem naturais ao sistema ambiental, indicando excepcionalidades e podem ser estimados por meio de análises estatísticas como Probabilidade e Períodos de Retorno, por exemplo e, estão relacionados com a variabilidade climática. Ademais, os eventos extremos locais, de excesso ou déficit de chuvas, podem ser reflexos de fenômenos originários da circulação geral da atmosfera (macroescala), tais como o ENOS (El Niño Oscilação Sul), ODP (Oscilação Decadal do Pacífico), anomalia na TSM (Temperatura da Superfície do Mar) no oceano Atlântico, entre outros, que tem poder para influenciar o tempo e os sistemas atmosféricos que condicionam os eventos hidrometeorológicos durante suas atuações nas mais variadas localidades do planeta.

De acordo com Liebmann, Jones e Carvalho (2001), conceituar o que é um evento extremo é uma tarefa complexa pois, deve-se levar em consideração as heterogeneidades dos espaços e dos fenômenos atmosféricos envolvidos. Contudo, para este trabalho, será considerado evento extremo os valores que se distanciam positivamente ou negativamente dos valores médios climáticos, conforme preconizado por INPE (2009).

As consequências geradas pelos eventos extremos climáticos afetam diretamente na vida das pessoas, seja por meio de chuvas intensas ou seca. Quando as consequências provocam impactos generalizados, como perda de vidas humanas, gerando mal-estar social, prejudicando o funcionamento da sociedade, diz-se que ocorreram Desastres Naturais, ou apenas Desastres.

No Brasil, os Desastres que requerem maior atenção estão relacionados ao excesso ou à escassez de água e dependem da temporalidade com que essas situações críticas se desenvolvem. A ausência ou a abundância, sobretudo em um curto período de tempo da água precipitada, funciona como um dínamo indutor de Desastres de características tanto mistas, quanto secundárias, e de grande relevância nacional (BRASIL, 2017, p. 29).

O ENSO é um fenômeno de macroescala que afeta o clima em diversas regiões do planeta, sendo que, por meio das relações estabelecidas entre o oceano Pacífico equatorial e a atmosfera adjacente a ele, tem o poder de alterar o padrão de circulação geral da atmosfera quando da atuação desse fenômeno, porque, a alteração da temperatura da água superficial, acarreta anomalias de

transporte de umidade, precipitação e temperatura que vão alimentar outros sistemas de macro e mesoescala (CPTEC-INPE, 2023).

Durante a sua fase quente, denominado de El Niño (EN), há um aquecimento anômalo das águas superficiais do oceano Pacífico equatorial e os ventos alísios que convergem sobre o Pacífico Equatorial são enfraquecidos, impedindo a ressurgência na costa leste da América do Sul (águas frias), comprometendo o gradiente térmico que gera a célula de Walker. Por outro lado, em anos de La Niña (LN), quando há um resfriamento anômalo das águas superficiais do oceano Pacífico equatorial,

[...] a célula de circulação tipo Hadley (sentido norte-sul) fica enfraquecida. Com isso, diminuem os bloqueios na atmosfera, fazendo com que as frentes frias (principal mecanismo causador de chuvas no sul do Brasil) passem rapidamente sobre a Região Sul ou, até mesmo, desviem sua rota, passando sobre o oceano, consequentemente, diminuindo a quantidade de precipitação pluvial. (CUNHA ET AL., 2011, p. 19)

Os impactos do fenômeno ENOS, tanto em sua fase quente (El Niño) quanto em sua fase fria (La Niña), na região sul do Brasil é destacado por Grimm e Sant'Anna (2000), sendo que, os autores verificaram que, em anos de atuação do EN, há um incremento de precipitação durante a estação da primavera (e início do verão), também no inverno do ano subsequente ao início do evento. Em anos de LN, há uma redução dos totais pluviométricos, para os mesmos períodos indicados, sobretudo na primavera. Tais resultados foram corroborados por Berlato, Farenzena e Fontana (2005) e Cunha et al. (2011).

Assis, Martins e Mendez (1997) ao analisar as anomalias de chuvas no estado do Rio Grande do Sul, por meio múltiplas séries históricas de precipitação, verificaram que, em anos caracterizados por El Niño, em 66% desses anos, produziram anomalias positivas de precipitação. Por outro lado, em 69% dos anos de atuação da La Niña, houve anomalias negativas de precipitação. Lopes, Diniz e Marques (2007) estimaram as relações entre os índices MEI (Multivariate Enso Index) e TSM (Temperatura da Superfície do Mar), no oceano Pacífico equatorial, com a precipitação no referido estado, e verificaram correlação significativa para os excedentes de chuva nos bimestres setembro-outubro e novembro-dezembro.

Matzenauer, Radin e Maluf (2017), ao buscar entender os efeitos do ENSO na precipitação do Rio Grande do Sul, verificaram que em anos de atuação do EN, há um incremento na precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul, mais evidente na estação da primavera e, durante o LN, a precipitação fica sempre abaixo da média (Normal Climatológica), para a mesma estação do ano. Nas estações de outono, inverno e verão, as precipitações são semelhantes tanto para atuação do LN quanto em anos sem anomalias ENOS.

Os desastres relacionados ao excesso de chuvas são muito frequentes em todo o estado do Rio Grande do Sul, principalmente nas regiões dos vales do grandes rios sul-rio-grandenses (WOLLMANN, 2014), por exemplo, a cidade de Cachoeira do Sul-RS é localizada à margem esquerda do rio Jacuí. De acordo com dados analisados por Wollmann (2014) e Ribeiro et al. (2016), houve pelo menos 8 eventos de grande magnitude relacionados a enchentes, com destaque para o evento de 1941, considerado a mais severa delas, e a de 2015 a segunda mais desastrosa.

No ano de 1941, houve a ocorrência de chuvas fortes durante 20 dias ininterruptos, fazendo com que o nível do rio Jacuí elevasse, “[...] destroçando todo o esforço dinâmico da mão do homem, desabrigando infinidades de lares pobres, levando-lhes a ruína, a desgraça, o luto e a fome” (ARQUIVO HISTÓRICO DE CACHOREIRA DO SUL, 2015). Somado a isso, incalculáveis perdas nas lavouras de arroz do município, agravando a situação econômica no município.

Em dezembro de 2015, novamente episódios de chuvas intensas, que acarretaram enchentes, atingindo 17 municípios do estado do Rio Grande do Sul, incluindo Cachoeira do Sul. As chuvas ocasionaram destruição das lavouras de arroz e soja, desabrigou milhares de famílias e o trânsito foi interrompido devido à interdição de pontes e estradas. (G1, 2015).

A aplicação de técnicas e métodos estatísticos em dados climatológicos permite analisar o comportamento das variáveis do tempo/clima e estimar padrões, bem como verificar variações ao longo do tempo e no espaço, possibilitando assim, realizar a previsão de condições extremas ao longo dos anos. Entre os métodos que permitem modelar, analisar e realizar previsões das chuvas intensas, tem-se a distribuição de Gumbel, também conhecida como Extrema tipo 1, ou Fisher-Tippet tipo 1, ou Dupla Exponencial.

Naghetini e Pinto (2007) apontam que a distribuição de Gumbel tem sido muito utilizada para análise de distribuição e frequências de variáveis hidrológicas, tais como vazões (máximas e mínimas), chuvas intensas e enchentes relacionadas. Por exemplo, António et al. (2017) aplicaram o referido método para estimar os períodos de retorno das precipitações no estado do Alagoas; Petrucci e Oliveira (2017) para estimar as vazões máximas e mínimas na bacia hidrográfica do Rio Preto-BA; Cotta, Correa e Albuquerque (2016) aplicado às precipitações extremas para a prevenção de desastres em Vitória-ES; Lima e Silva e Erberelli (2016) para identificar o período de retorno das precipitações para subsidiar o planejamento em Guaratinguetá/SP.

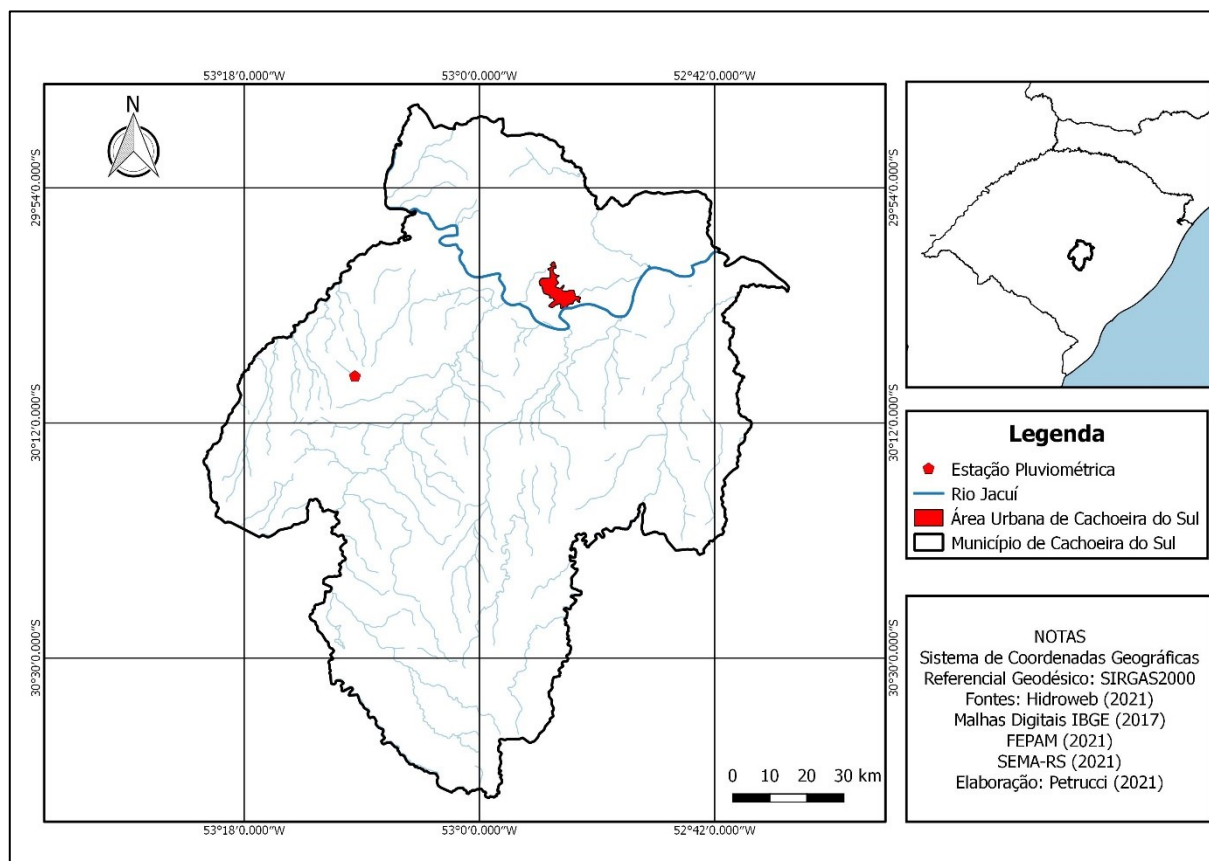
Dado o exposto, o objetivo geral deste trabalho é analisar as ocorrências de eventos extremos de precipitação máxima na cidade de Cachoeira do Sul-RS, no período de 1987 a 2020 e, como

objetivos específicos: (1) Determinar as probabilidades de ocorrência dos cinco maiores eventos de precipitações máximas diárias e os respectivos períodos de retorno; (2) Estimar as precipitações máximas para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100, 200, 500 e 1.000 anos; (3) Verificar as probabilidades de ocorrências das precipitações máximas em função dos períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100, 200, 500 e 1.000 anos.

Localização e características climáticas de Cachoeira do Sul/RS

O município de Cachoeira do Sul está localizado na porção central do estado do Rio Grande do Sul, entre coordenadas 30° 14' 09" S e 52° 58' 43" O, possui população estimada em 2021 de 81.552 habitantes, de acordo com IBGE (2021). O município está inserido na bacia hidrográfica do Baixo Jacuí e a cidade se situa à margem esquerda do rio Jacuí, na depressão central gaúcha, a uma altitude de 26m (PREFEITURA MUNICIPAL DE CACHOEIRA DO SUL, 2017). A estação pluviométrica Barro Vermelho (código 03053021) está distante 26 km da cidade, aproximadamente. Ver figura 1.

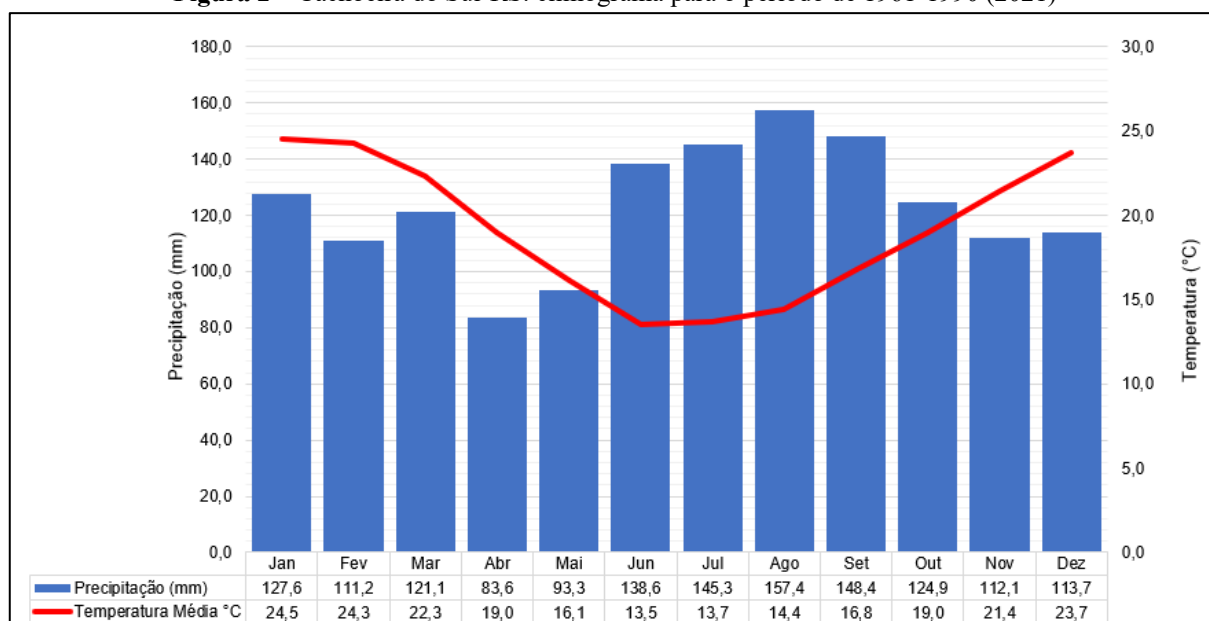
Figura 1 – Cachoeira do Sul-RS: mapa da localização municipal com destaque para a estação pluviométrica Barro Vermelho e rio Jacuí (2021)



Fonte: Autores (2021)

O município de Cachoeira do Sul possui um clima classificado como subtropical úmido (CFa), com verão quente, temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, e precipitação bem distribuída ao longo do ano, com ausência de um período seco (KUINCHTNER E BURIOL, 2001; POHLMANN E LAZZARI, 2018). Com relação às características de temperatura média e precipitação, foram utilizados dados das Normais Climatológicas, período 1961-1990, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), ver climograma na figura 2.

Figura 2 – Cachoeira do Sul-RS: climograma para o período de 1961-1990 (2021)



Fonte: INMET (2021); Org.: Autores (2021)

De acordo com a figura 2, a precipitação é bem distribuída ao longo do ano, não havendo acumulado mensal inferior a 80 mm. Entretanto, os maiores volumes pluviométricos mensais ocorre na estação do inverno, entre os meses de junho a setembro, com pico no mês de agosto, com 157,4 mm. Por outro lado, os meses com as menores médias pluviométricas são abril e maio, no final da estação de outono, com vales no mês de abril, com valor médio de precipitação de 83,6 mm.

A partir disso, verifica-se baixa amplitude entre o mês mais chuvoso e menos chuvoso, de apenas 73,8 mm, valores menores que a amplitude verificada em ambientes tropicais, como por exemplo, na cidade de Uberlândia, sudoeste de Minas Gerais, na importância de 299 mm, sendo o mês mais chuvoso janeiro, com 309 mm e o menos chuvoso julho, com 10 mm (PETRUCCI, 2018, p. 61). Ou em ambientes semiáridos, como no município de Missão Velha, no sul do estado do Ceará, em que a amplitude pluviométrica mensal é de 236,3 mm, sendo o mês mais chuvoso março (236,3 mm) e os meses menos chuvosos agosto e setembro, ambos com 0,0 mm. (PETRUCCI E OLIVEIRA, 2018, p. 2147).

Em relação à temperatura média, é elevada nos meses de verão, superior a 25°C e, com a chegada do outono, a partir do mês de abril, a temperatura começa a diminuir, permanecendo baixa durante todo o inverno, com mínimo de 13,5°C no mês de junho. A temperatura média volta a subir a partir do mês de setembro, com o início da primavera, acima dos 20°C. Essas características de temperatura elevada em associação ao volume pluviométrico acima dos 100 mm, é favorável a ocorrência de eventos extremos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desse trabalho, foram utilizados dados de precipitação diária da estação Barro Vermelho, código 03053021, obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA), no sítio *Hidroweb* – Sistemas de Informações Hidrometeorológicas, no período entre 1987 e 2020. A tabulação e tratamento estatístico dos dados foram realizados no ambiente do Microsoft Excel.

Para a avaliação das precipitações máximas, foi realizada a modelagem dos dados à distribuição de Gumbel (ou Extrema Tipo I). A função de probabilidade, de acordo com Tucci (2004), é dada por:

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: $F(x)$ = é a função de probabilidade da distribuição de Gumbel; x = é uma variável aleatória associada aos valores de precipitação máxima; e = é a base dos logaritmos neperianos; μ e α = são parâmetros da distribuição estimados com base na média e o desvio padrão dos valores da série de precipitações diárias máximas, respectivamente e, podem ser calculados pelas equações 2 e 3:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s \quad \text{Equação 2}$$

Onde: π (Pi) e, s é o desvio padrão;

$$\mu = \bar{x} - 0,5772 * \alpha \quad \text{Equação 3}$$

Onde: $\bar{x}$ é a média dos valores da amostra da precipitação; α é a constante encontrada pela equação 2.

Para determinar o período de retorno da precipitação máxima, primeiramente, é necessário ordenar os valores de precipitações máximas e determinar a maior precipitação diária registrada e, a

partir disso, analisa-se a probabilidade de esse evento ser igualado ou superado, que é dado pela equação 4:

$$TR = 1/(1 - F(x)) \quad \text{Equação 4}$$

A distribuição de Gumbel, representada pela equação 1 é aplicada quando se busca a probabilidade de um evento extremo de chuva acontecer e estima o seu período de retorno, para isso, devem ser conhecidos os valores das alturas pluviométricas (em mm). Quanto da determinação de quais precipitações serão esperadas em função dos períodos de retorno (conhecidos), primeiro calcula-se a variável reduzida YT, de acordo com Chow (1994):

$$YT = -\ln * \left[\ln \left(\frac{y}{y-1} \right) \right] \quad \text{Equação 5}$$

Onde: YT é a variável reduzida sobre os períodos de retorno; ln é o logaritmo natural; y é o período de retorno, em anos.

Após encontrar os valores de YT, busca-se a precipitação esperada, pela expressão abaixo:

$$XT = \mu + (\alpha * YT) \quad \text{Equação 6}$$

Onde: XT é a precipitação máxima prevista, α e μ são parâmetros encontrados pelas equações 2 e 3; e YT variável reduzida encontrada pela equação 5.

Serão verificados os períodos de retorno para 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100, 200, 500 e 1.000 anos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Descrição estatística dos dados

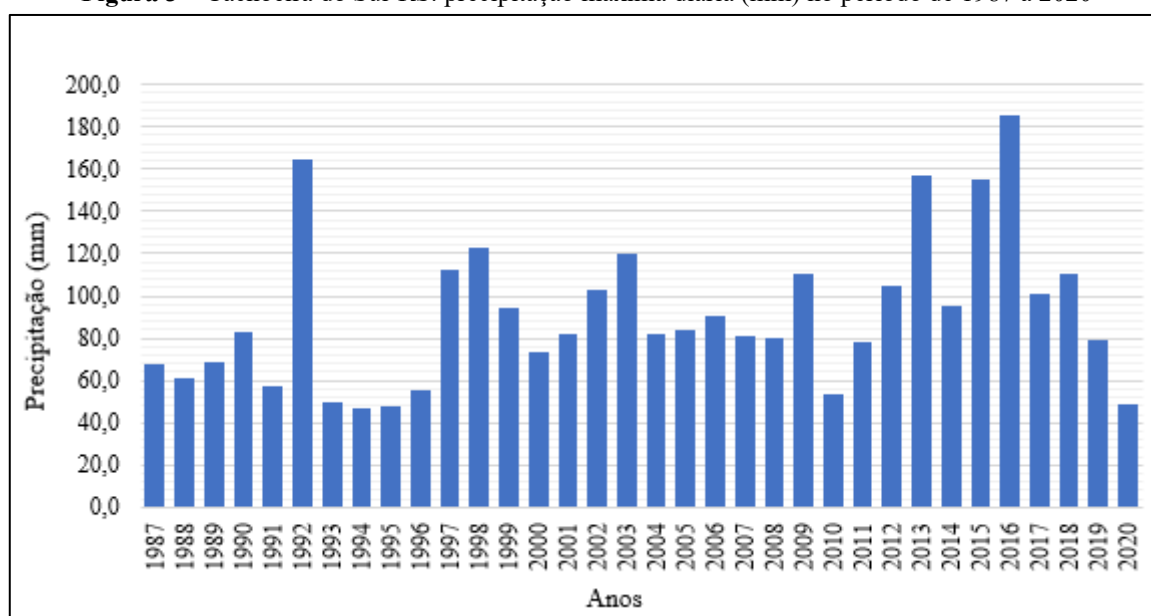
Na tabela 1 e na figura 3 estão sumarizadas as precipitações máximas diárias e, na tabela 2, estão sumarizadas as estatísticas descritivas da estação Barro Vermelho no município de Cachoeira do Sul-RS.

Tabela 1 - Cachoeira do Sul-RS: precipitação Máxima diária, período de 1987 a 2020

Anos	Precipitação máxima diária (mm)	Anos	Precipitação máxima diária (mm)
1987	68,0	2004	81,6
1988	61,2	2005	84,3
1989	69,0	2006	90,5
1990	83,2	2007	80,6
1991	57,6	2008	80,0
1992	165,0	2009	110,0
1993	50,0	2010	53,5
1994	46,8	2011	78,2
1995	47,8	2012	104,5
1996	55,8	2013	156,7
1997	112,8	2014	95,0
1998	122,5	2015	154,7
1999	94,5	2016	185,3
2000	73,6	2017	100,5
2001	81,8	2018	110,5
2002	103,1	2019	78,8
2003	119,6	2020	49,0

Fonte: ANA (2021) Org: Autores (2021)

Figura 3 – Cachoeira do Sul-RS: precipitação máxima diária (mm) no período de 1987 a 2020



Fonte: ANA (2021) Org: Autores (2021)

Tabela 2 – Cachoeira do Sul-RS: estatísticas descritivas da precipitação máxima diária, período de 1987 a 2020

Mínimo	Média	Máximo	Mediana	Desvio Padrão
46,8	91,35	185,3	82,5	34,93
Coefficiente de Variação	Assimetria	Curtose	Q1	Q3
38,24	0,998	0,711	66,3	110,13

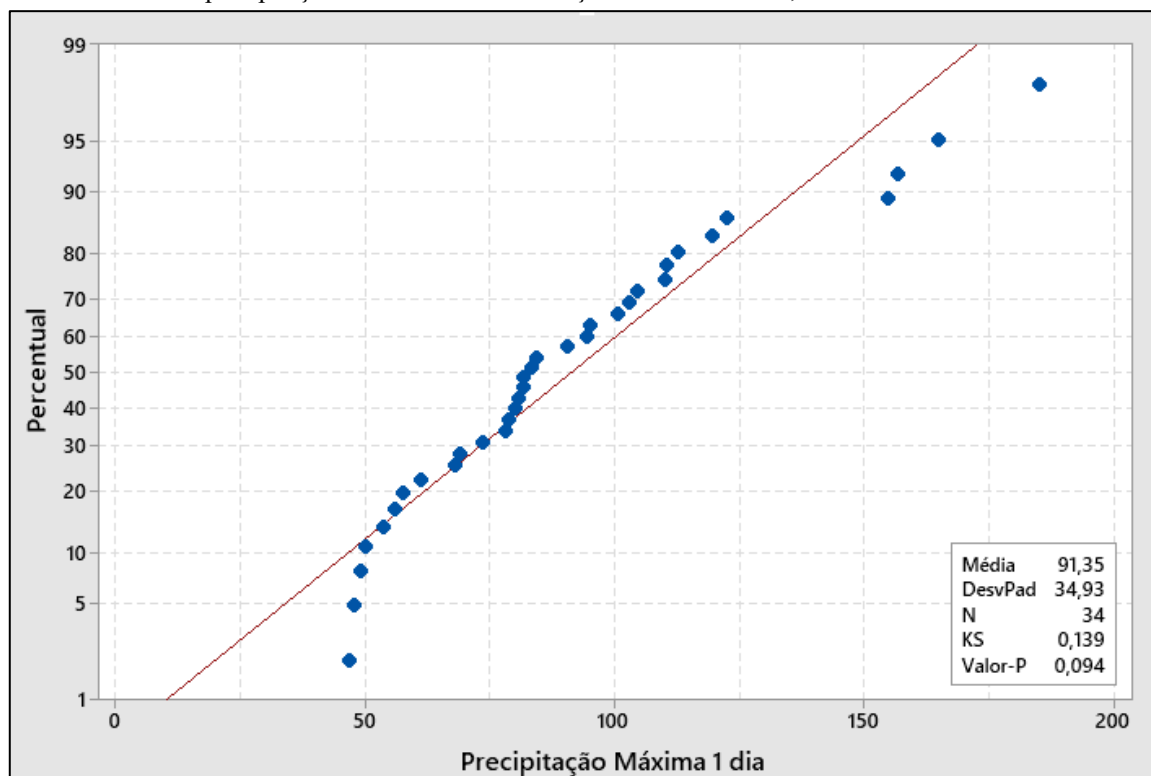
Org. Autores (2021)

De acordo com as tabelas 1 e 2 e a figura 3, a média da precipitação máxima diária é de 91,35 mm, o máximo é de 185,3 mm (registrada em outubro de 2016), enquanto o mínimo é de 46,8 mm (registrado duas vezes no ano de 1994, em setembro e abril). Demais eventos de máximas precipitações máximas ocorreram em 1992 (165,0 mm), 2013 (156,7 mm), 2015 (154,7 mm) e 1998 (122,4 mm). Interessante observar que, das 5 maiores precipitações máximas, três delas ocorreram nos últimos anos da série histórica, na década de 2010, evidenciando uma maior frequência de ocorrência de extremos.

Com relação aos mínimos de precipitação máxima diária, pode-se perceber que, com exceção do ano de 1992, há uma concentração dos valores mínimos na primeira década da série histórica, de 1987 a 1996. Demais eventos de mínimos precipitações máximas ocorreram em 1995 (47,8 mm), 2020 (49,0 mm) e 1993 (50,0 mm), todos eles menores ou iguais a 50 mm.

Na tabela 2, o coeficiente de variação de 38,24% indica uma forte dispersão dos dados e, os coeficientes de assimetria (0,998) e curtose (0,711) indicam que a curva de distribuição dos dados é assimétrica positiva, ou seja, há uma concentração dos dados à esquerda, e Platicúrtica, quando a curva da distribuição é mais achatada que a normal. A normalidade dos dados foi verificada, como pode ser observado na figura 4.

Figura 4 – Cachoeira do Sul-RS: gráfico de probabilidade (teste Normalidade Kolmogorov-Smirnov) para os dados de precipitação máxima diária da estação Barro Vermelho, de 1987 a 2020



Fonte: Autores (2021)

Por meio da figura 4, depreende-se que a distribuição dos dados não corresponde a uma distribuição Normal, como pode ser visualizado pelos desvios dos dados em relação à linha ajustada de probabilidade e, pelo p-valor (0,094) é maior que o nível de significância a 5% (0,05). A obediência à uma distribuição normal dos dados não é um critério de restrição à modelagem dos dados pelo método de Gumbel pois, este último, analisa os valores extremos (máximos e mínimos) de uma série temporal.

Distribuição de Gumbel e Análise dos extremos máximos

Com relação ao ajuste dos dados à Distribuição de Gumbel, as estatísticas da série temporal são: máximo de 185,3 mm, média de 91,4 mm e desvio padrão de 34,9, resultando nos parâmetros $\alpha = 27,23453295$ e $\mu = 75,63316876$ (equações 2 e 3, respectivamente) A partir disso, a equação 1 ficou assim configurada:

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{183,5-75,6}{27,2}\right)}} = 0,982325975 = 98,2\%$$

$$TR = \frac{1}{1 - 0,982325975} = 56,6 \text{ anos}$$

Como resultado, há 98,2% de probabilidade de o evento de 183,5 mm não ser igualado e/ou superado ou 1,8% de esse evento ser igualado e/ou superado. O período de retorno (TR) é de 56,6 anos, ou seja, entre hoje até 56,6 anos, a precipitação máxima de 183,5 mm ocorrerá.

Além da precipitação máxima recorde de 2016, foram determinadas também as probabilidades e os respectivos períodos de retorno para os quartos eventos subsequentes. Ver tabela 3.

Tabela 3 – Cachoeira do Sul-RS: probabilidades de ocorrências e períodos de retorno para os cinco maiores eventos de precipitações máximas, de 1987 a 2020

Precipitação Máxima (mm)	Ano de ocorrência	Gumbel	Inverso da probabilidade	Probabilidade em %	Período de Retorno (anos)
185,3	2016	0,982326	0,017674	1,77%	56,6
165,0	1992	0,963121	0,036879	3,69%	27,1
156,7	2013	0,950312	0,049688	4,97%	20,1
154,7	2015	0,946629	0,053371	5,34%	18,7
122,5	1998	0,836179	0,163821	16,38%	6,1

Fonte: Autores (2021)

Por meio da tabela 3, conforme diminui-se o valor de precipitação máxima, vai aumentando as probabilidades de ocorrência e diminuindo os períodos de retorno, que é dentro do esperado. Para uma precipitação de 165,0 mm, como a ocorrida no ano de 1992, há probabilidade de ocorrência de 3,69% e período de retorno de 27,1 anos. Para a precipitação de 154,7 mm, como a ocorrida no ano de 2015, há uma probabilidade de ocorrência de 5,34% e período de retorno de 18,7 anos.

É importante destacar que, precipitações são capazes de causar desastres, dependente do volume pluviométrico, e de outros fatores, tais como saturação do solo, a intensidade da chuva e sua duração, as vazões dos rios, o descarte incorreto dos resíduos sólidos, entre muitos outros. Devido a isso, demais probabilidades de ocorrência de precipitações máximas são importantes, como a precipitação de 122,5 mm em um único dia, que tem período de retorno de 6,1 anos.

Além disso, realizou-se o processo inverso, em que foram calculadas as precipitações máximas diárias esperadas para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100, 200, 500 e 1.000 anos. Os resultados estão sumarizados na tabela 3.

Tabela 4 - Cachoeira do Sul-RS: precipitações máximas diárias (em mm) esperadas para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100, 200, 500 e 1.000 anos, e respectivas probabilidades

Período Retorno (anos)	Variável reduzida YT	Precipitação (mm) XT	Probabilidade Ocorrência (Gumbel)	
2	0,366513	85,6	0,500	50%
5	1,49994	116,5	0,800	80%
10	2,250367	136,9	0,900	90%
25	3,198534	162,7	0,960	96%
50	3,901939	181,9	0,980	98%
75	4,310784	193,0	0,987	98,7%
100	4,600149	200,9	0,990	99%
200	5,295812	219,9	0,995	99,5%
500	6,213607	244,9	0,998	99,8%
1000	6,907255	263,7	0,999	99,9%

Fonte: Autores (2021)

As precipitações máximas previstas para os períodos de retorno estão listadas na coluna XT. Para daqui até 2 anos, é prevista uma precipitação máxima de 85,6 mm, com 50% de probabilidade de ocorrência. Para 10 anos, é esperada uma precipitação diária de 136,9 mm, com 90% de probabilidade. Para daqui até 50 anos, a probabilidade de 98% de ocorrer uma precipitação diária de 181,9 mm e, para daqui até 100 anos, 99% de probabilidade de ocorrer precipitação de 200,9 mm. Esses valores de precipitação são muito elevados e com potencial para causar desastres no município de Cachoeira do Sul-RS.

A fim de complementar as análises e verificar possíveis influências do fenômeno ENOS, tanto em sua fase positiva (El Niño) quanto em sua fase negativa (La Niña) na precipitação máxima diária, é apresentado o Oceanic Niño Index (ONI) para caracterizar os períodos anômalos. Os dados na cor vermelha ($\geq +0,5^{\circ}\text{C}$) representam a atuação do EN e os dados na cor azul ($\leq -0,5^{\circ}\text{C}$) representam a atuação do LN, sendo que, os valores dos índices são obtidos por meio de uma média de três meses consecutivos com permanência desses limiares, ver tabela 5.

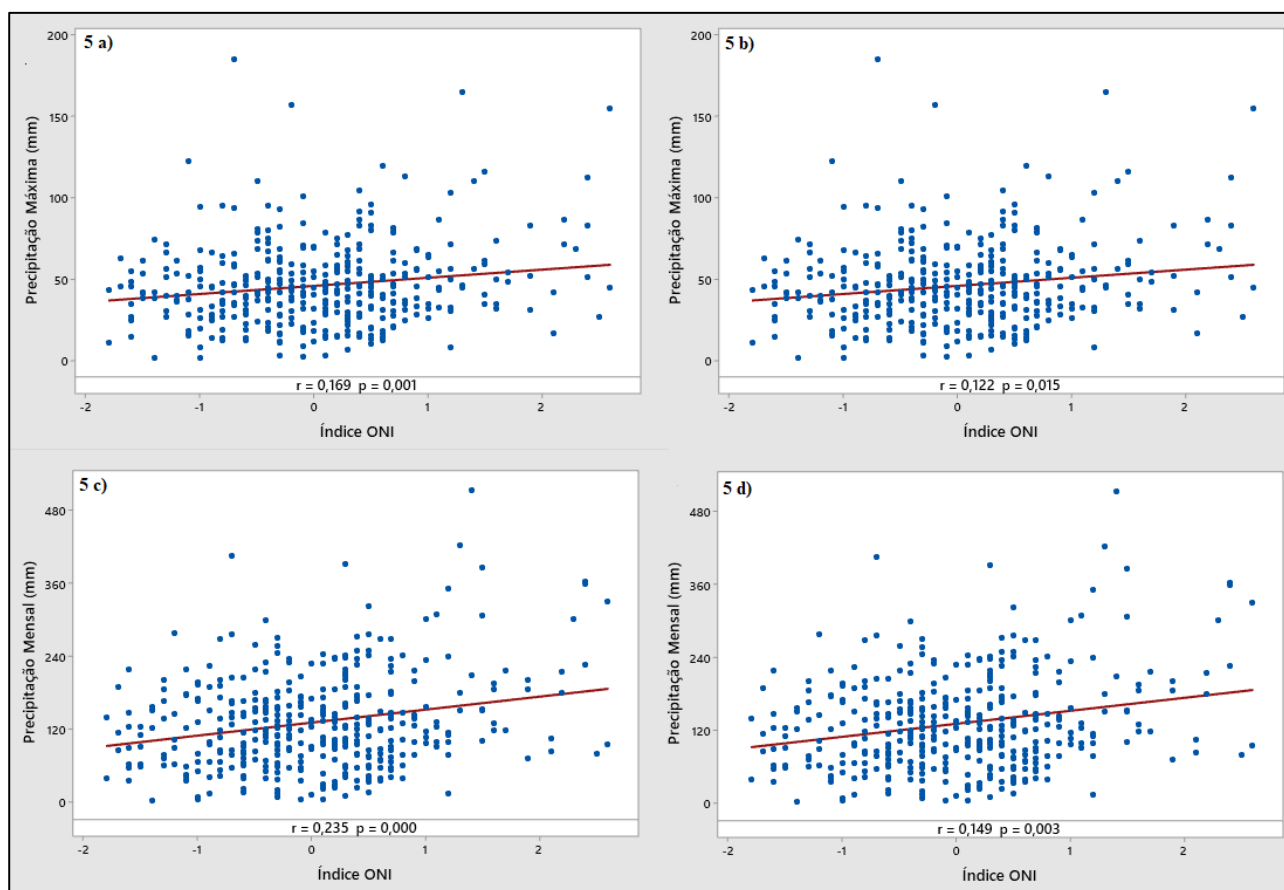
Tabela 5 - Oceanic Niño Index (ONI) na região do Niño 3.4 do período de 1987 a 2020

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1987	1,2	1,2	1,1	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	1,6	1,5	1,3	1,1
1988	0,8	0,5	0,1	-0,3	-0,9	-1,3	-1,3	-1,1	-1,2	-1,5	-1,8	-1,8
1989	-1,7	-1,4	-1,1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1
1990	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
1991	0,4	0,3	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	1,2	1,5
1992	1,7	1,6	1,5	1,3	1,1	0,7	0,4	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,1
1993	0,1	0,3	0,5	0,7	0,7	0,6	0,3	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1
1994	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	1,0	1,1
1995	1,0	0,7	0,5	0,3	0,1	0,0	-0,2	-0,5	-0,8	-1,0	-1,0	-1,0
1996	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5
1997	-0,5	-0,4	-0,1	0,3	0,8	1,2	1,6	1,9	2,1	2,3	2,4	2,4
1998	2,2	1,9	1,4	1,0	0,5	-0,1	-0,8	-1,1	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6
1999	-1,5	-1,3	-1,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,1	-1,2	-1,3	-1,5	-1,7
2000	-1,7	-1,4	-1,1	-0,8	-0,7	-0,6	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7
2001	-0,7	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3
2002	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,4	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,1
2003	0,9	0,6	0,4	0,0	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4
2004	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
2005	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,6	-0,8
2006	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,1	0,0	0,1	0,3	0,5	0,8	0,9	0,9
2007	0,7	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6
2008	-1,6	-1,5	-1,3	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7
2009	-0,8	-0,8	-0,6	-0,3	0,0	0,3	0,5	0,6	0,7	1,0	1,4	1,6
2010	1,5	1,2	0,8	0,4	-0,2	-0,7	-1,0	-1,3	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
2011	-1,4	-1,2	-0,9	-0,7	-0,6	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-1,0	-1,1	-1,0
2012	-0,9	-0,7	-0,6	-0,5	-0,3	0,0	0,2	0,4	0,4	0,3	0,1	-0,2
2013	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3
2014	-0,4	-0,5	-0,3	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1	0,2	0,5	0,6	0,7
2015	0,5	0,5	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,9	2,2	2,4	2,6	2,6
2016	2,5	2,1	1,6	0,9	0,4	-0,1	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,6
2017	-0,3	-0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	-0,1	-0,4	-0,7	-0,8	-1,0
2018	-0,9	-0,9	-0,7	-0,5	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,8
2019	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5
2020	0,5	0,5	0,4	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,6	-0,9	-1,2	-1,3	-1,2

Fonte: NWS (2023)

Foram testadas a correlação dos eventos de precipitação máxima e precipitação total mensal com o índice ONI, na região do Niño 3.4, por meio teste paramétrico correlação de Pearson e não-paramétrico de correlação de Spearman, com indicação do p-valor, evidenciando a significância estatística da correlação (95%). Os testes consideraram os valores do ONI e precipitação para todo o período analisado. Os valores dos testes de correlação (r e p-valor) podem ser verificados na figura 5.

Figura 5 – Município de Cachoeira do Sul-RS: gráficos de correlação de Pearson entre o Índice ONI e a precipitações máximas (5a), Spearman entre ONI e precipitações máximas (5b), Pearson entre ONI e precipitações mensais (5c), Spearman entre ONI e precipitações mensais (5d), período de 1987-2020, com destaque para o coeficiente de correlação (r) e p-valor



Org: Autores (2023)

Depreende-se, por meio de análise da figura 5, que as correlações entre os dados de precipitação mensal e totais, com o índice ONI possuem uma fraca correlação, tanto pelo método de Pearson quanto pelo método de Spearman, contudo, para todas as correlações realizadas, houve significância estatística (95%), pois todos os p-valor foram menores que 0,005. Os intervalos em que os coeficientes de correlação (r) apresentam significância estatística são: 5a) entre 0,072 e 0,263; 5b) entre 0,024 e 0,218; 5c) entre 0,140 e 0,326; 5d) entre 0,051 e 0,244. Como pode ser observado, o maior valor de coeficiente de correlação foi entre o índice ONI e as precipitações mensais, pelo método da correlação de Pearson, na figura 5c, com 0,235.

Com o intuito de estimar a influência do fenômeno ENOS na precipitação de Cachoeira do Sul-RS no âmbito mensal, foram realizadas as correlações entre o Índice ONI e as precipitações mensal e máxima, no mês corrente (tabela 6), com defasagem de um mês, ou seja, o valor de precipitação do mês corrente e o índice ONI do mês anterior (tabela 7), e com defasagem de três

meses (tabela 8), por meio dos métodos de Pearson e Spearman. Os dados em vermelho apresentaram significância estatística a 95%.

Tabela 6 - Correlação entre índice ONI com as precipitações total e máxima do mês corrente, com respectivos valores de coeficiente (r) e p-valor, com destaque na cor cinza, com significância de 95%

Meses	Precipitação Mensal				Precipitação Máxima			
	Correlação (r)		p-valor		Correlação (r)		p-valor	
	Pearson	Spearman	Pearson	Spearman	Pearson	Spearman	Pearson	Spearman
Jan	-0,061	-0,087	0,734	0,630	-0,049	-0,101	0,787	0,576
Fev	0,021	-0,089	0,906	0,622	0,007	-0,113	0,970	0,530
Mar	0,174	0,062	0,324	0,727	0,026	-0,066	0,883	0,711
Abr	0,340	0,236	0,053	0,186	0,243	0,128	0,173	0,478
Mai	0,308	0,298	0,077	0,086	0,126	0,117	0,478	0,509
Jun	-0,053	-0,159	0,764	0,369	-0,003	-0,062	0,986	0,729
Jul	0,356	0,238	0,039	0,175	0,234	0,078	0,184	0,659
Ago	0,194	0,106	0,280	0,556	-0,009	0,119	0,961	0,509
Set	-0,023	-0,010	0,901	0,959	0,129	0,179	0,483	0,328
Out	0,349	0,259	0,047	0,145	0,206	0,246	0,249	0,167
Nov	0,374	0,384	0,032	0,027	0,193	0,375	0,281	0,032
Dez	0,628	0,531	0,0000091	0,001	0,630	0,517	0,000084	0,002

Fonte: Autores (2023)

Tabela 7 - Correlação entre índice ONI com as precipitações total e máxima, com defasagem de 1 mês, com respectivos valores de coeficiente (r) e p-valor, com destaque na cor cinza, com significância de 95%

Meses	Precipitação Mensal				Precipitação Máxima			
	Correlação (r)		p-valor		Correlação (r)		p-valor	
	Pearson	Spearman	Pearson	Spearman	Pearson	Spearman	Pearson	Spearman
Jan	-0,068	-0,170	0,706	0,345	0,108	0,049	0,550	0,788
Fev	0,051	-0,019	0,776	0,916	0,067	-0,014	0,710	0,936
Mar	0,199	0,075	0,266	0,676	0,016	-0,087	0,928	0,629
Abr	0,361	0,219	0,039	0,222	0,243	0,126	0,173	0,484
Mai	0,285	0,255	0,107	0,152	0,036	0,042	0,840	0,818
Jun	0,104	-0,186	0,559	0,292	-0,083	-0,096	0,640	0,591
Jul	0,417	0,326	0,014	0,060	0,301	0,210	0,084	0,234
Ago	0,222	0,117	0,215	0,517	0,035	0,128	0,849	0,477
Set	0,004	0,037	0,984	0,844	0,090	0,166	0,631	0,373
Out	0,407	0,341	0,021	0,056	0,231	0,295	0,203	0,101
Nov	0,348	0,374	0,047	0,032	0,181	0,381	0,313	0,029
Dez	0,625	0,541	0,0001	0,001	0,622	0,510	0,0001	0,002

Fonte: Autores (2023)

Tabela 8 - Correlação entre índice ONI com as precipitações total e máxima, com defasagem de 3 meses, com respectivos valores de coeficiente (r) e p-valor, com destaque na cor cinza, com significância de 95%

Meses	Precipitação Mensal				Precipitação Máxima			
	Correlação (r)		p-valor		Correlação (r)		p-valor	
	Pearson	Spearman	Pearson	Spearman	Pearson	Spearman	Pearson	Spearman
Jan	-0,120	-0,226	0,505	0,206	0,028	-0,052	0,879	0,778
Fev	0,003	-0,070	0,989	0,698	0,126	0,118	0,494	0,519
Mar	-0,008	0,012	0,965	0,945	0,073	0,082	0,688	0,651
Abr	0,316	0,237	0,073	0,185	0,192	0,142	0,283	0,429
Mai	0,149	0,135	0,407	0,453	-0,039	-0,044	0,829	0,810
Jun	-0,187	-0,197	0,290	0,264	-0,237	-0,230	0,176	0,191
Jul	0,403	0,359	0,020	0,040	0,330	0,302	0,061	0,088
Ago	0,220	0,160	0,219	0,373	0,177	0,206	0,324	0,250
Set	-0,081	-0,017	0,660	0,927	0,050	0,163	0,787	0,373
Out	0,345	0,274	0,049	0,123	0,176	0,204	0,327	0,254
Nov	0,131	0,215	0,467	0,229	0,077	0,284	0,676	0,115
Dez	0,648	0,518	0,00006	0,002	0,619	0,484	0,0001	0,005

Fonte: Autores (2023)

Como pode ser observado nas tabelas 6, 7 e 8, de maneira geral, os dados do Índice ONI da região do Niño 3.4 não apresentam boa aderência aos dados de precipitação mensal da estação Barro Vermelho, no município de Cachoeira do Sul-RS, indicando ausência ou fraca correlação, assim como nos resultados apresentados por Marcuzzo e Romero (2013). No tocante aos dados de precipitação total mensal, houve mais indicações de correlações com o ONI do que com os dados de precipitação máxima e ONI, sob o método da correlação de Pearson, justificado pela significância estatística do p-valor, sendo que, mesmo não havendo forte correlação entre os dados ($r \geq 0,7$), foi significativo a 95%.

A partir disso, pela tabela 6, verifica-se correlação significativa para a precipitação total nos meses de julho, outubro, novembro e dezembro (Pearson) e novembro e dezembro (Spearman). Já para a precipitação máxima, correlação nos meses de novembro e dezembro (Spearman) e dezembro (Pearson). A tabela 7 mostra correlação significativa para os meses de outubro, novembro e dezembro (Pearson), para a variável precipitação total mensal, e novembro e dezembro (Spearman). Para a precipitação máxima, dezembro (Pearson) e novembro e dezembro (Spearman). Na tabela 8, para a precipitação total mensal, correlação nos meses de julho, outubro e dezembro (Pearson) e dezembro (Spearman) e, para a precipitação máxima, dezembro (Pearson e Spearman).

Analisando os cinco maiores eventos de precipitação máxima ocorridas, sendo elas: 185,3 mm (out./2016), 165,0 mm (abr./1992), 156,7 mm (nov./2013), 154,7 mm (dez./2015) e 122,5 mm

(ago./1998), pode-se depreender que, para a de 2016, estava atuando o fenômeno da La Niña durante esse evento extremo, após um longo período de El Niño (até o mês de abril de 2016), não podendo ser justificada.

Para a precipitação máxima no ano de 1992, ocorrida no mês de abril, estava atuando o fenômeno EN, com valor de índice ONI de 1,3. Assim como destaca Cavalcanti (1996), a elevada precipitação em todo o estado do Rio Grande do Sul foi causada pela atuação persistente de sistemas frontais, em interação com vórtice ciclônico (elevada altitude), mostrando que o ENOS impulsiona outros fenômenos a atuaram na região sul.

Para a precipitação máxima ocorrida em novembro de 2013, não é possível associá-la ao fenômeno ENOS pois estava configurado como ano normal, sem anomalia de temperatura nas águas equatoriais do Pacífico, com índice ONI de -0,2. Para a chuva máxima de 154,7 mm ocorrida em dezembro de 2015, estava atuando um forte episódio de El Niño, com início em out./2014, culminando no índice ONI de +2,6. O evento extremo de precipitação foi explicado por Larini Jr. (2017), em decorrência de uma forte frente fria que assolou a região associada a uma intensificação dos jatos de baixos níveis, iniciando no dia 18 de dezembro de 2015.

Já no evento de agosto de 1998, quando foi precipitado 122,5 mm, estava atuando o fenômeno La Niña, contudo, entre maio de 1997 a maio de 1998, estava sob forte influência do El Niño. Associando com os dados das tabelas 6, 7 e 8, não foi possível identificar correlações significativas para o mês de agosto (desfasagem três meses) e, a influência do El Niño sobre a precipitação na região Sul do Brasil é limitada até o final do outono do ano subsequente (março a junho), como apontado por Matzenauer, Radin e Maluf (2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados encontrados, verificou-se que a modelagem das séries temporais das precipitações máximas pelo método de Gumbel (Extremas tipo I) foi satisfatória e atingiu os objetivos propostos. Para a maior precipitação que se tem registro da cidade de Cachoeira do Sul-RS, de 185,3 mm, ocorrida no ano de 2016, há um período de retorno de pouco mais de 50 anos, além disso, as previsões apontam cenários de chuvas intensas cada vez mais volumosas ao longo do tempo.

A determinação dos períodos de retorno são extremamente importantes, considerando que as infraestruturas urbanas e rurais possuem uma vida útil, então, que esse trabalho venha contribuir para

o conhecimento dos riscos das precipitações extremas associados às obras de drenagem ou de infraestruturas, à agricultura, e manutenção das atividades e bem-estar geral da população do município de Cachoeira do Sul, com intuito de auxiliar na tomada de decisões pelos gestores públicos e privados, para alertar sobre os riscos e a previsibilidade, e os potenciais desastres sobre os excessos de água

Foi possível verificar que, dos cinco maiores eventos de precipitação máxima, três deles ocorreram na última década (2010) e os outros dois ocorreram na década de 1990, Isso corrobora os resultados que vem sendo analisados por pesquisadores ao redor do mundo, sobre maior frequência de ocorrência de eventos extremos climáticos e, também, os relatórios do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Uma vez conhecidos os valores que as precipitações máximas possam admitir e os tempos de ocorrência (períodos de retorno), pode-se tomar medidas que evitem ou reduzam os danos que as precipitações máximas possam causar.

A estimação de correlação entre os valores do Índice ONI, da região do Niño 3.4, e as precipitações mensais e máximas no município de Cachoeira do Sul-RS não foram satisfatórios, sendo que, apenas para durante o mês de dezembro que produziu correlações significativas para todos os cenários testados. O método de correlação de Pearson foi o que se ajustou melhor aos dados analisados.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria interessantes analisar com maior veemência as séries temporais de precipitação, extraíndo informações sobre o período chuvoso, se há presença de tendências nos dados, sazonalidades, estabelecer relação com os sistemas atmosféricos que produzem as chuvas na região, bem como demais eventos de teleconexão que possam afetar a distribuição espacial e temporal das chuvas, Assim, é possível ter uma visão integrada e completa sobre as ocorrências de chuvas no referido município.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Portal Hidroweb** – séries históricas de estações. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em nov./2021.

ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS. P. C. **Variabilidade, tendência, anomalia e mudança climática. Piracicaba:** ESALQ. Departamento de Engenharia de Biossistemas, 2010, 8 f. Apostila.

ANTÔNIO J. F. et al. Período de retorno de eventos de precipitação favoráveis às culturas no estado de Alagoas. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 465-473, 2017.

ARQUIVO Histórico de Cachoeira do Sul. **A enchente de 1941**. Disponível em: <<https://arquivohistoricodecachoeiradosul.blogspot.com/2015/10/a-enchente-de-1941.html?showComment=1640109864253#c7908314063653219450>>. Acesso em 15 dez, 2021,

ASSIS, F. N. de; MARTINS, S. R.; MENDEZ, M. E. G. Anomalias pluviométricas associadas a ocorrência de El Niño e de La Niña no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba, SP. **Anais....** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/ESALQ, 1997, p. 283- 85.

BEIJO, L. A. **Distribuição de Gumbel**: estudo de métodos de estimação dos parâmetros e ajuste aos dados de precipitação máxima de Lavras, Minas Gerais. 2002. 91 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 423-432, mai./2005.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Ministério da Integração Nacional. WWF-Brasil. **Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto da mudança do clima**. Brasília, DF: MMA, 2017, 125 p.

CAVALCANTI, I. F. A. Episódios El Niño/Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil. **Climanálise Especial**, 1996. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~reclimanl/boletim/cliesp10a/nino.html>>. Acesso em ago. 2023.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), **Condições atuais do ENOS: caracterização do El-Niño**, Cachoeira Paulista, SP, 2023. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em ago./2023.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Hidrología Aplicada**. McGraw-Hill Interamericana, Santafé de Bogotá, Colômbia, 1994.

COTTA, H. E. A.; CORREA, W. S. C.; ALBUQUERQUE, T. T. A. Aplicação da distribuição de Gumbel para valores extremos de precipitação no município de Vitória-ES. **Revista Brasileira de Climatologia**, n. 19, a. 12. p. 203-217, jul/dez 2016.

CUNHA, G. R. da., et al. El Niño/La Niña - Oscilação Sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações. **Revista Plantio Direto & Tecnologia Agrícola**. Passo Fundo, RS, n. 121, p. 18-22, jan/fev 2011.

ENCHENTES desabrigam famílias e prejudicam lavouras no RS. **Portal G1**. 29 de dez. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2015/12/enchentes-desabrigam-familias-e-prejudicam-lavouras-no-rs.html>>. Acesso em 20 dez. 2021.

GRIMM, A. M. Clima da região sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. (Orgs.) **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 259-275. (Capítulo 17).

GRIMM, A. M.; SANT'ANNA, C. L. S. Influência de fases extremas da Oscilação Sul sobre a intensidade e frequência das chuvas no sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais....** Rio de Janeiro: SBMet, 2000, 1 CD-ROM.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades** – Cachoeira do Sul-RS. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/cachoeira-do-sul/panorama>>. Acesso em out/2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - **Normais Climatológicas do Brasil**, período 1961-1990. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em out/2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS- INPE. **Boletim do Grupo de Pesquisas em Mudanças Climáticas-GPMC**, n. 8, mai/2009. Edição Especial. Disponível em: <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/newsletters/Boletim_No8_Port.pdf>. Acesso em 20 dez. 2021.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.

LARINI JR., N. **Análise das influências do fenômeno El Niño 2015-16 sobre a região Sul do Brasil**. 2017. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) - Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

LIEBMANN, B.; JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. de. Interannual Variability of Daily Extreme Precipitation Events in the State of São Paulo, Brazil. **Journal of Climate**, v. 14, p. 208-218, 2001.

LIMA E SILVA, J. U.; ERBERELLI, N. P. Determinação do período de retorno da precipitação pluviométrica por meio da distribuição de Gumbel para a região de Guaratinguetá-SP. **Revista Intraciência**, ed. 12, p. 1-13, dez/2016.

LOPES, F. Z.; DINIZ, G. B.; MARQUES, J. R. Relação entre o Multivariate Enso Index (MEI) e a TSM das Regiões dos Niños com a Precipitação em Regiões Homogêneas do Estado do Rio Grande do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 30, p. 11-22, fev/2007.

MARCUZZO, F. F. N.; ROMERO, V. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p. 429-449, 2013.

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; MALUF, J. R. T. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, Passo Fundo, RS, v. 25, n. 2, dez/2017, p. 323-331.

MENDONÇA, F. A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NATIONAL WEATHER SERVICE (NWS). Climate Prediction Center (CPC). National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). **Cold & Warm Episodes by Season**, 2023. Disponível

em: <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php>. Acesso em ago. 2023.

PETRUCCI, E. **Características do clima de Uberlândia-MG: análise da temperatura, precipitação e umidade relativa**. 2018. 245 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

PETRUCCI, E.; OLIVEIRA, L. A. Análise estatística das vazões máximas e mínimas diárias da bacia hidrográfica do Rio Preto-BA. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, 6., 2017, Uberlândia, MG. **Anais...** Uberlândia, 2017, p. 225-226.

PETRUCCI, E.; OLIVEIRA, L. A. Índice estandardizado de seca pluviométrica (IESP) aplicado na mesorregião sul cearense (CE) – Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 14., 2018, Juiz de Fora, Minas Gerais. **Anais...** Juiz de Fora, MG: Associação Brasileira de Climatologia, 2018, p. 2141-2150.

POHLMANN, V.; LAZZARI, M. Caracterização climática de Cachoeira do Sul, RS quanto à precipitação pluvial. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 4, n. 1, p. 42-60, 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CACHOEIRA DO SUL. **Inventário Turístico**. Disponível em: <https://cachoeiradosul.rs.gov.br/arquivos/03_inventArio-turIstico.pdf>. Acesso em nov/2021.

RIBEIRO, R. R. et al. Fatores de inundação na cidade Cachoeira do Sul, RS-Brasil. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 5., 2016, Passo Fundo, **Anais...** Passo Fundo: IMED, 2016, v. 5, p. 1-5.

SANTOS, D. D. dos; GALVANI, E. Distribuição sazonal e horária das precipitações em Caraguatuba-SP e a ocorrência de eventos extremos nos anos de 2007 a 2011. **Ciência e Natureza**, v. 36, n. 2, p. 214-229, mai/ago 2014.

TUCCI, C. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação** 3 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2004.
VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife, mar/2006. (Versão Digital 2). Disponível em: <https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf>. Acesso em ago. 2023.

WOLLMANN, C. A. Enchentes no Rio Grande do Sul do século XXI. **Mercator**, v. 13, n. 1, p. 79-91, jan-abr/2014.