



Análise de agrupamento e tendências de mudanças em séries temporais pluviométricas na bacia hidrográfica do Alto Jacuí, Rio Grande do Sul

Cluster Analysis and change trends in rainfall time series in the Alto Jacuí Watershed, Rio Grande do Sul

Jakeline Baratto¹ ; Paulo Miguel de Bodas Terassi¹ ; Cássio Arthur Wollmann² ; José Francisco de Oliveira-Júnior³ ; Emerson Galvani¹

¹Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, SP, Brasil.

²Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

³Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brasil.

E-mail: pmbterassi@gmail.com (PMBT); cassio_geo@yahoo.com.br (CAW);

jose.junior@icat.ufal.br (JFOJ); egalvani@usp.br (EG)

E-mail para correspondência: jakelinebarattogeo@gmail.com

Recebido (Received): 24/10/2021

Aceito (Accepted): 17/01/2024

Resumo: Os estudos climáticos em bacias hidrográficas são de suma importância para o planejamento e para a gestão dos recursos hídricos porque indicam potencialidades e riscos relacionados aos extremos climáticos. Este estudo objetivou a identificação dos setores homogêneos de precipitação pluvial associada à avaliação das eventuais tendências de mudanças das séries temporais pluviométricas na bacia hidrográfica do Alto Jacuí (BHAJ), Rio Grande do Sul. Foram selecionados os dados anuais, mensais e sazonais de 27 postos pluviométricos, com uma série histórica equivalente a 31 anos, entre os anos de 1980 e 2010. As duas principais metodologias aplicadas neste trabalho corresponderam à análise de agrupamento e ao teste Mann-Kendall (MK) para a identificação da variabilidade espaço-temporal pluviométrica. O dendrograma da análise de agrupamento foi gerado a partir do software Statistica 7.0 e o teste MK e os indicadores climáticos extremos de precipitação foram obtidos a partir do software R. Os resultados mostraram que a orografia condiciona a distribuição espacial das chuvas da BHAJ. Identificaram-se as tendências mais significativas para a redução da pluviometria durante o outono e inverno e para os setores centro-sul da área de estudo. Estes resultados são importantes para a BHAJ, pois podem alertar para futuros problemas relacionados à escassez de água para a área de estudo.

Palavras-chave: Precipitação pluvial; Orografia; Análise multivariada; Recursos hídricos; Tendências temporais.

Abstract: Climate studies in watersheds are very important for the water resources planning and management because they indicate climate extremes potentialities and risks. This paper aimed to identify homogeneous rainfall sectors associated with the evaluation of possible changes trends in rainfall series in the Alto Jacuí Watershed (AJW), Rio Grande do Sul State. Were used annual, monthly, and seasonal data from 27 rainfall with a historical series equivalent to 31 years, between the period from 1980 to 2010. The two main methodologies applied in this research corresponded to Cluster Analysis and the Mann-Kendall (MK) test to identify the spatial-temporal rainfall variability. The cluster analysis dendrogram was generated by the Statistica 7.0 software and the MK test and the climate extreme indicators of precipitation were obtained using the R software. Was verified that the orography conditions the rainfall spatial distribution in the AJW. Was identified the most significant trends were identified for the decrease in rainfall during autumn and winter and for the central-southern region of the study area. These results are important to AJW because they can warn to future water scarcity problems for study area.

Keywords: Rainfall; Orography; Multivariate analysis; Water resources; Temporal trends.

1. Introdução

Os estudos climáticos em bacias hidrográficas atendem a diferentes segmentos da sociedade civil, especialmente a Gestão de Recursos Hídricos (TUCCI, 2004; KELTING, 2009; MA *et al.*, 2012; CHIERICE; LANDIM, 2014). Nas bacias hidrográficas das regiões tropicais (PEREIRA *et al.*, 2002;

SILVA, 2004; PANAGOS *et al.*, 2017), a precipitação pluviométrica destaca-se como um dos principais componentes de entrada de energia neste recorte espacial, considerando a abundância deste atributo climático (SANTOS; ARAÚJO, 2013; PANAGOS *et al.*, 2017).

A bacia hidrográfica do Alto Jacuí (BHAJ) ganha importância na análise pluviométrica, pois nela se encontram os maiores reservatórios artificiais de usinas hidrelétricas do Rio Grande do Sul (RS), além do seu setor agropecuário. Na questão energética, as características geológicas e geomorfológicas favoreceram esse potencial. Diante disso, a BHAJ conta com 10 empreendimentos hidrelétricos em operação (ZIANI *et al.*, 2017; ZIANI; FOLETO; WOLLMANN, 2019). Atualmente são 4 Usinas Hidrelétricas (UHE's) e 6 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's) (SEMA, 2019). Diante disso, a bacia hidrográfica se destaca pelo aproveitamento dos recursos hídricos para o setor hidroelétrico do estado e isso requer uma análise detalhada da sua variabilidade pluvial, principalmente quanto à sua tendência.

O principal rio da área de estudo é o rio Jacuí, que tem suas nascentes a nordeste da bacia hidrográfica. Segundo SEMA (2012), ele se caracteriza como o maior rio do interior do estado, tem suas nascentes no Planalto Médio, escoando primeiramente no sentido sul e posteriormente no sentido leste (CAOJU, 2009). O rio Jacuí, no seu trecho superior, caracteriza-se pelo aproveitamento energético, onde estão instaladas as UHE's Ernestina, Passo Real, Salto do Jacuí e Itaúba. Toda a área de drenagem do rio Jacuí caracteriza-se pelo uso intensivo do solo para agricultura e pecuária (FEPAM, 2016).

Além disso, a bacia hidrográfica está diretamente ligada à dinâmica do setor agropecuário. Ziani *et al.* (2020) discorrem que 24 municípios inseridos na bacia hidrográfica tem o setor agropecuário como setor mais relevante. A economia da BHAJ está baseada principalmente na agricultura e na pecuária. Dessa forma, ambas atividades recorrem aos recursos hídricos, para se poder ter safras regulares ao longo dos anos, assim como, o aumento dos rebanhos na região (COAJU, 2009).

Nesse contexto, as maiores demandas hídricas da bacia são referentes às atividades de irrigação e dessedentação animal, sendo que a primeira possui uma demanda hídrica de 1,27 m³/s e, por sua vez, a segunda possui uma demanda hídrica de 0,51 m³/s (COAJU, 2009). Os meses mais críticos para a demanda hídrica superficial, conforme estudos do comitê de bacias, são os meses de dezembro e janeiro, devido ao consumo destinado à irrigação (COAJU, 2012), ao aumento das temperaturas médias e, conseqüentemente, ao aumento das taxas de evapotranspiração. Diante disso, entender a variabilidade pluviométrica possibilitará a melhor gestão e uso dos seus recursos hídricos para suprir a demanda necessária para ambos os setores.

Da mesma forma, que o conhecimento detalhado das características e dinâmicas pluviais da área em estudo é essencial para o planejamento e gerenciamento de diversos segmentos da sociedade civil. Para tanto, torna-se necessária à aplicação de técnicas e procedimentos metodológicos robustos para identificação com acurácia de padrões espaciais e temporais da precipitação pluvial, dentre as quais se destacam a técnica de análise de agrupamento (AA) para a identificação das características espaciais da pluviosidade e a utilização do teste de Mann-Kendall (MK), que é utilizado para avaliar tendência da precipitação pluvial (LI *et al.*, 2018; TERASSI *et al.*, 2022), e dos indicadores climáticos extremos oriundos do Serviço Meteorológico Canadense (ZHANG; YANG, 2004) para averiguar eventuais tendências de mudanças das características do regime pluvial da BHAJ.

Essas técnicas possibilitam compreender a dinâmica da precipitação pluvial na bacia hidrográfica, identificando as áreas com os maiores ou menores volumes pluviométricos. Dessa forma, isso se torna fundamental para a área de estudo pois viabiliza o planejamento hídrico e, portanto, atende as demandas estratégicas dos setores hidroenergético e agrícola.

Dentre as principais técnicas de análise espacial da pluviosidade, tem se destacado na literatura o uso da AA (BRITO *et al.*, 2016; TERASSI; GALVANI, 2017; TERASSI *et al.*, 2020), visto que ela identifica eficientemente as semelhanças entre as estações pluviométricas, com isso possibilita uma compreensão detalhada das características climáticas de quaisquer recortes de estudo. A técnica de AA tem sido amplamente empregada em diversas regiões brasileiras (NASCIMENTO *et al.*, 2015; WREGE *et al.*, 2016; TERASSI *et al.*, 2018), o qual identifica características específicas da distribuição espacial pluviométricas em diversas escalas espaciais.

Nascimento *et al.* (2015) analisaram os padrões pluviais para o estado do Maranhão e utilizaram o método aglomerativo de Ward para identificar as regiões homogêneas da precipitação mensal. Para compreender a disponibilidade hídrica da Região Sul, Wrege *et al.* (2016) utilizaram o método de agrupamento hierárquico Ward. O mesmo método foi utilizado por Terassi *et al.* (2018) para compreender a relação entre a orografia e a distribuição espacial da erosividade das chuvas na bacia hidrográfica do rio Piquiri (PR). Os autores concluíram que a técnica de agrupamento realizada pelo método Ward foi satisfatória para a área de estudo.

Por sua vez, a utilização das técnicas de observação de tendências e mudanças nos padrões de precipitação pluvial são de suma importância para minimizar os riscos potenciais relacionados aos eventos extremos climáticos, sobretudo devido ao impacto e repercussão destas excepcionalidades do clima para os ecossistemas e para a sociedade. Diversas pesquisas têm se valido da aplicação do teste MK para averiguar modificações em séries históricas de precipitação pluvial, dentre as quais se destacam os estudos de Pinheiro *et al.* (2013) e Nascimento Júnior *et al.* (2020) para a região Sul e o estado do Paraná, nesta ordem. Ressalta-se que, dentre as técnicas avaliadas neste manuscrito, os indicadores climáticos extremos desenvolvidos pelo Serviço Meteorológico Canadense (ZHANG; YANG, 2004) tem sido amplamente utilizado em pesquisas em diferentes regiões do território brasileiro (LUIZ-SILVA *et al.*, 2015; ZANDONADI *et al.*, 2016; LUIZ-SILVA; OSCAR-JÚNIOR, 2022; TERASSI *et al.*, 2022).

Ao considerar a eficácia da utilização da técnica de AA na análise espacial da pluviosidade e do teste MK para a avaliação de tendências de mudanças das características pluviométricas e a importância da área em estudo no contexto hidrográfico sul-rio-grandense, o presente estudo objetiva a identificação dos setores homogêneos de precipitação pluvial da bacia hidrográfica do Alto Jacuí associada à avaliação de eventuais tendências de mudanças das séries temporais pluviais.

2. Área de estudo

A área em estudo está localizada entre as coordenadas geográficas 28°08' a 29°55'S e 52°15' a 53°50'W (**Figura 1**). A BHAJ abrange uma área total equivalente a 12.985 km², pertence à Região Hidrográfica do Guaíba (SEMA, 2012) e situada no setor centro-norte do estado do RS. A área de estudo está inserida na unidade de relevo do Planalto Sedimentar da Bacia do Paraná (ROSS, 1985, 2014). Essa unidade de relevo é formada por rochas basálticas e arenito intercalados decorrentes de um grande derrame de lavas ocorrido na era Mesozoica (CPRM, 2012).

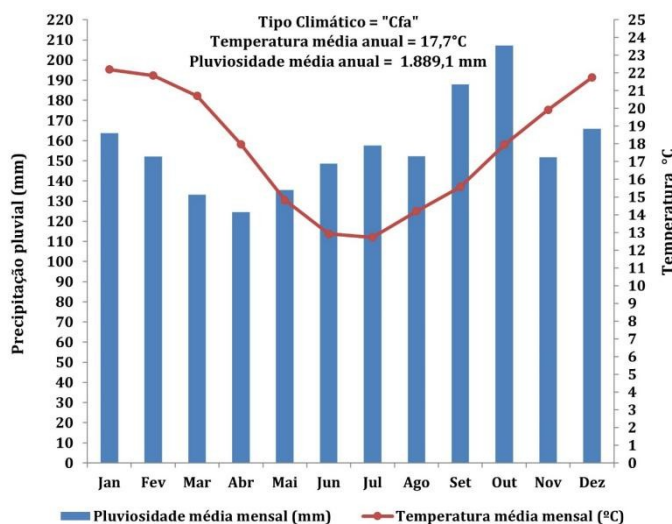


Figura 1: Climograma e tipo climático em Passo Fundo (RS) para o período de 1961 a 2020.

A altimetria varia de 85 a 776 m acima do nível médio do mar (NMM). As menores altitudes se localizam próximos aos leitos dos principais cursos d'água sendo eles, rio Jacuí na sua região sul, rio Jacuí-mirim, nas proximidades do reservatório Passo Real, rio Ingaí, rio Ivaí, e no rio dos caixões. Além disso, áreas com as menores altitudes se localizam no setor centro-sul da bacia hidrográfica. As maiores altitudes se localizam no setor leste e sudeste da bacia hidrográfica, cuja altimetria varia de 654 a 776 m.

Além disso, a BHAJ está localizada nos biomas Pampa e Mata Atlântica. O primeiro se localiza no setor sudoeste da bacia hidrográfica e ocupa uma área de 2.298,7 km², correspondendo a cerca de 18% da área total da área de estudo. O bioma da Mata Atlântica ocupa a maior área da bacia hidrográfica o equivale a 10.694,7 km², ou seja, cerca de 82% da área total.

Seguindo a classificação climática de Köppen (1948) realizada por Álvares *et al.* (2013) para o território brasileiro, a região na qual se localiza a BHAJ caracteriza-se pela prevalência do tipo climático "Cfa", tipologia que indica um clima subtropical quente úmido, sendo que a temperatura do mês mais frio é inferior a 18,0 °C e temperatura do mês mais quente superior a 22,0 °C. Associada a esta tipologia está a ocorrência de precipitação pluvial em todos os meses do ano e inexistência de estação seca definida (BARATTO *et al.* 2016).

Utilizou-se como referência para caracterizar o clima da área em estudo os dados referentes à estação meteorológica convencional de Passo Fundo, localizada entre as coordenadas geográficas de 28°13'48''S e 52°24'36''W, com o segmento temporal de 1961 a 2020. Obteve-se uma temperatura média anual de 17,7°C e mostrou-se que a média a temperatura do ar no mês mais frio é inferior a 13,0°C para os meses de junho e julho e, no entanto, a temperatura do ar para os meses de verão (entre dezembro e fevereiro) é superior a 21,0°C, com média equivalente a 22,2°C (**Figura 1**).

A precipitação pluvial média varia entre cerca de 125 mm em abril e supera os 205 mm no mês de outubro, sendo assim, a variabilidade mensal corresponde a cerca de 80 mm para a estação meteorológica de Passo Fundo. A precipitação pluvial do RS, bem como em toda a região Sul é determinada principalmente pelas passagens dos sistemas frontais (SARTORI, 2003; 2016; NERY; CARFAN, 2014; CERA; FERRAZ, 2015). No entanto, em função da compartimentação do relevo do RS, associados à passagem frontal, a distribuição espacial da chuva no estado ocorre diferentemente (SARTORI, 2003). Além das frentes frias, as linhas de instabilidade (LI's) atuam na ocorrência de chuvas no Sul do Brasil e têm a maior atuação no verão e na região Nordeste (BRITTO, 2006; ROSSATO, 2014).

A região da bacia hidrográfica também tem atuação dos sistemas polares e tropicais. As massas polares atuantes são a massa polar atlântica e massa polar em processo de tropicalização. As massas tropicais que atuam são a massa tropical continental e massa tropical atlântica. Entretanto, as massas de origem polar dominam com mais frequência no inverno, ao passo que as massas tropicais atuam mais no período de verão (MONTEIRO, 1963; NIMER, 1989; SARTORI, 1993,2016; ROSSATO, 2014; 2020).

3. Materiais e métodos

Os dados pluviiais para esta pesquisa foram registrados por postos pluviométricos controlados pela Companhia Estadual de Energia Elétrica Geração e Transmissão (CEEE-GT), a Agência Nacional das Águas (ANA), e foram utilizados dados pluviométricos da estação meteorológica da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO). Foram selecionados os dados de 27 postos pluviométricos, localizados na bacia hidrográfica ou próximos a ela, com uma série histórica de 31 anos, de janeiro de 1980 a dezembro de 2010 (**Figura 2**). Optou-se pela escolha de postos no interior e próximos aos limites da bacia hidrográfica para o preenchimento de falhas de registros de dados.

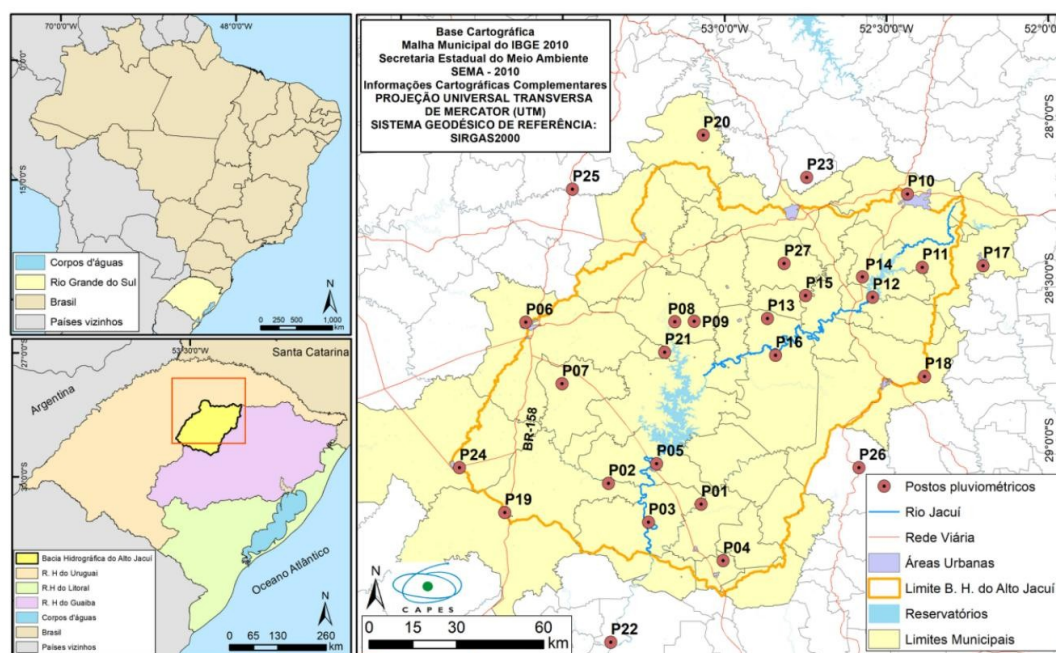


Figura 2: Localização da bacia hidrográfica do Alto Jacuí (RS) e dos postos pluviométricos utilizados.

Após a obtenção dos dados, realizou-se a tabulação e organização em planilhas eletrônicas. Na análise preliminar dos dados pluviométricos foram identificadas falhas na série temporal. Assim, 12 postos pluviométricos tiveram falhas em algum momento da série histórica, essas falhas correspondem a 2,91% do banco de dados. O posto 26 foi o que registrou o maior número de falhas com 25,3%, seguido dos postos P01 e P27, com 16,5% e 16,1%, respectivamente (**Tabela 1**).

Tabela 1: Identificação (ID) e características dos postos pluviométricos inseridos dentro e no entorno da bacia hidrográfica do Alto Jacuí (RS).

Código	ID	Nome	Município	Coordenada X	Coordenada Y	Altitude (m)	Respons.	% Falhas
2953036	1	Passo Estrela	Arroio do Tigre	-29°11'45"	-53°04'21.41"	339	CEEE-GT	16,5
2953022	2	Usina Ivai	Castilhos	-29°07'49"	-53°21'31.36"	290	CEEE-GT	3
2953010	3	Itaúba	Arroio do Tigre	-29°15'04.55"	-53°14'05.77"	183	CEEE-GT	0,5
2953007	4	Coloninha	Tigre	-29°22'16.66"	-53°00'12.01"	440	CEEE-GT	2,2
2953006	5	Barragem Salto Grande	Salto do Jacuí	-29°04'14.29"	-53°12'30.67"	279	CEEE-GT	0
2853019	6	Esquina Gaúcha	Cruz Alta	-28°37'47.57"	-53°36'54.64"	400	CEEE-GT	0
2853015	7	Três Capões Ponte Santo	Cruz Alta	-29°49'25.26"	-53°30'11.74"	350	CEEE-GT	0
2853011	8	Antônio Passo do	Ibirubá	-28°37'45.89"	-53°09'07.85"	433	CEEE-GT	0
2853008	9	Lagoão	Ibirubá	-28°37'34.46"	-53°05'30.16"	250	CEEE-GT	0
2852038	10	Pessegueiro Vila Três	Passo Fundo	-28°14'17.68"	-53°26'03.30"	540	CEEE-GT	0
2852031	11	Passos Usina	Marau	-28°27'58.57"	-52°23'17.14"	510	CEEE-GT	0
2852030	12	Ernestina Usina	Passo Fundo	-28°33'519.06"	-52°32'31.92"	500	CEEE-GT	0
2852029	13	Colorado	Tapera	-28°37'25.18"	-52°52'03.98"	360	CEEE-GT	0 0
2852024	14	Pulador	Passo Fundo Victor	-28°29'36.18"	-52°34'24.53"	600	CEEE-GT	
2852023	15	Ponte Jacuí Passo Bela	Graeff	-28°33'27.21"	-52°44'44.39"	468	CEEE-GT	0
2852019	16	Vista Barragem	Espumoso Marau	-28°44'13.24"	-52°50'37.15"	408	CEEE-GT	4
2852016	17	Capigui		-28°27'32.16"	-52°12'00.40"	512	CEEE-GT	0
2852004	18	Auler	Soledade	-28°48'06.74"	-52°22'53.49"	700	CEEE-GT	0
-	19	Júlio de Castilhos	Júlio de Castilhos	-29°13'19.57"	-53°40'45.73"	514	FEPAGRO	0
2853026	20	Chapada Santa Clara	Chapada	-28°03'27.87"	-53°03'57.91"	450	ANA	3,5
2853014	21	do Ingaí Dona	Cruz Alta Dona	-28°43'33.83"	-53°11'03.97"	390	ANA	2,5
2953008	22	Francisca Colônia	Francisca	-29°37'24.99"	-53°21'07.14"	25	ANA	1,6
2852007	23	Xadres	Carazinho	-28°37'24.99"	-52°44'43.98"	593	ANA	2,5
2953030	24	Tupanciretã	Tupanciretã	-29°05'04.28"	-53°49'10.25"	469	ANA	5,9
2853023	25	Condor	Condor	-28°13'26.16"	-53°28'09.72"	440	ANA	7,3
2952001	26	Barros Cassal	Barros Cassal	-29°05'04.03"	-52°35'02.66"	620	ANA	25,3
2852050	27	Não-me-toque	Não-me-toque	-28°27'14.53"	-52°48'56.70"	491	ANA	16,1

Estas falhas foram preenchidas pela aplicação do método utilizado por Zandonadi e Pascoalino (2012). Essa técnica consiste no preenchimento das falhas existentes com o dado real do vizinho mais próximo. Dessa maneira, identificou-se o dado faltante em cada posto, ao proceder esta assimilação, no referido mês e ano que não contivesse o registro, encontrou-se o posto vizinho de menor distância, o qual seria coletado o dado real para o preenchimento das falhas do posto faltante.

A técnica de AA (*cluster*) foi aplicada para uma análise detalhada das regiões similares pluviométricas da área de estudo. Utilizou-se como medida de proximidade a distância Euclidiana ao quadrado (BRITO *et al.*,

2016; OLIVEIRA-JÚNIOR *et al.*, 2017), comumente a mais utilizada para a análise de variáveis quantitativas que corresponde a distância geométrica no espaço multidimensional entre duas observações dimensionais (FREITAS *et al.*, 2013).

Usou-se o método Ward (1963), pois propõe que em qualquer fase de análise a perda de informação que resulta do agrupamento de elementos seja medida pela soma dos quadrados dos desvios de cada elemento à média dos elementos do grupo à qual pertence (NASCIMENTO *et al.*, 2015). O dendrograma foi gerado a partir do software *Statistica 7.0* e realizou-se o ponto de corte a partir de uma análise subjetiva que considerou as características do relevo, o regime de pluviosidade e a proximidade espacial entre os postos pluviométricos.

A avaliação de tendências de alterações das chuvas para a área de estudo foi realizada a partir do teste de MK, proposto por Sneyers (1975), que parte da hipótese de que na estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre independentemente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer a mesma (série aleatória simples). O valor calculado pode ser comparado com valores de Z para distribuição normal. Para o nível de significância de 5% de probabilidade, Z encontra-se entre o intervalo -1,645 a +1,645. Caso Z calculado seja maior que o valor tabelado, rejeita-se H₀. Assim, o teste MK (HIRSCH; SLAKE, 1974; BACK, 2001) foi aplicado para os totais anuais e sazonais de precipitação pluviométrica, mantendo os intervalos conforme descrito pelo **Tabela 2**. Destaca-se que esta etapa metodológica foi realizada a partir da utilização do software “R” versão 3.4.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017).

Tabela 2: Classificação do teste Mann-Kendall (Z_{MK}) com o intervalo de 90% de confiança.

Categorias	Escalas
Tendência positiva significativa	$Z_{MK} > +1,64$
Tendência positiva não significativa	$Z_{MK} < +1,64$
Sem mudança	$Z_{MK} = 0$
Tendência negativa não significativa	$Z_{MK} > -1,64$
Tendência negativa significativa	$Z_{MK} < -1,64$

Legenda: Z_{MK} = Teste estatístico paramétrico

Para um estudo mais detalhado da variabilidade pluvial e dos eventos extremos diários, destacando-se as tendências das séries temporais de precipitação pluvial, utilizaram-se os indicadores climáticos extremos trabalhados e oriundos do programa RCLimDex (**Tabela 3**), desenvolvido pelo Serviço Meteorológico Canadense (ZHANG; YANG, 2004). A partir da Curvatura de Sen, estimou-se a magnitude de tendência de ocorrência desses eventos extremos, tendo como principal critério a significância estatística maior que 90%. Destaca-se que a definição de dia úmido (seco) é definido por $RR \geq 1$ mm ($RR < 1$ mm) e RR compreende o total pluviométrico diário (**Tabela 3**).

Tabela 3: Indicadores climáticos de precipitação pluviométrica avaliados na área em estudo.

Indicadores	Definição
RX1day	Máxima precipitação anual em 1 dia
RX5day	Máx. prec. anual em 5 dias consecutivos
R10 mm	Número de dias no ano com $RR \geq 10$ mm
SDII	Distribuição média da prec. anual total
R10 mm	Número de dias no ano com $RR \geq 10$ mm
R20 mm	Número de dias no ano com $RR \geq 20$ mm
R60 mm	Número de dias no ano com $RR \geq 60$ mm
CDD	Núm. máx. de dias secos consec. no ano
CWD	Núm. máx. de dias úmidos consec. no ano
R95p	Total pluvial anual em que $RR > 95p$
R99p	Total pluvial anual em que $RR > 99p$
PRCPTOT	Precipitação anual total dos dias úmidos

Fonte: Zhang e Yang (2004).

4. Resultados e discussão

4.1 Análise de agrupamento e a pluviosidade na BHAJ

A aplicação da técnica de AA identificou quatro grupos homogêneos (GH) distintos na BHAJ (**Figura 3**). O primeiro grupo (GHI) está localizado na região sul e corresponde à área de menor altitude da bacia hidrográfica. O grupo homogêneo (GII) tem os postos pluviométricos distribuídos no setor centro-norte da BHAJ, em condições intermediárias de altitude em relação ao GH I, de menores elevações, e ao GHIII, de maiores altitudes. O GH III tem a distribuição dos postos a nordeste (NE) da área de estudo, nessa região também estão localizadas as maiores altitudes. O último grupo homogêneo é o GH IV, cujos postos estão distribuídos ao entorno da bacia, especificamente ao noroeste (NW) e sudoeste (SW) da área de estudo (**Figura 4**).

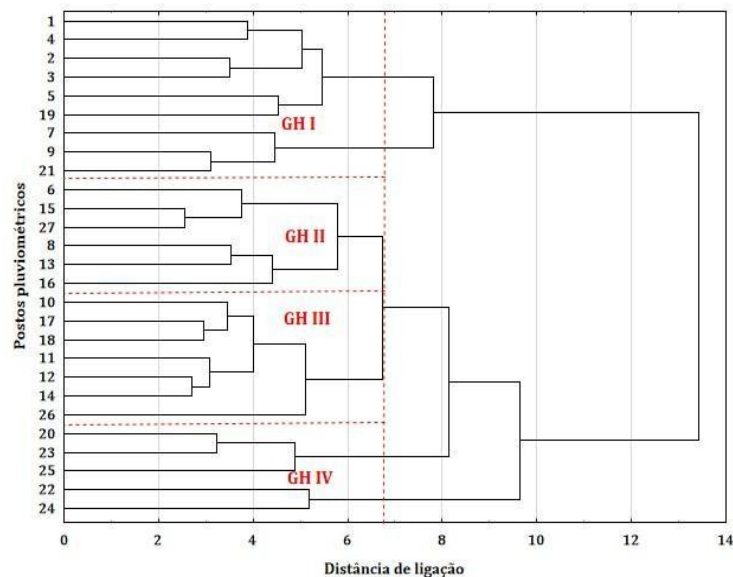


Figura 3: Dendrograma dos postos pluviométricos selecionados para a bacia hidrográfica do Alto Jacuí (RS)

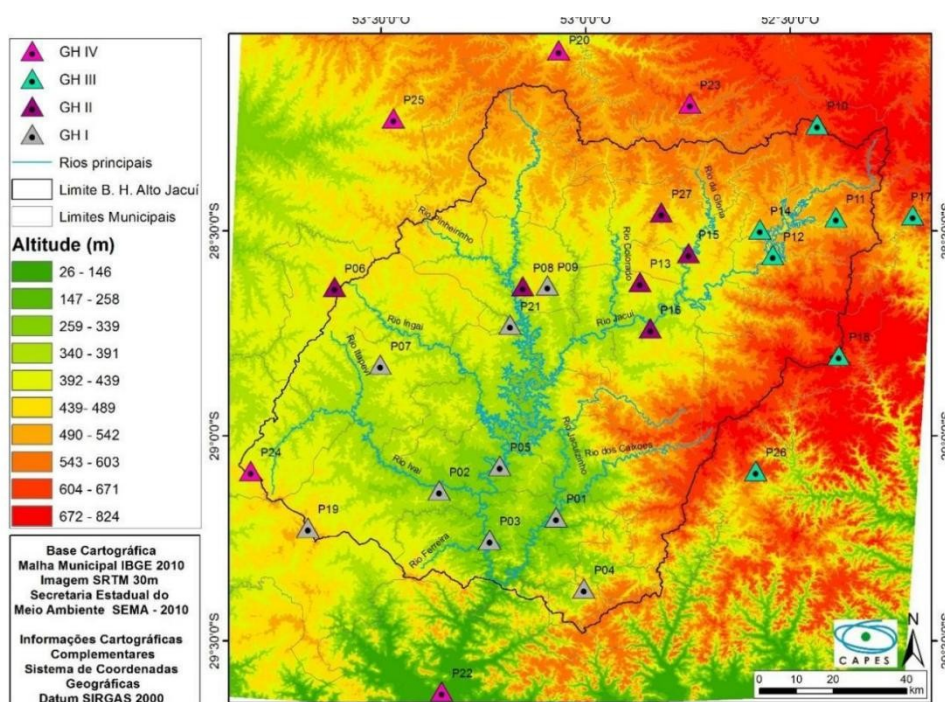


Figura 4: Distribuição espacial dos grupos homogêneos (GH) e a altimetria (m) da bacia hidrográfica do Alto Jacuí (RS)

Ao analisar a precipitação total anual entre os grupos, observa-se que na maioria dos anos no GH IV se destaca pelo maior total pluvial, com uma média anual de 1896,8 mm. Em contraposição, o GH I obteve predominantemente as menores chuvas acumuladas anuais, sendo que a média para o período é de 1690,1

mm (**Figura 5**). O GH I tem os postos pluviométricos localizados no sul (S), em condições de menores altitudes e postos pluviométricos situados entre 189 a 440 m de altitude, ao passo que o GH IV tem os postos localizados no setor norte (N) e SW da BHAJ, com altitudes dos postos pluviométricos entre 440 e 593 m e, excepcionalmente, o posto pluviométrico de Dona Francisca a 25 m de altitude.

Os GH II e III estão em condições intermediárias de pluviosidade anual, postos que as médias da série analisada foi de 1787,4 e 1823,8 mm (**Figura 5**). O GH II caracteriza-se por postos pluviométricos de altitudes entre 360 e 490 m, enquanto o GH III apresenta postos pluviométricos com altitudes entre 500 a 700 m. Em comparação, verifica-se a influência do efeito orográfico em um aumento de altitude dos postos pluviométricos e da pluviosidade média anual do GH I ao GH III gradativamente, correspondente na literatura sobre o aumento de totais anuais pluviais associados ao efeito da orografia em bacias hidrográficas (ANDRADE; NERY, 2003; TERASSI *et al.*, 2017) e conforme Sartori (2003) e Baratto e Wollmann (2015) identificaram para o estado do RS.

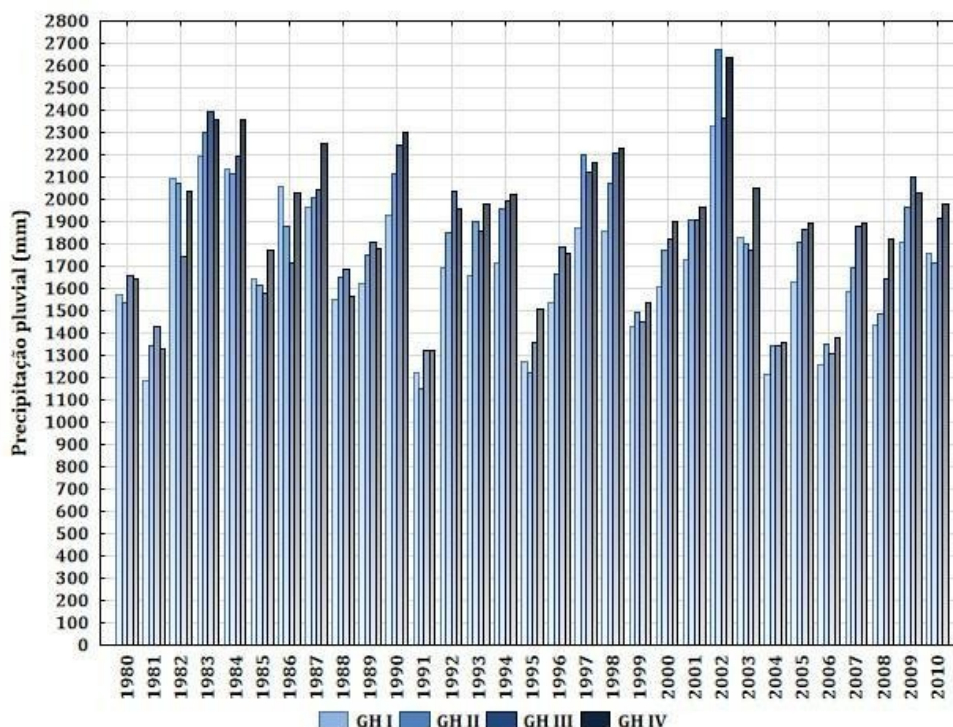


Figura 5: Distribuição anual da precipitação pluvial média (mm) dos grupos homogêneos (GH) da bacia hidrográfica do Alto Jacuí (RS) para o período de 1980 a 2010.

Entretanto, observa-se que o GH, de maior altitude de seus postos pluviométricos, não corresponde àquele de maiores totais anuais de pluviosidade, uma vez que o GH IV corresponde ao setor de maior pluviometria da BHAJ, mas não possui as maiores elevações dentre os pontos de coleta de dados selecionados. Isto se dá porque, segundo Pellegatti e Galvani (2010) e Terassi *et al.* (2018), verifica-se a partir de determinadas elevações o limite do efeito orográfico, onde o aumento da altitude é fator determinante para diminuir os totais pluviais, especialmente nos períodos em que as maiores temperaturas são responsáveis pela formação das chuvas convectivas, visto que em as maiores altitudes verifica-se a diminuição das temperaturas e, conseqüentemente, do potencial convectivo das chuvas. Ressalta-se que a maior pluviosidade no GH IV pode estar relacionada à proximidade e influência climática do oeste do Rio Grande do Sul, onde Wrege *et al.* (2016) destaca como a região de maiores totais pluviais anuais.

A BHAJ caracteriza-se pela homogeneidade da distribuição mensal pluvial, sendo que os meses mais chuvosos foram setembro (182,4 mm) e outubro (196,8 mm) e os mais secos foram março (112,9 mm) e agosto (127,5 mm). Esta distribuição regular da pluviosidade é uma característica peculiar da região Sul do Brasil, onde o clima subtropical e a geração predominante das chuvas pela atuação da Frente Polar Atlântica (FPA) propicia condições de precipitação ao longo de todo o ano (SARTORI, 2003; REBOITA *et al.*, 2010; ROSSATO, 2020; NERY; CARFAN, 2014).

Observa-se que na maioria dos meses o GHIV foi o que obteve a maior volume pluvial, sendo que, os meses de julho e agosto são as exceções, pois o GHIII apresentou a maior precipitação nestes períodos. O GHI é o setor de menor precipitação média mensal em quase todos os meses do ano, exceto em março e

abril. Analisando a variação da precipitação com relação aos períodos sazonais, os meses de primavera (setembro, outubro e novembro) são os meses com o maior volume em todos os grupos homogêneos (**Figura 6**). Nessa perspectiva, os valores encontrados pelo estudo estão conforme o estudo de Sartori (2003), o qual constatou que os meses de primavera são os mais chuvosos na maior parte do território gaúcho e em conformidade ao identificado com Baratto e Wollmann (2018) para a BHAI.

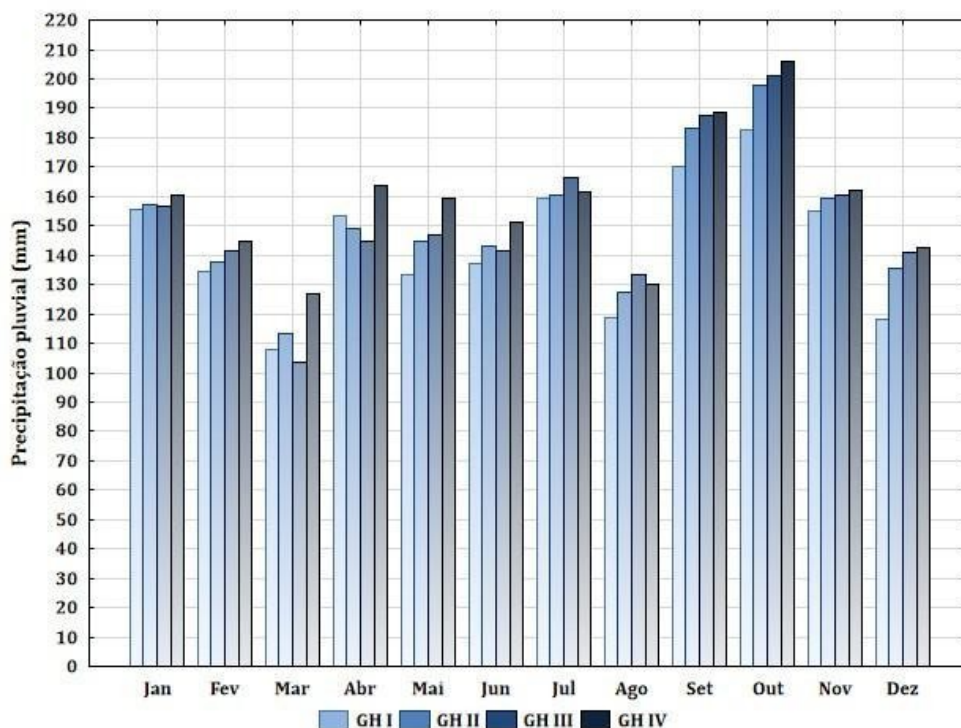


Figura 6: Distribuição mensal da precipitação pluvial média (mm) para os grupos homogêneos (GH) da bacia hidrográfica do Alto Jacuí (RS) para o período de 1980 a 2010.

Sartori (2003) salienta que no RS, a distribuição espaço-temporal das chuvas reflete três condicionantes: a posição subtropical, a direção dos compartimentos de relevo e a direção geral dos deslocamentos das FPA, sendo de sudoeste para nordeste. Dessa maneira, na BHAI ocorre o aumento dos índices pluviométricos do quadrante sul para o quadrante norte conforme a disposição dos compartimentos geomorfológicos do RS, tendo as maiores altitudes ao norte e nordeste e menores altitudes a leste e sudeste. O que é visível na distribuição mensal das chuvas, conforme os grupos homogêneos, que a norte e nordeste têm os maiores índices do que aqueles localizados na região sul da bacia hidrográfica.

Os resultados para a escala sazonal apontaram que o GHIV apresenta a maior pluviosidade média em três das quatro estações do ano, destacando-se em relação aos demais grupos durante o outono, período em que a média de precipitação é equivalente a 473,8 mm, enquanto no GHI a média nesta estação do ano é de 423,7 mm. Como uma excepcionalidade, o GHIII caracteriza-se pela maior pluviosidade média ao longo do inverno, com uma média de 487,7 mm, contrapondo-se ao setor menos chuvoso da BHAI, o GHI que apresenta uma média pluvial de 448,0 mm durante esta sazonalidade. Portanto, o padrão predominante foi maior pluviosidade média nas maiores elevações dos GHIV e GHIII e durante a primavera (490,1 mm) e o inverno (472,0 mm), período em que os sistemas atmosféricos frontais atuam com maior frequência e intensidade na geração de chuvas e, contrariamente, o outono (441,8 mm) e, especialmente, o verão (409,7 mm) apresentam-se como as sazonalidades de menor precipitação média (**Figura 7**), em virtude da menor participação da FPA na geração de chuvas, conforme discorre Rossato (2020). Estes resultados em relação à sazonalidade da precipitação pluviométrica são condizentes aos observados anteriormente por autores como Keller Filho *et al.* (2005), Sartori (2003) e Wrege *et al.* (2016) para o Brasil, a região Sul e o RS, nesta ordem, com o recorte espacial que engloba a BHAI, pois em todas estas pesquisas é observado um padrão de precipitação pluvial relativamente bem distribuídas ao longo do ano, com ligeiro aumento e pequena redução durante a primavera e o verão, nesta ordem.

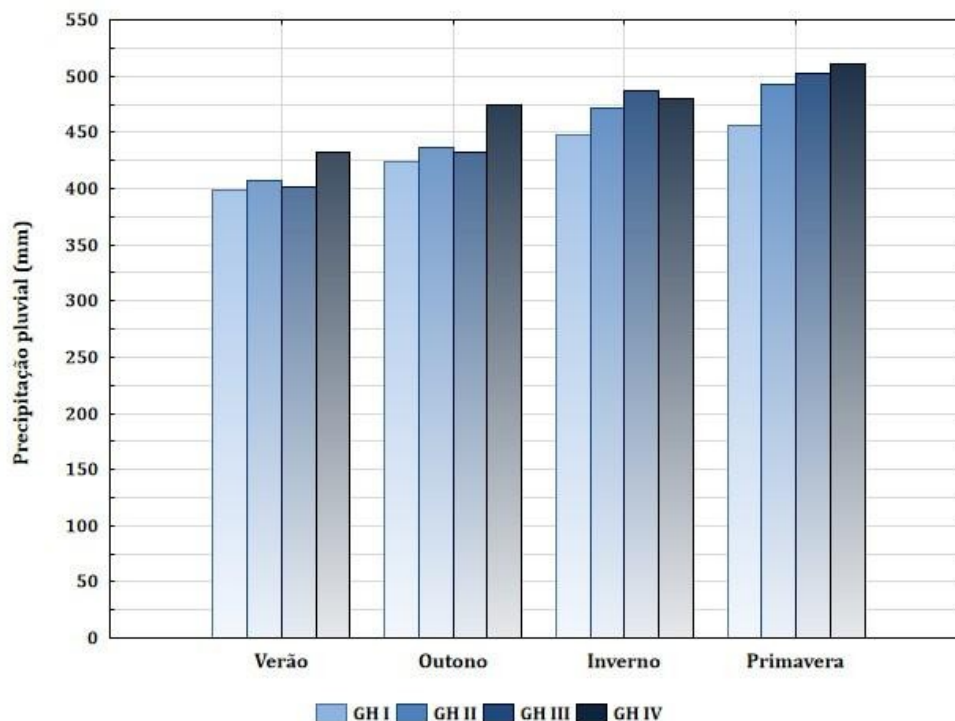


Figura 7: Distribuição sazonal da precipitação pluvial média (mm) para os grupos homogêneos (GH) da bacia hidrográfica do Alto Jacuí (RS) para o período de 1980 a 2010.

4.2. Análise de tendências e indicadores climáticos de precipitação pluvial na BHAJ

A aplicação do teste de Mann-Kendall na série temporal mostrou uma tendência na maioria dos postos de diminuição da precipitação pluvial na BHAJ. Embora não tenha obtido resultados com significância estatística para a escala anual, observa-se que a maioria dos postos pluviométricos da BHAJ caracteriza-se pela diminuição da precipitação total anual ao longo do segmento temporal avaliado (**Tabela 4 e Figura 8**).

Para a escala sazonal, observa-se que no verão não há significância de tendência positiva ou negativa nas séries temporais. Entretanto, no período de outono e inverno verifica-se a tendência de diminuição pluviométrica na BHAJ. Para o outono observa-se as mudanças em maiores magnitudes e os postos pluviométricos P08 (GHII) e P09 (GHI), mais próximos ao setor central da BHAJ, tiveram 95% de significância de tendência de diminuição, entre 8,64 e 9,79 mm ao ano, que ao longo da série histórica representam uma redução 267,8 mm e 303,5 mm, nesta ordem. Por sua vez, com 90% de significância estatística, o P06 (GH II) obteve uma diminuição anual de 7,75 mm ao ano (**Tabela 4 e Figura 8**).

Para o inverno, os postos pluviométricos no setor sul (GHI) da bacia hidrográfica tiveram a tendência na diminuição das chuvas, com destaque para a redução de 7,66 mm ao ano para o P06 com 99% de significância, que indica uma redução total de 237,5 mm ao longo da série histórica. Os postos pluviométricos P01 e P04 obtiveram uma redução de 6,41 a 7,21 mm ao ano, com uma significância de 95%, ao passo que os postos pluviométricos P02 e P03 mostraram uma redução entre 4,71 e 6,33 mm ao ano, com 90% de significância (**Tabela 4 e Figura 8**).

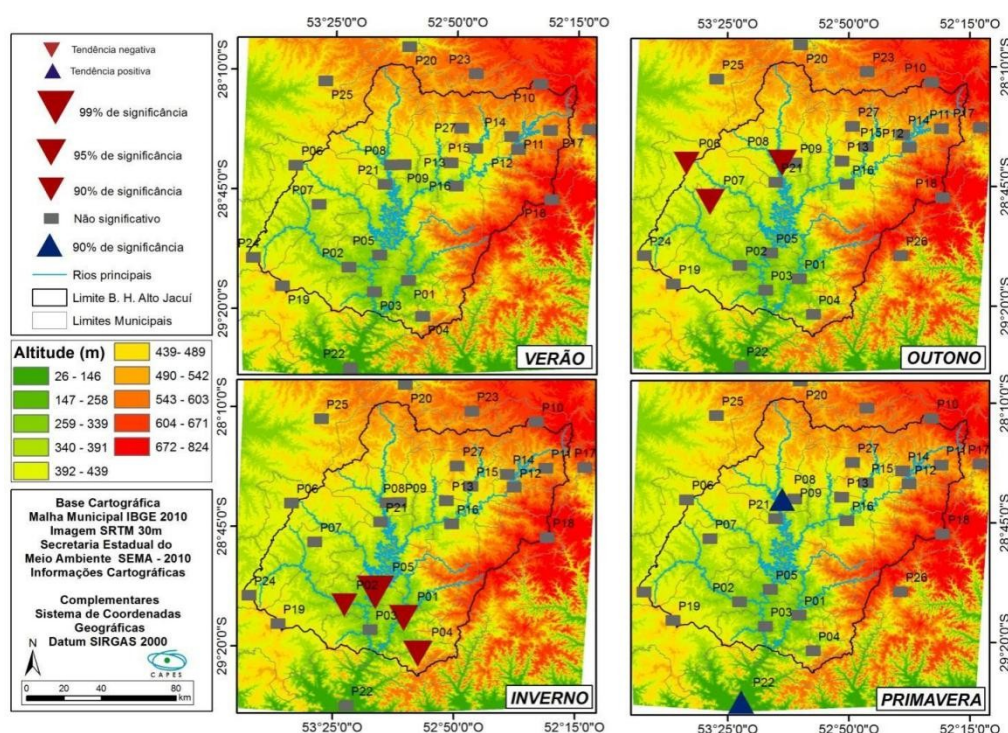
Contudo, nota-se que dois postos pluviométricos apresentaram um aumento significativo da pluviosidade total para a primavera. Com 90% de significância estatística, obteve-se um aumento de 5,42 e 6,30 mm ao ano para esta sazonalidade nos postos pluviométricos P08 (GHII) e P22 (GHIV), representando um aumento entre 168,0 e 195,3 mm ao final da série histórica nestas localidades, conforme indicam a **Tabela 4 e Figura 8**.

Destaca-se que as tendências observadas na presente pesquisa estão em discordância ao observado por Salviano *et al.* (2016), posto que estes autores mostraram um aumento significativo da precipitação pluvial anual em dimensões relevantes do estado do RS, em especial nos meses de abril e maio. O único mês que apresentou similaridades do padrão de tendência de diminuição da precipitação pluvial para a área de estudo e o observado anteriormente pelos autores supracitados se deu no mês de março e, contudo, não se observou tendências significativas para a escala mensal para a BHAJ, conforme destacado anteriormente.

Tabela 4: Aplicação do teste Mann-Kendall para as escalas anual e sazonal na bacia hidrográfica do Alto Jacuí (RS).

ID	Anual		Verão		Outono		Inverno		Primavera	
	Z	CS	Z	CS	Z	CS	Z	CS	Z	CS
01	-0,24	-2,50	1,26	3,58	-1,33	-5,55	-2,04*	-6,41	1,43	4,26
02	-1,46	-12,75	-1,00	-1,90	-1,31	-6,39	-1,95+	-6,33	0,87	2,49
03	-0,61	-4,30	0,87	1,92	-1,46	-5,41	-1,67+	-4,71	0,95	3,30
04	-0,92	-9,50	0,80	1,59	-1,46	-5,63	-2,46*	-7,21	0,54	2,16
05	-1,50	-13,42	-0,34	-0,88	-1,60	-5,90	-2,69**	-7,66	-0,27	-0,47
06	-1,10	-9,60	-0,03	-0,24	-1,87+	-7,75	-1,12	-3,97	0,54	2,58
07	-1,60	-12,35	-0,54	-2,03	-1,97*	-8,64	-1,39	-4,84	0,71	1,99
08	-0,37	-3,40	0,34	0,83	-2,18*	-9,79	-0,48	-2,48	1,90+	5,42
09	-1,16	-7,88	0,20	0,57	-1,12	-6,18	-0,65	-0,90	1,05	3,20
10	0,51	3,03	0,88	1,93	-0,58	-1,77	-0,61	-1,75	1,46	5,69
11	-0,24	-2,29	0,61	2,00	-1,02	-3,10	-0,85	-2,72	0,34	1,16
12	0,14	1,16	0,48	1,19	-1,05	-4,74	-0,65	-2,09	0,31	1,63
13	-0,78	-6,52	0,37	1,12	-1,19	-5,56	-0,71	-1,96	0,44	2,07
14	0,00	-0,20	-0,07	-0,22	-0,85	-3,09	0,20	0,58	0,92	3,17
15	-0,95	-9,14	0,10	0,62	-1,19	-4,50	-0,71	-2,68	0,14	0,90
16	-0,48	-3,38	0,20	1,10	-1,39	-6,34	-0,78	-2,79	1,36	5,35
17	0,17	1,41	0,14	0,72	-0,71	-2,54	-0,51	-1,20	0,44	2,29
18	0,10	1,07	1,02	2,83	-1,50	-7,05	-0,51	-1,27	0,65	2,13
19	-0,87	-7,80	0,63	1,85	-1,60	-5,44	-1,16	-3,79	0,71	2,26
20	-0,51	-4,49	-0,03	-0,14	-0,61	-3,12	-0,92	-3,88	-0,14	-0,24
21	-1,19	-7,73	-0,34	-0,75	-1,39	-6,48	-0,82	-3,10	0,95	3,73
22	0,71	6,73	0,93	2,71	-1,38	-4,15	-0,76	-2,47	1,77+	6,30
23	-0,68	-4,61	0,44	0,83	-0,39	-1,47	-1,09	-3,54	-0,58	-1,77
24	1,02	6,70	1,36	5,32	-0,34	-1,73	-0,07	-0,33	1,04	3,78
25	-0,95	-7,18	0,00	0,00	-0,99	-5,40	-1,29	-3,56	0,20	0,30
26	0,27	2,04	0,24	0,80	0,03	0,28	-1,12	-2,38	1,05	4,40
27	-0,17	-1,59	0,85	3,10	-0,61	-3,01	-0,83	-2,42	0,78	3,30

Legenda: ** = 99% de significância; * = 95% de significância; + = 90% de significância.

**Figura 8:** Distribuição espacial das tendências do teste Mann-Kendall da precipitação pluvial para a escala sazonal na bacia hidrográfica do rio Jacuí (RS).

As tendências de diminuição da precipitação pluvial, conforme as observações descritas acima, são divergentes dos resultados obtidos por Berlato e Cordeiro (2017) para o território gaúcho, visto que se destacou o aumento da precipitação pluviométrica anual e, principalmente, no outono e na primavera. Além disso, os autores identificaram que houve aumento de dias com precipitação pluvial intensa e do número de dias com precipitação pluvial no ano, no verão e na primavera, o que corroborou com os resultados anteriores para este setor da América do Sul (HAYLOCK *et al.*, 2006).

Os resultados de Pedron *et al.* (2017) mostraram o aumento da precipitação pluviométrica diária equivalente a 95% dos percentis no verão, outono e inverno para a localidade de Curitiba (PR), a maior cidade do Sul do Brasil. Estes autores indicaram o aumento da precipitação pluviométrica anual e sazonal na localidade supracitada associada ao aumento da frequência da ocorrência de totais pluviais diários superiores a 10, 20 e 40 mm, sendo este um padrão predominante atrelado às elevações das temperaturas decorrentes das modificações do uso e ocupação do solo e a expansão da malha urbana da capital paranaense. Contudo, os estudos anteriores de Luiz-Silva *et al.* (2015) discordam com os autores destacados acima e apontam que a maioria dos indicadores climáticos associados à precipitação pluviométrica mostrou-se sem significância para o estado do Paraná.

Os indicadores climáticos extremos relacionados à precipitação pluvial mostraram, em suma, a tendência de redução da pluviometria da BHRI, posto que a maioria dos resultados obtidos foram significativos para aqueles que se referem à diminuição pluvial. O indicador climático que se demonstrou mais claro em relação ao decréscimo pluvial foi o CWD (número máximo de dias úmidos consecutivos no ano), dado que se os postos pluviométricos 02, 14, 17, 18 e 24 obtiveram uma diminuição na ordem de 0,064 a 0,109 dia/ano, com uma significância entre 95% e 99,9%. Observou-se uma tendência de diminuição do indicador r95p (Total pluvial anual em que RR>99p) para os postos pluviométricos 01 e 21, com significância de 90% e 95% e queda de 8,38 mm/ano e 4,60 mm/ano ao ano, respectivamente. Obteve-se uma tendência de decréscimo do indicador r99p (total pluvial anual em que RR>95p), com 90% de significância, para os postos pluviométricos 05 e 07, com redução de 4,43 mm/ano a 5,37 mm/ano, conforme representa a **Tabela 5**.

Tabela 5: Tendências de indicadores climáticos extremos observados da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do Alto Jacuí (RS).

Postos Pluviom.	RX 1day	RX 5day	SDII	R10 mm	R 20 mm	R60 mm	CDD	CWD	r95p	r99p	PRCPT OT
01	-0,321	0,282	-0,039	-0,148	-0,033	-0,108**	-0,037	-0,055	-8,378⁺	-3,770	-6,498
02	-0,130	-1,361	0,068	-0,297	-0,188	-0,031	0,131	-0,075**	-1,811	0,368	-10,407
03	0,251	0,646	0,003	-0,160	-0,123	-0,015	0,048	-0,029	0,045	0,248	-5,733
04	0,168	0,591	-0,155⁺	-0,082	-0,092	-0,023	-0,202	0,010	-3,730	-1,895	-5,334
05	-0,640	-1,075	0,009	-0,304	-0,112	-0,054	0,166	-0,041	-6,463	-5,365⁺	-11,263
06	-0,014	-0,533	-0,022	-0,125	-0,053	-0,074	0,032	-0,023	-5,979	-1,434	-6,016
07	-0,906	-1,559	-0,063	-0,161	-0,088	-0,065	-0,048	-0,036	-6,707	-4,432*	-8,945
08	0,102	-0,125	0,039	0,012	0,176	-0,048	0,152	0,024	-2,625	1,335	0,563
09	-0,269	-0,778	-0,064	-0,207	-0,052	-0,035	-0,122	0,020	-3,268	-0,894	-5,207
10	0,013	0,409	0,146*	0,132	0,013	0,005	0,086	-0,129	0,629	1,002	-1,513
11	-0,072	-0,987	-0,250***	-0,138	-0,105	-0,069	-0,143	0,035	-3,166	0,494	-4,110
12	-0,404	-1,384	0,027	-0,079	-0,058	0,010	0,055	-0,005	1,266	-2,919	-2,426
13	-0,041	-0,947	-0,029	-0,125	-0,005	-0,029	0,046	-0,032	-2,659	0,224	-4,591
14	0,061	-1,014	0,083	0,033	0,022	-0,003	0,145	-0,064*	0,328	-0,823	-0,971
15	-0,331	-1,254	0,005	-0,162	0,008	0,012	0,027	-0,013	-3,796	-0,752	-5,586
16	-0,367	-0,312	0,010	-0,043	0,153	0,014	-0,118	0,025	1,749	-1,578	4,514
17	-0,428	-2,650	0,146	-0,849*	-0,524	-0,014	1,487*	-0,109**	0,445	-0,539	-19,053
18	0,293	0,594	0,208***	-0,159	-0,059	0,061	0,064	-0,070***	3,246	2,681	-0,795
19	-0,342	-0,760	0,035	-0,018	0,042	-0,014	0,069	-0,028	-2,803	-1,152	-3,115
20	-0,553	0,068	0,009	-0,203	0,109	-0,023	-0,010	0,003	-2,506	-2,676	-2,883
21	-1,424⁺	-1,651	-0,070	-0,247	-0,050	-0,018	-0,212	-0,032	-4,597*	-5,422	-9,232
22	0,989	-1,034	0,077	0,035	0,254	-0,052	0,053	0,039	-0,518	2,890	1,349
23	-1,109	-3,302⁺	-0,079	-0,246	-0,023	-0,079	0,063	0,000	-8,846	-7,818*	-11,574
24	0,552	-0,242	0,081	0,692**	0,448*	-0,056	-0,175	0,140*	0,497	2,399	17,404⁺
25	-0,192	-0,027	0,005	-0,239	-0,094	-0,062	0,118	-0,045	-6,441	-2,347	-7,276
26	1,255	-1,816	-0,266⁺	-0,472	-0,511	-0,089	-0,367	0,008	-2,248	3,798	-12,567
27	0,989	-1,034	0,077	0,035	0,254	-0,052	0,053	0,039	-0,518	2,890	1,349

Legenda: *** = 99,9% de significância; ** = 99% de significância; * = 95% de significância; + = 90% de significância.

De forma menos robusta, identificou-se que alguns dos demais indicadores climáticos extremos sinalizaram a diminuição pluvial da BHAJ de forma menos generalizada entre os postos pluviométricos. O indicador RX1day (máxima precipitação anual em 1 dia) demonstrou tendência de queda anual de 1,42 mm para o posto pluviométrico 21, ao passo que o indicador RX5day (máxima precipitação anual em 5 dias) mostrou redução anual de 3,30 mm para o posto pluviométrico 23, em ambos os casos com significância de 90%. Verificou-se uma tendência de redução de 0,108 dia/ano do indicador climático R60 mm (Número de dias no ano com $RR \geq 60$ mm), com uma significância de 99%, para o posto pluviométrico 01. Por fim, o indicador climático CDD, que se refere ao número máximo de dias secos consecutivos no ano, mostrou uma tendência de elevação de 1,49 dias/ano para o posto pluviométrico 17, com uma significância de 95% (**Tabela 5**).

Contudo, destaca-se que os demais indicadores climáticos extremos se mostraram com um padrão pouco definido em relação à queda/aumento da precipitação pluvial da BHAJ. Um dos indicadores climáticos de maior expressividade, o SDII (distribuição média da precipitação anual total) obteve uma tendência de diminuição entre 0,16 e 0,27 ao ano, com 90% de significância, para os postos pluviométricos 04 e 26, e uma queda de 0,25/ano para o posto pluviométrico 11 com uma significância de 99,9%, revelando uma diminuição da concentração da precipitação pluviométrica em um maior número de dias. Inversamente, o SDII obteve uma tendência de elevação de 0,15 a 0,21/ano com significância de 95% e 99,9% para os postos pluviométricos 10 e 18, condição que demonstra uma condição de aumento de concentração da precipitação pluvial em um menor número de dias de chuva (**Tabela 5**).

Por sua vez, destaca-se que o indicador R10 mm (número de dias no ano com $RR \geq 10$ mm) mostrou uma diminuição de 0,85 dia/ano para o posto pluviométrico 17, com 95% de significância, e um aumento de 0,69 dia/ano para o posto pluviométrico 24, com 99% de significância. Por fim, o posto pluviométrico 24 obteve uma tendência de aumento de 0,45 dia/ano para o indicador R20 mm (número de dias no ano com $RR \geq 20$ mm) com 95% de significância. Desta forma, os resultados dos indicadores climáticos extremos mostraram-se menos expressivos para a elevação significativa da precipitação pluvial da BHAJ, indicando a prevalência das tendências de diminuição pluvial na área em estudo (**Tabela 5**).

Os resultados mostrados acima pelos indicadores climáticos extremos da precipitação pluvial são contradizentes ao obtido por Murara *et al.* (2018) para a bacia hidrográfica do rio Itajaí, situada no setor nordeste de Santa Catarina, posto que se observou a predominância do aumento dos totais anuais de pluviosidade diretamente influenciado pelo aumento expressivo da intensidade das chuvas fortes (r95p) e muito fortes (r99p). Também se observou o aumento significativo do número de dias com chuvas superiores a 10 mm (R10mm) e a 20 mm (R20mm) e dos totais pluviais anuais (PRCPTOT), condição que demonstrou o aumento da vulnerabilidade desta área em estudo para a maior frequência de avarias ambientais como deslizamentos de terra e enchentes urbanas.

A partir da aplicação dos indicadores extremos climáticos elaborados e disponibilizados pelo Serviço Meteorológico Canadense (ZHANG; YANG, 2004), Zandonadi *et al.* (2016) mostraram o aumento da magnitude das chuvas fortes (r95p) para Curitiba, com uma tendência de elevação de 7,3 mm/ano, condição similar a averiguado por Pedron *et al.* (2017) para a capital paranaense. Por sua parte, com a utilização do teste MK, Weschenfelder (2017) identificou uma tendência de elevação estatisticamente significativa no total anual e do número de dias chuvosos em Porto Alegre, sendo a primavera (setembro, outubro e novembro) correspondeu ao período que mais contribuiu para as tendências positivas na capital gaúcha.

Estes resultados também se contrapõem aos obtidos por Penalba e Robledo (2010), uma vez que se demonstrou o aumento de precipitação diária na região sul do Brasil, especialmente de eventos extremos no verão, no outono e na primavera. Especificamente, Pinheiro *et al.* (2013) mostraram o aumento da precipitação pluviométrica anual para o estado do RS, destacando-se as tendências positivas obtidas em Caxias do Sul, Cagunçu e Cacequi, localidades de diferentes regiões do território gaúcho. Por sua vez, Kayano e Sansigolo (2010) e Sanches *et al.* (2019) indicaram que o aumento de chuvas intensas no estado do RS devido ao aumento da atuação de mecanismos atmosféricos de mesoescala, os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM's).

Assim, esta pesquisa apontou que ocorre uma tendência na diminuição das chuvas na BHAJ o que não condiz com os resultados encontrados por outras pesquisas no território gaúcho. Os CCM's mencionados por Kayano e Sansigolo (2010) e Sanches *et al.* (2019) atuam no oeste do RS, não atingindo a área de estudo. No entanto, o resultado de Pinheiro *et al.* (2013) para Cacequi condiz com o apontado por Kayano e Sansigolo (2010) e Sanches *et al.* (2019), pois a cidade se localiza no oeste do RS. Diante disso, observa-se que a diminuição das chuvas na área de estudo está associada a mudanças na dinâmica climática regional do clima.

5. Considerações finais

Baseando-se na análise multivariada realizada pela técnica de AA dos dados pluviiais da bacia hidrográfica do Alto Jacuí é observada a identificação de quatro grupos homogêneos que têm características similares quanto à altitude e os volumes totais pluviiais registrados. Contudo, observou-se que a altimetria é um fator importante na distribuição dos GH, o que vem a refletir na pluviometria mensal e anual dos postos pluviométricos. A distribuição mensal das chuvas reflete a dinâmica da circulação regional, e vem a ser visível nos meses de primavera (setembro, outubro, principalmente) que correspondem como os mais chuvosos em todos os GH.

Os resultados apresentados neste estudo apontam a tendência à diminuição das chuvas na bacia hidrográfica do Alto Jacuí e identifica os setores com essa tendência e, desta forma, possibilita a otimização da gestão e planejamento dos seus recursos hídricos. Na análise de tendência das chuvas observou-se a diminuição no período de outono no setor oeste e no inverno na região sul da bacia hidrográfica. Embora a quantidade da diminuição seja inferior a 10 mm/ano, essa tendência poderá implicar na dinâmica no seu aproveitamento hídrico numa escala temporal maior.

Desta forma, espera-se que estes resultados sirvam para alertar sobre a disponibilidade de água poderá e implicações para o estabelecimento de estratégias para contornar eventuais problemas relacionados escassez de água para a geração de energia, dessedentação animal e irrigação de culturas importantes para o setor econômico da área de estudo. Destaca-se que a diminuição das chuvas neste setor rio-grandense pode estar associada a uma mudança na dinâmica regional do clima, uma vez que a precipitação pluvial ocorre em função das frentes frias, principalmente no inverno e outono, quando os resultados mostraram a tendência na diminuição das chuvas na bacia hidrográfica do Alto Jacuí.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/Brasil (Nº Processo:88881.068465/2014/01 nº 071/2013 CAPES/PROCAD). A primeira autora agradece ao apoio do programa de bolsa de Demanda Social (DS-CAPES) (2015-2017) e à FAPESP por intermédio da bolsa de Pós-Doutorado (Processo: 2022/02383-3). O segundo autor agradece à CAPES pela concessão da bolsa de Doutorado e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de Pós-Doutorado Júnior (PDJ - Processo: 165450/2020-7). Terceiro autor por meio do auxílio via bolsa de pesquisa e produtividade nível 2. O quarto autor agradece ao CNPq pela concessão da Bolsa de Produtividade de Pesquisa nível 2 (309681/2019-7). O quinto autor agradece ao CNPq pela concessão da Bolsa de Produtividade de Pesquisa nível 2.

Referências

ÁLVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; DE MORAES GONÇALVES, J.L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlim, v.22, n.6, p.711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ANDRADE, A.R.; NERY, J.T. Análise da precipitação pluviométrica diária, mensal e interanual da bacia hidrográfica do Rio Ivaí, Brasil. *Investigaciones Geográficas*. Cidade do México, v.52, n.1, p.7-30, 2003. <https://doi.org/10.14350/rig.30324>

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.36, n.5, p.717-726, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000500001>

BARATTO, J.; BORGES, D. C.; HOPPE, I. L.; WOLLMANN, C. A. **Análise histórica da precipitação pluviométrica em Passo Fundo e Cruz Alta - municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí/RS**. In: XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2016, Goiânia - GO. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Goiânia - GO: Universidade Federal de Goiás, 2016. v. 1. p. 1829-1840.

BARATTO, J.; WOLLMANN, C.A. Variabilidade sazonal da precipitação pluviométrica dos anos-padrões na bacia hidrográfica do Alto Jacuí, RS. *Geoambiente On-line*, v.30, n.1, p.20-38, 2018. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i30.50359>

- BARATTO, J.; WOLLMANN, C.A. Perfil topo-oro-pluviométrico do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Interface**, v.10, n.1, p.40-55, 2015.
- BARATTO, J.; WOLLMANN, C.A. Precipitação histórica do mês de outubro para a bacia hidrográfica do Alto Jacuí/RS. **Ciência&Natureza**, v.39, p.41, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X26924>
- BARATTO, J.; WOLLMANN, C.A. Precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do Alto Jacuí, RS. In: MORATO, G.R; KAWAKUBO, F.S; GALVANI, E.; ROSS, J.L.S. (Org.). **Análise Integra-da em bacias hidrográficas Estudos comparativos com distintos usos e ocupação do solo**. 1ª Edição. São Paulo: FFLCH/USP, v.1, p.685-711, 2019. <https://doi.org/10.11606/9788575063781>
- BARATTO, J.; WOLLMANN, C.A. Espacialização da precipitação pluviométrica total anual da bacia hidrográfica do Alto Jacuí-RS. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIN, R.R. (org.). **Os desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**. 1ª Edição. Campinas: Instituto de Geociências, v.1, p.7418-7430, 2017. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2385>
- BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A.P.A. Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.25, n.2, p.273-302, 2017. <https://doi.org/10.31062/agrom.v25i2>
- BRITO, T.T.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; LYRA, G.B.; GOIS, G.; ZERI, M. Multivariate analysis applied to monthly rainfall over Rio de Janeiro state, Brazil. **Meteorology and Atmospheric Physics**, Berlin, v.129, n.5, p. 469-478, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00703-016-0481-x>
- BRITTO, P.F.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: Influência do fenômeno El Niño - Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.3, n.2, p.37-48, 2011. <https://doi.org/10.5380/abclima.v3i0.25408>
- CERA, J.C.; FERRAZ, S. E. T. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.30, n.1, p.81-88, 2015. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130588>.
- COAJU (Comitê de Gerenciamento da bacia hidrográfica do Alto Jacuí). **Plano de gerenciamento da Bacia hidrográfica do Alto Jacuí: Relatório-T2**. Passo Fundo, 2009. 75 p.
- COAJU (Comitê de Gerenciamento da bacia hidrográfica do Alto Jacuí). **Plano de Bacia**. Carazinho, 2012. Disponível em: <http://www.coaju.com.br/plano_de_bacia>. Acesso em: 10 de janeiro de 2016.
- CHIERICE, R. A. F.; LANDIM, P. M. B. Variabilidade espacial e temporal de precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu. **Geociências**, São Paulo, v.33, n.1, p.157-171, 2014.
- CPRM (Serviço Geológico do Brasil) **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul**. 2012. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/>>. Acesso em 18 de outubro de 2021.
- FEPAGRO (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária). **Atlas Climático do Rio Grande do Sul**. 2011. Disponível em < <http://www.cemet.rs.gov.br/conteudo/4731/?Refer%C3%Aancia>>. Acesso em: 05 de outubro de 2017.
- FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental). **Qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Jacuí**. Porto Alegre. 2016. Disponível em: <www.fepam.rs.gov.br/qualidade_jacui/jacui.asp>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- FREITAS, J. C.; ANDRADE, A. R. S.; BRAGA, C. C.; GODOI NETO, A. H.; ALMEIDA, T. F. Análise de agrupamento na identificação de regiões homogêneas de índices climáticos no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.6, n.4, p.732-748, 2013. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v6i4.233065>

GOMES, S. L. S.; SIMIONI, J. P. D.; BARATTO, J.; WOLLMANN, C. A. Variabilidade pluviométrica no setor Pampeano da bacia hidrográfica do Alto Jacuí. In: MORATO, G.R; KAWAKUBO, F.S; GALVANI, E.; ROSS, J.L.S.(Org.). **Análise Integrada em bacias hidrográficas Estudos comparativos com distintos usos e ocupação do solo**. 1ed.São Paulo: FFLCH/USP, v.1, p.713-748. <https://doi.org/10.11606/9788575063781>

HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T.; ABREU DE SOUSA, J. R.; ALVES, L. M., AMBRIZZI, T.; BAEZ, J.; BARBOSA DE BRITO, J. I., BARROS, V. R.; BERLATO, M. A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GRIMM, A. M.; DOS SANTOS, R. J.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.; MARINO, M.B.; MEIRA, P. R.; MIRANDA, G.C.; MOLION, L.; MUNCUNIL, D.F.; NECHET, D.; ONTANEDA, G.; QUINTANA, J.; RAMIREZ, E.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; VARILLAS, I. T.; VILLANUEVA, J.G.; VINCENT, L.; YUMICO, M. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, Boston, v.19, n.8, p.1490-1512, 2006. <https://doi.org/10.1175/JCLI3695.1>

HIRSCH, R. M.; SLACK, J. R. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. **Water Resources Research**, Washington, v.20, n.6, p.727-732, 1984. <https://doi.org/10.1029/WR020i006p00727>

KAYANO, M. T.; SANSÍGOLO, C. Interannual to decadal variations of precipitation and daily maximum and daily minimum temperatures in southern Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.97, n.1-2, p.81-90, 2009. <https://doi.org/10.1007/s00704-008-0050-4>

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E.D.; LIMA, P. R. S. R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Revista Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, Brasília, v.40, n.4, p.311-322, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000400001>

KELTING, F. M. S. O clima e a paisagem da bacia hidrográfica do Litoral - estado do Ceará. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v.29, n.2, p.83-99, 2009. <https://doi.org/10.5216/bgg.v29i2.9017>

LI, X.; WANG, X.; BABOVIC, V. Analysis of variability and trends of precipitation extremes in Singapore during 1980-2013. **International Journal Of Climatology**, v. 38, n. 1, p. 125-141, 2017. <https://doi.org/10.1002/joc.5165>

LUIZ-SILVA, W. L.; DEREZYNSKI, C.; CHANG, M.; FREITAS, M.; MACHADO, B.J.; TRISTÃO, L.; RUGGERI, J. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.30, n.2, p.181-194, 2015. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130622>

LUIZ-SILVA, W.; OSCAR-JÚNIOR, A.C. Climate extremes related with rainfall in the State of Rio de Janeiro, Brazil: a review of climatological characteristics and recorded trends. **Natural Hazards**, v.122, n.2, p.1-20, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05409-5>

MA, X.; YANDONG H.; XU, J.; VAN NOORDWIJK M.; LU, X. Spatial and temporal variation in rainfall erosivity in a Himalayan watershed. **Catena**, v.121, p. 248-259, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.05.017>

MONTEIRO, C. A. F. O clima da região Sul. In: CATALDO, D. M. (Org.). **Geografia do Brasil, Grande Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1963. p. 117-169.

MURARA, P.; ACQUAOTTA, F.; GARZENA, D.; FRATIANNI, S. Daily precipitation extremes and their variations in the Itajaí River Basin, Brazil. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.131, n.10, p.1145-1156, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00703-018-0627-0>

NASCIMENTO, F. C. A.; ARAÚJO, F. R. C. D.; BRAGA, C. C.; COSTA, E. V. S. Análise dos padrões espaciais e temporais da precipitação no estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.8, n.2, p.422-430, 2015. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.2.p422-430>

- NASCIMENTO JÚNIOR, L.; SILVESTRE, M.R.; SANT'ANNA NETO, J.L. Trends and rainfall tropicalization in Paraná State, south of Brazil. **Atmosfera**, Cidade do México, v.33, n.1, p.1-18, 2020. <https://doi.org/10.20937/ATM.52441>
- NERY, J.T.; CARFAN, A.C. Re-analysis of pluvial precipitation in southern Brazil. **Atmosfera**, Cidade do México, v.27, n.2, p.103-114, 2014. [https://doi.org/10.1016/S0187-6236\(14\)71104-X](https://doi.org/10.1016/S0187-6236(14)71104-X)
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989, 421p.
- OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; XAVIER, F.M.G.; TEODORO, P.E.; GOIS, G.; DELGADO, R.C. Cluster analysis identified rainfall homogeneous regions in Tocantins State, Brazil. **Bioscience Journal (Online)**, Uberlândia, v.33, n.2, p.333-340, 2017. <https://doi.org/10.14393/BJ-v33n2-32739>
- PANAGOS, P.; BORELLI, P.; MEUSBURGER, K.; YU, B.; KLIK, A.; JAE LIM, K.; YANG, J.E.; NI, J.; MIAO, C.; CHATTOPADHYAY, N.; SADEGHI, S.H.; HAZBAVI, Z.; ZABIHI, M.; LARIONOV, G.A.; KRASNOV, S.F.; GOROBETS, A.V.; LEVI, Y.; ERPUL, G.; BIRKEL, C.; HOYOS, N.; NAIPAL, V.; OLIVEIRA, P. T. S.; BONILLA, C. A.; MEDDI, M.; NEL, W.; AL DASHTI, H.; BONI, M.; DIODATO, N.; VAN OOST, K.; NEARING, M.; BALLABIO, C. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. **Nature**, Londres, v.7, n.4175, p.1-12, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>
- PENALBA, O. C.; ROBLEDO, F. A. Spatial and temporal variability of the frequency of extreme daily rainfall regime in the La Plata Basin during the 20th century. **Climatic Change**, v.98, n.3, p.531-550, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9744-6>
- PEDRON, I. T.; SILVA DIAS, M. A. F.; PAULA DIAS, S., CARVALHO, L.M.V.; FREITAS, E.D. Trends and variability in extremes of precipitation in Curitiba - Southern Brazil. **International Journal of Climatology**, Oxford, v.37, n.3, p.1250-1264, 2016. <https://doi.org/10.1002/joc.4773>
- PELLEGATTI, C. H. G.; GALVANI, E. Avaliação da precipitação na Serra do Mar - SP eventos de diferentes intensidade e duração. **Geosp**, São Paulo, v.13, n.27, p.132-148, 2010. <https://doi.org/10.11606/isn.2179-0892.geosp.2010.74160>
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.
- PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Tendências das séries temporais de precipitação da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.3, p.281-290, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000300005>
- R Development Core Team, 2017. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <http://www.r-project.org>, ISBN 3-900051-07-0
- REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, p.185-204, 2010.
- ROSS, J. L. S. Relevo Brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista Do Departamento De Geografia**, v.4, n.1, p.25-39, 1985. <https://doi.org/10.7154/RDG.1985.0004.0004>
- ROSS, J. L. S. Os fundamentos da Geografia da natureza. In: ROSS, J.L.S. **Geografia do Brasil**. 6ª Edição. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p.11-63, 2014.
- ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: tendências e tipologia**. In: Francisco Mendonça. (Org.). **Os Climas do Sul: Em Tempos de Mudanças Climáticas Globais**. 1ed.Jundiaí: Paco Editorial, 2014, v, p. 217-271.
- ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: uma proposta de classificação climática. **Entrelugar**, v.11, n.22, p.57-85, 2020. <https://doi.org/10.302/el.v11i22.1278161>

SALVIANO, M. F.; GROppo, J.D.; PELLEGRINO, G.Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.31, n.1, p.64-73, 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-778620150003>

SANCHES, F.; VERDUM, R.; FISCH, G.; GASS, S. L. B.; ROCHA, V.M. Extreme rainfall events in the Southwest of Rio Grande do Sul (Brazil) and its association with the Sandization process. **American Journal of Climate Change**, v.8, n.4, p.441-453, 2019. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2019.84024>

SANTOS, D.; ARAÚJO, H. M. Clima e condições meteorológicas da sub-bacia hidrográfica do rio Contiguiba - SE. **Boletim de Geografia**, Maringá, v.13, n.1, p.41-52, 2013. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v31i1.17110>

SARTORI, M. G. B. A dinâmica do clima no Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimentos científicos. **Terra Livre**, São Paulo, v.1, n.20, p.27-49, 2003.

SARTORI, M.G. **O Vento Norte**. Santa Maria: Editora DR Publicidade, 2016. 256p.

SEMA (Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado do Rio Grande do Sul) – DRH (Departamento de Recursos Hídricos). **Relatório síntese de elaboração de serviço de consultoria relativo ao processo de planejamento dos usos da água na Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí - Etapas A e B**. 2012.

SEMA (Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado do Rio Grande do Sul) **Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí**. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/>>. Acesso em: 30 de maio de 2016.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, Amsterdam, v.57, n.3, p.251-259, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2003.11.006>

SNEYERS, R. **Sur l'analyse statistique des séries d'observations**. Genève: Organisation Météorologique Mondiale, 1975. 192 p.

TERASSI, P. M. B.; GALVANI, E. Identification of homogeneous rainfall regions in the eastern watersheds of the State of Paraná, Brazil. **Climate**, Basel, v.5, n.3, p.53-65, 2017. <https://doi.org/10.3390/cli5030053>

TERASSI, P.M.B.; CORREA, M.G.G.; GALVANI, E. Avaliação do potencial erosivo das chuvas na bacia hidrográfica do rio Piquiri - Paraná. **Geoambiente On-Line**, Jataí, v.30, n.1, p.1-19, 2018. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i30.50386>

TERASSI, P. M. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; GOIS, G.; OSCAR-JÚNIOR, A.C.; SOBRAL, B.S.; BIFFI, V.H.R.; BLANCO, C. J. C.; CORREIA FILHO, W.L. F.; VIJITH, H. Rainfall and erosivity in the municipality of Rio de Janeiro - Brazil. **Urban Climate**, v.33, p.100637, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100637>

TERASSI, P. M. B.; OSCAR-JÚNIOR, A. C. S.; GALVANI, E.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; SOBRAL, B.S. BIFFI, V.H.R.; GOIS, G. Daily rainfall intensity and temporal trends in eastern Paraná state - Brazil. **Urban Climate**, v.42, p.101090, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101090>

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3ª Edição. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2004.943p.

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v.58, n.301, p.236-244, 1963. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>

WESCHENFELDER, A. B. **Tendências de precipitação pluvial diária e projeção de cenários aplicados a nova curva IDF para Porto Alegre - RS**. 2017.150f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

WREGGE, M. S.; FRITZSONS, E.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; RADIN, B.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C. Regiões com similaridade de comportamento hídrico no Sul do Brasil. **RA'E GA: o Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v.38, n.1, p.363-382, 2016. <https://doi.org/10.5380/eraga.v38i0.43037>

ZANDONADI, L.; PASCOALINO, A. Distribuição temporo-espacial das chuvas nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ). **Revista Geonorte**, Manaus, v.3, n.5, p.830-843, 2012.

ZANDONADI, L.; ACQUAOTTA, F.; FRATIANNI, S.; ZAVATTINI, J.A. Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River Basin). **Theoretical and Applied Climatology**, v.119, n.1, p.741-756. 2016. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1391-4>

ZHANG, X.; YANG, F. **RCLimDex (1.0) - User Manual**. Climate Research Branch Environment Canada Downsview, Ontario, Canada, 2004.22p.

ZIANI, P.; FOLETO, E.M.; WOLLMANN, C. A. Análise e caracterização geográfica da bacia hidrográfica do Alto Jacuí/RS. **Ciência & Natura**, Santa Maria, v.39, Edição Especial PROCAD/CAPES 2017, p.58-74, 2017. <https://doi.org/10.5902/2179460X26929>

ZIANI, P.; FACCO, D. S.; FOLETO, E. M. Análise multiespacial do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Alto Jacuí: período de 1987 a 2018. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v.23, p.e46, 2020. <https://doi.org/10.5902/2236499439734>

ZIANI, P.; FOLETO, E. M.; WOLLMANN, C.A. Empreendimentos hidrelétricos na bacia hidrográfica do Alto Jacuí: análise e espacialização. In: MORATO, G.R; KAWAKUBO, F.S; GALVANI, E.; ROSS, J.L.S. (Org.). **Análise Integrada em bacias hidrográficas Estudos comparativos com distintos usos e ocupação do solo**. 1ª Edição. São Paulo: FFLCH/USP, p.121-141, 2019.



Este artigo é distribuído nos termos e condições do *Creative Commons Attributions/Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual* (CC BY-NC-SA).