

ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM SÉRIES DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS CINZAS

André Yuichi Yokomizo Ferreira^{1}; Gabriel Henrique Vidal dos Santos²; Matheus Satoru
Motomatsu Ferrareze³; Hemerson D Pinheiro⁴*

Resumo – Este trabalho teve como objetivo analisar a ocorrência de tendência nas séries históricas de precipitação anual total e máxima precipitação anual em um dia na Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (URGHI) Norte-Pioneira,. Para avaliar a existência das tendências foi utilizado o teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall. A maioria das estações não apresentou tendências significativas para as duas séries analisadas. Ao nível de 95% de significância, para a série de total anual, 5 estações apresentaram tendência positiva e para máxima diária, 6 estações apresentaram tendência positiva estatisticamente significativa. Ao nível de 90% de significância, para a série de total anual, 7 estações apresentaram tendência positiva e para máxima diária, 10 estações apresentaram tendência positiva e 2 apresentaram tendência negativa estatisticamente significativa. Os resultados podem indicar uma flutuação natural das precipitações na região de estudo.

Palavras-Chave – **Precipitação; Tendência; Mann-Kendall**

TREND ON PRECIPITATION TIME SERIES IN THE RIVER CINZAS WATERSHED

Abstract – This work aimed to analyze the occurrence of trends in the historical series of total annual precipitation and maximum annual precipitation in one day in the Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (URGHI) North-Pioneer. Mann-Kendall's non-parametric statistical test was used to assess the existence of trends. Most stations did not present significant trends for the two series analyzed. At the 95% significance level, for the series of annual total, 5 stations showed a positive trend and for daily maximum, 6 stations showed a positive trend statistically significant. At the 90% level of significance, for the series of annual total, 7 stations showed a positive trend and for daily maximum, 10 stations showed a positive trend and 2 presented a negative trend statistically significant. The results may indicate a natural fluctuation of precipitation in the study region.

Keywords – **Precipitation; Trends; Mann-Kendall**

INTRODUÇÃO

Para as atividades humanas, os eventos de curto prazo e médio prazo na climatologia, são as que mais tem impacto. Entre eles, os que mais chamam atenção são os “eventos extremos” que se distanciam do clima habitual da região e são os que mais causam estragos (Marengo, 2007). Assim, torna-se fundamental verificar se a frequência com que esses eventos ocorrem está aumentando,

¹ Aluno de graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina – andre.yuichi14@gmail.com

² Aluno de graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina – gabrielhenriquevidal@gmail.com

³ Aluno de graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina – ferrareeze23@gmail.com

⁴ Professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina – hemersonpinheiro@uel.br

diminuindo ou se mantém uma certa regularidade. Para tanto, são necessários estudos que identifique a existência de tendências, com o intuito de subsidiar a tomada de decisão para se evitar desastres sociais, econômicos e ambientais.

No estado do Paraná, problemas com enchentes e inundações vem se tornando um problema para vários municípios, ano após ano. Em 2014, segundo dados da Coordenadoria da Defesa Civil, mais de 106 mil pessoas foram afetadas em 124 municípios, além de 8000 imóveis danificados e 7849 desalojadas (Notícia veiculada pelo jornal Gazeta do Povo, 10 de junho de 2014). Essa foi considerada, até hoje, a maior tragédia já registrada em número de pessoas e municípios atingidos no Paraná. Esse acontecimento se deve por precipitações acima dos considerados em projeto, o que pode evidenciar uma tendência de mudança no regime de chuvas.

O Estado do Paraná é um importante produtor agrícola, o que torna sua economia inteiramente dependente das quantidades e da distribuição das chuvas precipitadas. E os prejuízos são decorrente tanto de longos períodos de estiagem quanto de excessos de chuva.

Neste estudo será verificada a existência de tendência nas séries históricas de precipitação total anual e máxima diária para a Unidade Hidrográfica Norte-Pioneira, no estado do Paraná, através da aplicação do teste estatístico não paramétrico Mann-Kendall. A unidade hidrográfica em estudo tem como curso d'água principal o Rio das Cinzas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estado do Paraná, segundo a resolução nº 49/2006 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, é constituído por 12 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI). Tal divisão foi feita visando promover o planejamento e a gestão dos recursos hídricos do estado.

A área de estudo aqui apresentada é a UGRHI Norte-Pioneira, que possui uma área de 16.353km², cerca de 8% da área total do estado do Paraná e habitada por uma população de 579.871 pessoas (IBGE, 2010), divididas em 41 municípios. Três bacias hidrográficas são agrupadas por esta Unidade: a do Rio das Cinzas, do Itararé e Paranapanema 1 e 2. A demarcação da área objeto e as estações utilizadas para estudo foram apresentadas na Figura 1 abaixo:

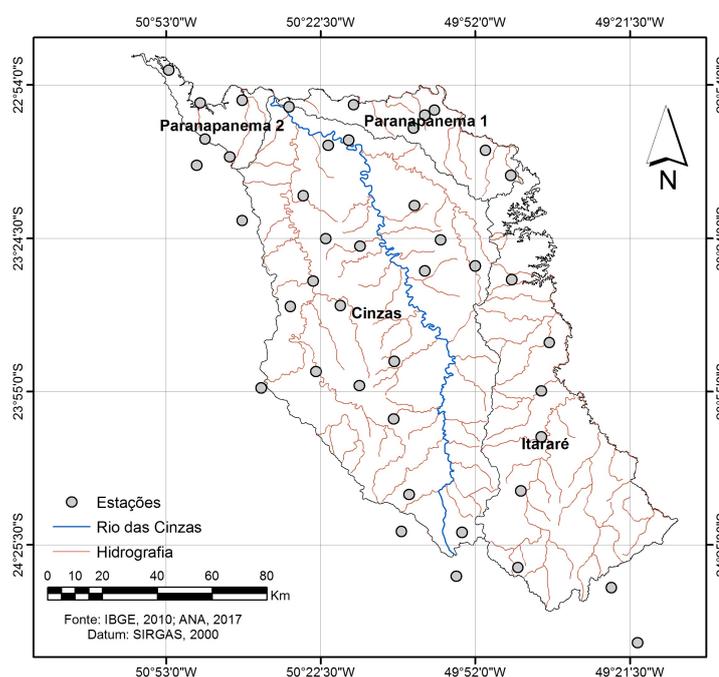


Figura 1 – UGRHI Norte-Pioneira e estações utilizadas.

Para este estudo foram utilizadas séries de dados convencionais das estações pluviométricas localizadas no interior da bacia e que possuem dados disponibilizadas pela Agência Nacional das Águas (ANA), através do portal Hidroweb (www.hidroweb.ana.gov.br). AS análise consistiram em verificar a existência de tendência nas séries históricas de precipitação anual total e máxima precipitação anual em um dia (máxima anual).

As estações pluviométricas selecionadas para as análises foram aquelas que obedeceram os seguintes critérios: possuir no mínimo 30 anos de registros e apresentar um índice de falhas (falta de registro) menor que 10%.

Seguindo estes dois critérios foram selecionados dados de 43 estações, distribuídas em 28 municípios diferentes. As estações, com seus respectivos nomes, códigos, cidades, período de observação e coordenadas encontra-se na Tabela 1.

Para a correção das falhas nos dados pluviométricos foi utilizado o método da ponderação regional (TUCCI, 2001), que corrige a falha em uma estação utilizando dados de outras estações próximas considerando as distâncias entre elas. Neste método, as falhas são preenchidas através de uma ponderação com base nos dados dos três postos pluviométricos mais próximos do posto com falhas. Sendo os postos mais próximos designados por a, b, c, e x o posto com falha, tem – se a equação 1:

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{M_x}{M_a} P_a + \frac{M_x}{M_b} P_b + \frac{M_x}{M_c} P_c \right) \quad (1)$$

onde P_x representa a falha procurada; M_x a média aritmética do posto com falha; M_a , M_b , M_c as médias aritméticas dos postos mais próximos; e P_a , P_b , P_c os dados dos postos mais próximos do mesmo mês utilizado para preencher a falha.

Com todas as séries de dados pluviométricos corrigidos, foi feita a análise de tendência utilizando o método não-paramétrico dos testes de Mann-Kendall, que tem como princípio básico examinar as diferenças pareadas de cada valor observado.

O teste não paramétrico de Mann-Kendall só pode ser aplicado se a série for serialmente independente. A verificação da independência das séries foi realizada pelo teste Wald-Wolfowitz (1943), implementado no pacote Trend (2016) do programa de estatística R. Em primeiro lugar, para efetuar o cálculo do teste, é encontrado o valor S com a seguinte equação:

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=2}^n \text{ sinal}(x_i - x_j) \quad (2)$$

O sinal é obtido da seguinte maneira:

$$\text{ sinal} = \begin{cases} 1, & \text{se } (x_i - x_j) > 0 \\ 0, & \text{se } (x_i - x_j) = 0 \\ -1, & \text{se } (x_i - x_j) < 0 \end{cases}$$

Se n apresentar um valor muito alto, S tende para a normalidade com variância definida como:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n-5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (3)$$

Onde t_p é o número de dados com os mesmos valores em certo grupo, e q é o número do grupos com vos mesmos valores para as séries de dados em um grupo p . Desta maneira o teste de Mann Kendall é determinado pela equação (4) abaixo:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, se S > 0 \\ 0, se S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, se S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Através do valor de Z_{MK} , é determinada a tendência estatisticamente significativa na série temporal. Para o teste de tendência tanto positiva quanto negativa para determinado nível de significância, a hipótese nula é aceita se Z é menor que $Z_{1-P/2}$ que é obtido na tabela normal, assim um valor positivo de Z_{MK} indica tendência crescente, enquanto que um valor negativo de Z_{MK} indica tendência decrescente. Neste trabalho foi utilizado o nível de significância de $\alpha = 0,05$ e $\alpha = 0,1$.

RESULTADOS

A aplicação do teste Wald-Wofowitz para as 43 estações selecionadas, mostrou que estas possuem dados de precipitação anual total e máxima precipitação anual em um dia serialmente independentes. Assim, o teste de Mann-Kendall pode ser utilizado para análise de tendências.

Os dados coletados do portal Hidroweb foram filtrados e selecionados de acordo com os critérios estabelecidos. Pela facilidade proporcionada pelo uso de planilhas eletrônicas tipo Excel (os dados são disponibilizados já nesse formato), optou-se pela aplicação do teste Mann-Kendall utilizou-se uma diretamente no programa Excel. Para tanto foi utilizado uma rotina implementada pela empresa Action Stat (disponibilizada para teste em www.portalaction.com.br), que consiste em uma ferramenta estatística integrada ao Excel.

Os resultados obtidos para as duas séries históricas (total anual e máxima anual), aplicados as 43 estações estão sumarizados na Tabela 2. O nível de significância utilizado para a verificação de existência de tendência foi de 95%, ou seja, quando o p-valor resultante for menor do que 0,05, considera-se que a série analisada possui tendência estatisticamente significante.

Em relação à precipitação anual total, 24 estações apresentaram tendência positiva e 19 apresentaram tendência negativa. Para a máxima anual, 33 apresentaram tendência positiva e 10 tendência negativa. Esse resultado pode indicar uma flutuação natural das precipitações.

Considerando a análise do teste de Mann-Kendall, para o nível de significância de 95%, temos para a precipitação anual total 5 estações com tendência positiva estatisticamente significativa e para a máxima anual, 6 estações com tendência positiva estatisticamente significativa. Nenhuma estação apresentou, ao nível de significância de 95%, tendência decrescente significativa.

Quando considerado o nível de 90% de significância, para o teste de Mann-Kendall, os resultados não se alteram muito. Para a precipitação anual total, 7 estações apresentaram tendência positiva estatisticamente significativa. Para a máxima anual, 10 estações apresentaram tendência positiva e 2 tendência negativa.

Tabela 1: Estações meteorológicas utilizadas na pesquisa. O código se refere ao número da estação cadastrado na Agência Nacional Águas (ANA).

Código	Município	Latitude	Longitude	Período
2250033	Andará	22° 57' 55"	50° 15' 58"	1976-2015
2350002	Andará	23° 04' 59"	50° 16' 59"	1975-2015
2450036	Arapoti	24° 15' 31"	50° 05' 02"	1976-2015
2450048	Arapoti	24° 00' 26"	50° 08' 06"	1976-2015
2350018	Bandeirantes	23° 06' 00"	50° 21' 00"	1977-2015
2250035	Cambará	22° 58' 59"	50° 00' 00"	1980-2013
2250011	Cambará	23° 02' 31"	50° 04' 12"	1980-2015
2250017	Cambará	23° 00' 00"	50° 01' 59"	1980-2010
2349060	Carlópolis	23° 32' 44"	49° 44' 49"	1976-2015
2350048	Congoinhas	23° 38' 02"	50° 28' 28"	1976-2015
2350057	Cornélio Procópio	23° 10' 00"	50° 46' 59"	1976-2009
2350027	Cornélio Procópio	23° 08' 17"	50° 40' 28"	1975-2006
2449007	Dr. Ulysses	24° 45' 00"	49° 19' 59"	1975-2015
2449021	Dr. Ulysses	24° 34' 01"	49° 25' 10"	1975-2015
2350062	Figueira	23° 51' 01"	50° 23' 28"	1975-2015
2350054	Guapirama	23° 31' 00"	50° 01' 59"	1976-2015
2350049	Ibaiti	23° 37' 52"	50° 18' 35"	1976-2015
2350041	Ibaiti	23° 53' 49"	50° 14' 53"	1976-2015
2250032	Itabarancá	22° 58' 20"	50° 28' 44"	1976-2015
2349038	Jacarezinho	23° 07' 00"	49° 49' 59"	1976-2006
2449036	Jaguariaíva	24° 22' 59"	49° 54' 39"	1976-2015
2449040	Jaguariaíva	24° 14' 45"	49° 43' 00"	1976-2015
2350046	Japira	23° 49' 00"	50° 07' 59"	1979-2015
2349030	Joaquim Távora	23° 30' 00"	49° 52' 00"	1975-2014
2350053	Jundiaí do Sul	23° 26' 05"	50° 14' 43"	1976-2015
2250030	Leópolis	22° 57' 35"	50° 46' 16"	1976-2015
2250031	Leópolis	22° 57' 00"	50° 37' 59"	1976-2014
2350026	Leópolis	23° 04' 48"	50° 45' 16"	1975-2015
2350021	Nova Fátima	23° 21' 00"	50° 37' 59"	1975-2015
2449011	Piraí do Sul	24° 31' 45"	49° 55' 44"	1975-2015
2449032	Piraí do Sul	24° 30' 01"	49° 43' 35"	1976-2015
2450031	Piraí do Sul	24° 22' 49"	50° 06' 32"	1976-2015
2349036	Ribeirão Claro	23° 12' 00"	49° 45' 00"	1976-2015
2350033	Ribeirão do Pinhal	23° 24' 34"	50° 21' 30"	1976-2015
2350052	Ribeirão do Pinhal	23° 33' 00"	50° 24' 00"	1976-2015
2350029	Santa Amélia	23° 15' 59"	50° 25' 55"	1976-2015
2349061	Santana do Itararé	23° 45' 16"	49° 37' 21"	1976-2015
2349059	Santo Antônio da Platina	23° 24' 50"	49° 58' 51"	1976-2015
2350012	Santo Antônio da Platina	23° 18' 00"	50° 04' 00"	1975-2015
2349064	São José da Boa Vista	23° 54' 52"	49° 39' 00"	1976-2015
2449045	São José da Boa Vista	24° 04' 00"	49° 39' 00"	1976-2015
2350061	Sapopema	23° 54' 14"	50° 34' 15"	1976-2015
2250028	Sertaneja	22° 51' 04"	50° 52' 28"	1976-2015

Tabela 2. Resultado do teste Mann-Kendall a 95% e 90% de significância (TP- Tendência Positiva; TN – Tendência Negativa; NS – Não significativa e S – Significativa).

Código da Estação	Total Anual				Máxima Anual			
	τ	p-valor	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,10$	τ	p-valor	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,10$
2250033	0,0308	0,7887	TP-NS	TP-NS	0,0026	0,9907	TP-NS	TP-NS
2350002	0,0805	0,4653	TP-NS	TP-NS	0,2220	0,0421	TP-S	TP-S
2450036	-0,0872	0,4350	TN-NS	TN-NS	-0,0463	0,6833	TN-NS	TN-NS
2450048	-0,2051	0,0640	TN-NS	TN-S	0,2057	0,0639	TP-NS	TP-S
2350018	-0,0256	0,8276	TN-NS	TN-NS	0,0486	0,6720	TP-NS	TP-NS
2250035	-0,0303	0,8125	TN-NS	TN-NS	0,1230	0,3134	TP-NS	TP-NS
2250011	-0,0698	0,5581	TN-NS	TN-NS	-0,0191	0,8809	TN-NS	TN-NS
2250017	-0,1742	0,1739	TN-NS	TN-NS	-0,0237	0,8650	TN-NS	TN-NS
2349060	0,0410	0,7180	TP-S	TP-NS	0,1015	0,3633	TP-NS	TP-NS
2350048	0,4692	0,0000	TP-S	TP-S	0,1542	0,1655	TP-NS	TP-NS
2350057	0,1998	0,0998	TP-NS	TP-S	0,1979	0,1030	TP-NS	TP-NS
2350027	0,1250	0,3226	TP-NS	TN-NS	0,4444	0,0004	TP-S	TP-S
2449007	0,2561	0,0189	TP-S	TP-S	0,1576	0,1504	TP-NS	TP-NS
2449021	-0,1658	0,1294	TN-NS	TN-NS	0,0990	0,3688	TP-NS	TP-NS
2350062	0,0732	0,5075	TP-NS	TP-NS	0,0012	1,0000	TP-NS	TP-NS
2350054	-0,1077	0,3335	TN-NS	TN-NS	0,0346	0,7619	TP-NS	TP-NS
2350049	0,0128	0,9165	TP-NS	TP-NS	0,1911	0,0846	TP-NS	TP-S
2350041	0,0769	0,4918	TP-NS	TP-NS	0,1181	0,2890	TP-NS	TP-NS
2250032	-0,1231	0,2684	TN-NS	TN-NS	0,0436	0,7006	TP-NS	TP-NS
2349038	-0,1011	0,4343	TN-NS	TN-NS	-0,0108	0,9458	TN-NS	TN-NS
2449036	0,0026	0,9907	TP-NS	TP-NS	0,1208	0,2784	TP-NS	TP-NS
2449040	0,0487	0,6664	TP-NS	TP-NS	0,2670	0,0159	TP-S	TP-S
2350046	-0,0090	0,9479	TN-NS	TN-NS	0,2694	0,0199	TP-S	TP-S
2349030	0,0256	0,8248	TP-NS	TP-NS	0,1039	0,3513	TP-NS	TP-NS
2350053	-0,1758	0,1130	TN-NS	TN-NS	-0,0013	1,0000	TN-NS	TN-NS
2250030	0,1205	0,2786	TP-NS	TP-NS	0,0154	0,8980	TP-NS	TP-NS
2250031	0,0634	0,5779	TP-NS	TP-NS	-0,0202	0,8655	TN-NS	TN-NS
2350026	0,1049	0,3397	TP-NS	TP-NS	0,2477	0,0232	TP-S	TP-S
2350021	-0,0317	0,7789	TN-NS	TN-NS	-0,1818	0,0964	TN-NS	TN-S
2449011	0,3136	0,0043	TP-S	TP-S	0,1343	0,2208	TP-NS	TP-NS
2449032	0,2117	0,0560	TP-NS	TP-S	0,2045	0,0655	TP-NS	TP-S
2450031	0,2385	0,0311	TP-S	TP-S	0,1772	0,1104	TP-NS	TP-NS
2349036	-0,0911	0,4147	TN-NS	TN-NS	0,1746	0,1157	TP-NS	TP-NS
2350033	0,0282	0,8067	TP-NS	TP-NS	0,0051	0,9721	TP-NS	TP-NS
2350052	-0,1667	0,1328	TN-NS	TN-NS	-0,1335	0,2301	TN-NS	TN-NS
2350029	0,0179	0,8796	TP-NS	TP-NS	-0,1335	0,2301	TN-NS	TN-NS
2349061	0,1102	0,3220	TP-NS	TP-NS	0,2809	0,0111	TP-S	TP-S
2349059	-0,0128	0,9165	TN-NS	TN-NS	-0,1848	0,0956	TN-NS	TN-S
2350012	-0,0268	0,8135	TN-NS	TN-NS	0,0035	0,9827	TP-NS	TP-NS
2349064	-0,1706	0,1240	TN-NS	TN-NS	0,1143	0,3051	TP-NS	TP-NS
2449045	0,0337	0,7716	TP-NS	TP-NS	0,2107	0,0608	TP-NS	TP-S
2350061	0,1282	0,2487	TP-NS	TP-NS	0,1669	0,1328	TP-NS	TP-NS
2250028	-0,0410	0,7180	TN-NS	TN-NS	0,1424	0,2000	TP-NS	TP-NS

CONCLUSÃO

Os resultados não permitem que se conclua de forma inequívoca a identificação de tendências ou padrões espaciais de variação das precipitações diárias máximas e total anual, na bacia estudada, apenas dá indícios da ocorrência de tendências positivas ou negativas. Esses dados mostram que muitas das alterações podem ter caráter regional, e não estão relacionadas com uma mudança global do clima. Os estudos aqui efetivados tem caráter inicial, ou seja, em um futuro próximo estas análises serão estendidas para todas as bacias do Paraná. Nesta ocasião, será verificada a influência dos fenômenos El Niño e La Niña nos eventos de precipitação nos postos que indicarem tendência.

REFERÊNCIAS

- DAMÉ, R.ITA DE C. F. DAMÉ,; CLAÚDIA F. A. TEIXEIRA, C.F.A.; LUIZ C. S. BACELAR, L.C.S. ANTONIONY S. WINKLER, A.S.; JACIRA P. DOS SANTOS, J.P (2013). Monotonic trend and change points in Southern Brazil precipitation. *Eng. Agrícola Jaboticabal* v.33, n.2, pp. 258 – 268.
- INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. Elaboração do plano das bacias: Cinzas, Itararé e Paranapanema 1 e 2. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br>. Acesso em 14 mai. 2017.
- KEVIN E. TRENBERTH, K.E.; AIGUO DAI, A; , ROY M. RASMUSSEN, R.M.; DAVID B. PARSONS, D.B.. (2003). The changing character of precipitation. In *Anais do American Meteorological Society*, Sep. 2003, pp. 1205-1217.
- NAGHETTINI, M. (2007). *Hidrologia Estatística*. CPRM Belo Horizonte- MG, 561 p.
- POHLERT, T. (2016). trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. R package version 0.2.0. <https://CRAN.R-project.org/package=trend>
- SANTOS, C.A.CINTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY.; NEALE, C.M.U.; RAO, T.V.R; SILVA, B.B. (2007). Trends in índicesíndices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA. Disponível em wileyonlinelibrary.com. Acesso em 14 mai. 2017.
- SILVA, W. L. ;WANDERSON LUIZ SILVA, CLAUDINE DEREZYNSKI, C. ; CHANG, M. MANYU CHANG,; FREITAS, M. MARCOS FREITAS, ; MACHADO, B. J. BRUNO JUSTEN MACHADO,; TRISTÃO, L. ; LEONARDO TRISTÃO, JANAINA RUGGERI, L (2015). Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.30, n.2, pp. 181 – 194.
- TUCCI, C.E.M. *Hidrologia: ciência e aplicação* UFRGS/Edusp/ABRH, Porto Alegre, 2001. 943p
- WALD, A ;; E WOLFOWITZ, J. (1943), An exact test for randomness in the non-parametric case based on serial correlation. *Annual Mathematical Statistics* 14, 378–388.