



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013
13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

**DETECÇÃO DE TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS NAS SÉRIES DECENIAIS DE
PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E TEMPERATURA DO AR DA LOCALIDADE DE MONTE ALEGRE
DO SUL -SP**

Monica C. **Meschiatti**¹; Gabriel C. **Blain**²

¹ Faculdade de Engenharia Ambiental e Sanitária, PUC-Campinas; ² Instituto Agrônomo de
Campinas

Nº 13127

RESUMO - *A diminuição da disponibilidade hídrica às culturas, resultante de mudanças nos padrões climáticos de precipitação pluvial e temperatura do ar, é frequentemente apontada como um impacto potencialmente associado ao aquecimento global. Em adição, diversos estudos conduzidos em distintas regiões do Globo, permitiu o estabelecimento da hipótese de presença de alterações no clima da localidade de Monte Alegre do Sul, Estado de São Paulo. Dessa forma, objetivo deste estudo foi detectar indícios de tendências climáticas em séries deceniais de precipitação pluvial e temperatura do ar (máxima, mínima e média) no referido local. Foram utilizados dados de precipitação pluvial e temperatura do ar do posto meteorológico de Monte Alegre do Sul (22°42'S; 46°39'W; 777m; 1959 a 2011). A detecção de alterações climáticas foi realizada com base no teste de Mann-Kendall, adaptado a possível presença de correlação serial. Os resultados não indicaram a presença de marcantes alterações de ordem climática nos dados decênias de Monte Alegre do Sul. Dos 144 decênios analisados, a hipótese de nulidade associada ao pressuposto de inexistência de tendências climáticas foi rejeitada em apenas 3,47% dos casos.*

Palavras-chaves: TFPW, Mann-Kendall, tendências climáticas.

¹ Bolsista CNPq: Graduação em Eng. Ambiental e Sanitária, PUC, Campinas-SP, monicameschiatti@hotmail.com

² Orientador



ABSTRACT- *The shortage of available water for plant growth, resulting from changes in weather patterns of precipitation and air temperature, is generally regarded as a potential impact associated with global warming. In addition, several studies carried out in different regions of the globe, allowed us to establish the hypothesis of the presence of changes in the climate of Monte Alegre do Sul, State of São Paulo, Brazil. Thus, the aim of this study was to detect climate trends in 10-day series of precipitation and air temperature (maximum, minimum and medium) in this location. The meteorological data were obtained from the weather station of Monte Alegre do Sul (22°42'S, 46°39'W, 777m, 1959 to 2011, State of São Paulo, Brazil). The Mann-Kendall test, adapted for the presence of serial correlation, was used to detected climate change signs in the above-mentioned location. The results indicated the presence of no remarkable climactic change in the 10-day series. Of 144 analyzed series, the null hypothesis associated with the assumption of no climate trends was rejected in only 3.47% of the cases.*

Key-words: TFPW, Mann-Kendall, climatic trends.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) o aumento da temperatura atmosférica é inequívoco. Como apontam Ramos & Casanovas-Martínes (2006), as mudanças relacionadas com a diminuição da disponibilidade hídrica às culturas e outras alterações nas variáveis meteorológicas podem causar notáveis danos à agricultura. Zullo et. al. (2006) ressaltam que devido à importância da agricultura para a economia brasileira, as pesquisas agrometeorológicas devem considerar os impactos relacionados às possíveis mudanças nos padrões climáticos globais.

IPCC (2007) observou um aumento linear de aproximadamente 0,13°C por década na temperatura média do planeta, no período de 1957 a 2006. Dufek & Ambrizzi (2007) apontaram indícios de mudança para uma condição atmosférica mais quente no estado de São Paulo. Em cinco localidades desse estado, segundo Blain, Picoli e Lulu (2009) e Blain (2011), ocorreram indícios de alterações climáticas que estão associadas frequentemente, em maiores significâncias estatísticas, nas séries compostas pela temperatura mínima do ar. De acordo com Blain (2012), a temperatura mínima do ar pode ser vista como um dos parâmetros meteorológicos mais afetados por alterações climáticas. No que diz respeito à precipitação pluviométrica, Blain (2012) trabalhou com oito localidades no estado de São Paulo. O autor observou indícios de queda no regime de precipitação pluvial na localidade de Ubatuba-SP.



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013

13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

Esses estudos fizeram uso do teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall (MK), com base em séries temporais meteorológicas, para verificar alterações nos padrões climáticos globais. Segundo Yue et al. (2002), o MK têm sido largamente utilizado em diversas partes do globo. Khaliq et al. (2009) afirmam que métodos não paramétricos, como o MK, são empregados na grande maioria dos estudos de detecção estatística de alterações climáticas.

As conclusões apresentadas nos estudos relativos ao clima do estado de São Paulo permitem o estabelecimento da hipótese da presença de tendências climáticas na localidade de Monte Alegre do Sul-SP. Ressalta-se também que as afirmações de Ramos & Casanovas-Martínes (2006) e Zullo et al. (2006) anteriormente descritas, indicam a relevância agrônômica desses estudos. Assim, o objetivo desse trabalho foi detectar a presença de tendências climáticas em séries decenais de precipitação pluvial e temperatura do ar (máxima, mínima e média) na localidade de Monte Alegre do Sul, estado de São Paulo, entre os anos de 1959 a 2011.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados decenais de precipitação pluvial (PRE) e temperatura do ar máxima, mínima e média (T.Máx, T.Mín e T.Méd), do período de 1959 a 2011, da localidade de Monte Alegre do Sul-SP, pertencentes ao Instituto Agrônomo de Campinas da Secretaria de Agricultura e Abastecimento (IAC/SAA-SP). A estação meteorológica está localizada em coordenadas 22° 41' 34,95"S de latitude, 46° 40' 30,69"O de longitude e 786 metros de altitude. De acordo com a classificação de Köepen, o clima local é Cfa.

Uma adaptação do teste Mann-Kendall, o “Trend Free pre-whitening” (TFPW), foi proposto por Yue et. al. (2002) para utilização em séries autocorrelacionadas, reduzindo de forma mais eficaz o efeito de correlação serial no MK. Como descrito em Wilks (2006), séries agrometeorológicas freqüentemente exibem correlações seriais positivas Assim, no presente estudo foi aplicado o TFPW. Os métodos estatísticos utilizados no presente estudo foram conduzidos à 5% de significância.

2.1 Teste de Mann-Kendall

O MK é utilizado para avaliar a significância de uma tendência (YUE et al., 2002). A hipótese nula (H_0) é a de que a amostra contém dados $\{X_i, i = 1, 2 \dots, n\}$ independente e identicamente distribuídos. A sua rejeição é considerada um indício da presença de tendências climáticas na série em análise. O cálculo do MK inicia-se pela estimação da estatística S (eq. 1 e 2)



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013
13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

em uma série temporal, de comprimento n e composta por x valores, onde x_j são valores de dados sequenciais.

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

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{se } \theta > 0 \\ 0 & \text{se } \theta = 0 \\ -1 & \text{se } \theta < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Como proposto por Mann (1945) e Kendall (1975) quando $n \geq 8$ a distribuição de S aproxima-se à Gaussiana com média $E(S)=0$ e variância $V(S)$ descrita pela equação 3, onde t_m é o número de conjuntos formados por dados de mesmo valor e m é o número de elementos constituintes de cada conjunto t_m . A estatística S é então padronizada (Z ; eq. 4) e a sua significância estatística pode ser estimada por meio da distribuição cumulativa normal padrão. O sinal de Z indica se a tendência é crescente ($s > 0$) ou decrescente ($s < 0$).

$$V(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{m=1}^n t_m m(m-1)(2m+5)}{18} \quad (3)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{V(s)}} & \rightarrow s > 0 \\ 0 & \rightarrow s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{V(s)}} & \rightarrow s < 0 \end{cases} \quad (4)$$

2.2 Trend-free Pre-whitening

De acordo com Yue et. al. (2002), o passo inicial nesse método é estimar a inclinação (slope) da tendência na série de dados. No presente trabalho foi utilizado o método dos mínimos quadrados, como descrito por Sansigolo & Kayano (2010). A tendência é assumida como sendo linear e a remoção da inclinação ocorreu por meio da equação 6 (YUE et. al., 2002), resultando em uma nova série (Y_t).

$$Y_t = X_t - T_t = X_t - bt \quad (6)$$

O segundo passo indicado por esse autor é calcular e remover o coeficiente de autocorrelação relativo ao lag-1 (r_1) da série Y_t . Se r_1 não for significativo, a amostra de dados é considerada serialmente independente e o MK é aplicado diretamente aos dados originais. Caso



contrário, é considerada serialmente correlacionada e o “pre-whitening” é utilizado para remover a componente de autocorrelação da série Y_t (eq. 8; YUE, et al., 2002):

$$Y'_t = Y_t - r_1 Y_{t-1} \quad (7)$$

O resultado é uma segunda nova série, formada por dados independentes. Em seguida, a inclinação é reinserida em Y'_t . De acordo com Yue et. al. (2002), Y'_t preserva a tendência original não sendo mais influenciada pelos efeitos da autocorrelação. As equações 1 a 4 são então aplicadas à série Y'_t .

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das inclinações obtidas nas séries de PRE T.Mín, T.Máx, T.Méd, podem ser verificados na tabela 1. Esses valores podem ser interpretados como sendo a taxa média de alteração ano a ano ocorrida para as séries sob análise. Entretanto, não permitem identificar a significância dessas tendências, fazendo com que o uso do teste de MK seja necessário. A determinação dessa inclinação é também passo fundamental para o TFPW, preparando as séries para a aplicação do MK.

Tabela 1. Valores das inclinações obtidas nas séries decendiais de Monte Alegre do Sul, SP, para precipitação pluvial (PRE) e temperatura do ar máxima, mínima e média (T. Máx, T. Mín e T. Méd).

Decêndio	Inclinação			
	PRE (mm)	T. Máx (°C)	T. Mín (°C)	T. Méd (°C)
Janeiro	0,7888	-0,0060	-0,0015	-0,0472
	0,7304	0,0175	0,0036	0,0205
	0,4640	-0,0175	0,0043	0,0628
Fevereiro	0,2368	0,0148	-0,0025	-0,0275
	-0,4101	0,0099	-0,0163	0,0404
	-0,3906	0,0405	-0,0026	0,0288
Março	0,2192	0,0111	-0,0026	0,0563
	0,4337	-0,0062	-0,0056	-0,0086
	0,5545	0,0006	0,0042	-0,0105
Abril	0,1139	0,0068	0,0088	0,0245
	0,3652	-0,0089	0,0013	0,0114
	0,0764	0,0203	0,0231	-0,0260
Maio	-0,0984	-0,0020	0,0022	0,0321
	0,0749	-0,0103	-0,0129	-0,0193
	0,4499	-0,0214	0,0207	0,0037
Junho	0,1664	-0,0149	0,0084	-0,0156
	-0,2558	0,0095	-0,0248	-0,0041
	0,0272	-0,0107	-0,0154	-0,0543
Julho	-0,1874	0,0163	0,0023	0,0097
	0,3085	-0,0273	0,0119	0,0059
	0,2873	-0,0093	0,0200	-0,0034



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013

13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

Agosto	0,0131	-0,0113	-0,0007	-0,0144
	-0,1511	0,0013	-0,0328	0,0103
	0,0273	-0,0093	-0,0173	0,0232
Setembro	0,3571	-0,0286	-0,0259	-0,0120
	0,3375	-0,0472	-0,0115	-0,0110
	-0,0207	-0,0221	-0,0109	0,0079
Outubro	0,1510	-0,0135	-0,0044	-0,0055
	0,3859	0,0062	0,0186	-0,0056
	-0,1805	0,0365	-0,0035	0,0256
Novembro	-0,2186	-0,0039	-0,0034	-0,0323
	0,3597	0,0015	-0,0015	0,0099
	0,1988	0,0091	-0,0068	-0,0158
Dezembro	0,2507	0,0177	0,0021	-0,0232
	0,4448	0,0043	-0,0075	-0,0189
	-0,5568	0,0462	-0,0063	-0,0097

Na aplicação do MK na série decendial de PRE (tabela 2) detectou-se tendência significativa apenas no mês de agosto. Já para série de T.Máx, a detecção ocorreu nos meses de fevereiro, setembro e dezembro. Para T.Mín, os resultados obtidos no teste MK não apontaram quaisquer tendências significativas, isto é, não se detectou nenhum valor de p menor que 0,05. No entanto, para T.Méd observou-se uma tendência positiva no mês de dezembro.

Tabela 2. Resultados encontrados na aplicação do teste Mann-Kendall nas séries decendiais de Monte Alegre do Sul, SP, para precipitação pluvial (PRE), temperatura do ar máxima, mínima e média (T.Máx, T.Mín e T.Méd), e os valores da significância estatística (p)

Decêndio	PRE (mm)		T. Máx (°C)		T. Mín (°C)		T. Méd (°C)	
	MK	p	MK	p	MK	p	MK	p
Janeiro	0,84	0,40	-0,61	0,54	-0,44	0,66	-0,38	0,71
	1,49	0,14	1,34	0,18	0,12	0,90	1,33	0,18
	1,21	0,23	-0,80	0,43	1,01	0,31	0,01	1,00
Fevereiro	0,80	0,43	0,93	0,35	0,18	0,86	0,39	0,70
	-0,15	0,88	0,44	0,66	-1,26	0,21	-0,65	0,51
	-0,94	0,35	2,25	0,02	-0,65	0,51	1,46	0,14
Março	0,38	0,71	1,06	0,29	0,10	0,92	0,65	0,51
	1,42	0,16	-0,59	0,55	-0,20	0,84	-1,11	0,27
	0,91	0,36	-0,06	0,95	-0,18	0,86	0,11	0,91
Abril	0,93	0,35	0,59	0,55	0,62	0,53	0,41	0,68
	1,51	0,13	-0,38	0,71	0,22	0,82	0,11	0,91
	-0,12	0,90	1,54	0,12	1,32	0,19	1,45	0,15
Mai	-0,20	0,84	-0,11	0,91	-0,51	0,61	-0,42	0,67
	0,27	0,79	-0,92	0,36	-1,16	0,25	-0,87	0,39
	1,66	0,10	-1,58	0,11	0,65	0,51	0,00	1,00
Junho	0,61	0,54	-0,81	0,42	0,54	0,59	-0,06	0,95
	-0,72	0,47	0,17	0,87	-1,82	0,07	-0,76	0,45
	1,09	0,27	-1,01	0,31	-1,04	0,30	-1,14	0,26
Julho	-1,22	0,22	0,71	0,48	-0,48	0,63	0,54	0,59
	1,47	0,14	-0,94	0,35	0,68	0,50	-0,14	0,89



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013

13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

	1,16	0,25	-0,35	0,72	1,28	0,20	0,41	0,68
Agosto	-0,11	0,91	-0,85	0,39	-0,12	0,90	-0,13	0,90
	-2,31	0,02	-0,05	0,96	-1,66	0,10	-1,10	0,23
	0,60	0,55	-0,39	0,70	-1,38	0,17	-0,58	0,56
Setembro	1,07	0,28	-0,83	0,41	-0,87	0,39	-1,20	0,23
	1,91	0,06	-1,98	0,05	-0,50	0,62	-1,83	0,07
	0,11	0,91	-1,55	0,12	-0,64	0,52	-1,12	0,26
Outubro	0,00	0,99	-0,33	0,74	-0,06	0,95	-0,63	0,53
	0,72	0,47	0,41	0,68	1,37	0,17	0,97	0,33
	-0,43	0,67	1,83	0,07	-0,28	0,78	1,36	0,17
Novembro	-1,37	0,17	0,05	0,96	0,21	0,84	0,01	0,99
	1,03	0,30	-0,46	0,64	0,06	0,95	-0,10	0,84
	0,61	0,54	0,97	0,33	-0,59	0,55	0,12	0,90
Dezembro	1,02	0,31	1,40	0,16	0,10	0,92	1,13	0,26
	1,37	0,17	0,48	0,63	-0,69	0,49	-0,04	0,97
	-0,85	0,39	4,06	<0,01	-1,07	0,28	2,39	0,017

4 CONCLUSÃO

Dos 144 decêndios analisados, a hipótese de nulidade associada ao pressuposto de inexistência de tendências climáticas foi rejeitada em apenas 5 casos, representando 3,47% do total de análises. Em agosto detectou-se tendência de diminuição da PRE. Para T.Máx, verificou-se tendência de elevação em fevereiro e dezembro, e de diminuição em setembro. Para T.Méd. observou-se tendência de elevação em dezembro.

Considerando a lógica de um teste de hipótese estatístico, esses resultados não permitem a conclusão de inexistência de toda e qualquer forma de alteração de ordem climática na localidade em estudo. Entretanto, com base nos valores finais da estatística de Mann-Kendall concluí-se que qualquer possível alteração climática presente entre 1959 e 2011, ocorreu, ou está ocorrendo, de forma muito lenta para ser distinguida da variabilidade climática interanual.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa concedida.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLAIN, G. C.; PICOLI, M. C. A.; LULU, J. Análises estatísticas das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.68, n.3, p.807-815, 2009.

BLAIN, G. C. Considerações estatísticas relativas a seis séries mensais de temperatura do ar da secretaria de agricultura e abastecimento do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, p.279-296, 2011.



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013

13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

BLAIN, G.C. Monthly values of the standardized precipitation index in the State of São Paulo, Brazil: trends and spectral features under the normality assumption. **Bragantia**, Campinas, v.71, n.1, 2012.

DUFEK, A. S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in Sao Paulo State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.93, n.3-4, p.167-178, 2007.

IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press, 2007.

KHALIQ, M. N.; OUARDA, T. M. J.; GACHON, P.; SUSHAMA, L.; ST-HILAIRE, A. Identification of hydrological trends in the presence of serial and cross correlations: A review of selected methods and their application to annual flow regimes of Canadian Rivers. **Journal of Hydrology**, v. 368, p.117-130, 2009.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. Griffin, London, UK, 1975.

MANN, H.B. Non-parametric tests against trend. **Econometrica**, v.13, n.3, p.245-259, 1945.

RAMOS, M. C.; CASASNOVAS-MARTÍNES, J. A. Trends in Precipitation Concentration and Extremes in the Mediterranean Penedès-Anoia Region, Ne Spain. **Climate Change**, v.74, p.457-474, 2006.

SANSIGOLO, C.A.; KAYANO, M.T. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913–2006 period. **Theoretical and Applied Climatology**, v.101, n.101, p.209-216, 2010.

WILKS, D.S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2006.

YUE, S.; PILON, P. J.; PHINNEY, B.; CAVADIAS, G. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. **Hydrological Processes**, v.16, n.16, p.1807-1829, 2002.

ZULLO JR., J.; PINTO, H. S.; ASSAD, E. D. Impact assessment study of climate change on agricultural zoning. **Meteorological Applications**, Cambridge University Press, v.13, p.69-80, 2006. DOI:10.1017/S135048270600257X