



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

#### **Alterações climáticas em séries mensais e quinzenais de precipitação em Pelotas/RS**



*Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra<sup>1</sup>; Rita de Cássia Fraga Damé<sup>2</sup>; Gisele Machado da Silva<sup>3</sup>; Suélen Cristiane Riemer da Silveira<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Eng. Agrícola, Prof. Associado, Centro de Engenharias/CEng, Universidade Federal de Pelotas, Fone: (53)3921-1473, cfteixe@ig.com.br

<sup>2</sup> Eng. Agrícola, Prof. Associado, Centro de Engenharias/CEng, Universidade Federal de Pelotas, ritah2o@hotmail.com

<sup>3</sup> Aluna de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água/MACSA, Universidade Federal de Pelotas, giselesilva@cavg.ifsul.edu.br, silveira.suelen@gmail.com

**RESUMO:** A análise do regime pluvial de uma dada localidade é fundamental para o manejo correto dos recursos hídricos, com vistas à produção agrícola. Nesse contexto, estudos têm sido realizados com o propósito de determinar, de forma mais abrangente, as mudanças climáticas da precipitação que possam afetar a agricultura, a população e a economia. Nesse sentido, objetivou-se identificar a presença de tendência e detectar o período em que estas ocorreram, nas séries totais, máximos e mínimos médios mensais, totais quinzenais, máximos e mínimos quinzenais mensais de precipitação na localidade de Pelotas/RS. Para tanto foi utilizado os dados de precipitação da localidade de Pelotas (estação 3152014) obtidos junto a Agência Nacional de Águas. Para tanto foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Whitney, bem como a média móvel com *lag* 10, aplicados às séries de precipitação do período de 1961 a 2009 (49 anos). No teste, a tendência é significativa quando os valores absolutos da estatística são maiores que os limites de confiança, para o nível de significância 5%, rejeitando-se a hipótese de nulidade ( $H_0$ ) se o valor da estatística estiver fora do intervalo de confiança (-1,96; +1,96). Para as séries de precipitação total mensal e precipitação mínima da segunda quinzena foi detectada alteração de tendência, com valores de estatística de Mann-Whitney iguais a 2,06 e 2,52, respectivamente. Para as demais séries analisadas não foi detectada alteração no nível de significância estudado. Diante dos resultados obtidos é possível concluir que a metodologia que utiliza séries subdivididas é capaz de detectar alteração de tendência em séries de precipitação.

**PALAVRAS-CHAVE:** teste não paramétrico, série climatológica, alteração de tendência

#### **Climate change in monthly and biweekly series of precipitation in Pelotas/RS**

**ABSTRACT:** The analysis of rainfall patterns for a given location is critical to the proper management of water resources, with a view to crop production. In this context, studies have been conducted in order to determine, more broadly, climate change precipitation that may affect agriculture, population and the economy. In this sense, the objective was to identify the presence of trend and detect the period in which they took place, the total series, maximum and minimum monthly average, total, maximum and minimum monthly precipitation in Pelotas/RS. Therefore we used data of precipitation from the Pelotas (station 3152014) obtained from the Agência Nacional de Águas. For this we used the nonparametric Mann-Whitney and the moving average lag 10, applied to 1961 period precipitation series to 2009 (49 years). In the test, the tendency is significant when the absolute statistical values are greater than the confidence limits for the significance level of 5%, rejecting the null hypothesis ( $H_0$ ) is the statistic value is outside the confidence interval (-1.96, +1.96). For the series of monthly rainfall and minimum precipitation of the second half was detected change trend with Mann-Whitney statistical values equal to 2.06 and 2.52, respectively. For the remaining analyzed series change was detected during the study



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

significance level. Based on these results we conclude that the methodology that uses split series can detect trend of change in precipitation series.

**KEY WORDS:** nonparametric test, climatological series, trend change

## INTRODUÇÃO

A identificação de alterações nos registros meteorológicos é de grande importância para os estudos de engenharia que utilizam as séries históricas, pois tanto as simulações como as aplicações de teorias de probabilidade são realizadas com a hipótese de que as séries históricas são homogêneas, isto é, que não apresentem tendências. Uma série é dita homogênea quando os dados vêm da mesma população, e assim não há alteração nos parâmetros (SANSIGOLO, 2008).

O interesse em estudos de tendência dos componentes do ciclo hidrológico tem aumentado devido às controvérsias sobre as mudanças climáticas. De acordo com Joseph et al. (2013), a identificação de tendências sazonais de precipitação e vazão contribui para a compreensão da variabilidade climática global e é essencial para o desenvolvimento de modelos hidrológicos, previsão hidrológica e gestão dos recursos hídricos.

Minuzzi e Caramori (2011) analisaram o comportamento sazonal e anual da chuva e de veranicos, em 21 estações hidrológicas localizadas no Estado do Paraná. Os resultados obtidos não indicaram pontos de mudanças estatisticamente significativos, no comportamento climático da quantidade de chuva. Blain e Moraes (2011) caracterizaram as séries de valores máximos diários de precipitação do Estado de São Paulo, verificando o ajuste dessas distribuições empíricas a diferentes funções de densidade de probabilidade. Os autores encontraram que apenas na j de Pindorama foi detectada tendência de elevação nos valores de precipitação. Blain (2010) objetivou detectar tendências e variações climáticas em oito séries de totais anuais de precipitação pluvial do Estado de São Paulo, utilizando testes paramétrico e não paramétrico. Os resultados mostraram que em 50% das localidades houve alteração na tendência do regime pluvial.

Apesar da necessidade de uma análise mais aprofundada do comportamento de séries temporais das variáveis hidrológicas, com o propósito de obter informações sobre o comportamento natural e as influências das ações antrópicas no gerenciamento da bacia hidrográfica. Nesse sentido, Groppo et al. (2001) detectaram tendências positivas na maior parte dos postos de precipitação analisados, mas consideraram difícil creditar o aumento da precipitação a causas de origem antrópica, já que ele depende de fenômenos que não podem ser atribuídos somente a mudanças locais.

Diante do interesse em estudos de tendência dos componentes do ciclo hidrológico em virtude das controvérsias quanto às mudanças climáticas, objetivou-se identificar a presença de tendência e detectar o período em que estas ocorreram, em séries totais, máximas e mínimas médias mensais, totais quinzenais, máximas e mínimas quinzenais mensais de precipitação na localidade de Pelotas/RS.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os dados diários de chuva do período de 1961 a 2009 (49 anos) da localidade de Pelotas/RS (estação 3152014; 31° 51' S; 52° 21' O; a 13,2 m de altitude) obtidos junto a Agência Nacional de Águas (ANA, [www.hidroweb.ana.gov.br](http://www.hidroweb.ana.gov.br)). A partir do banco de dados de chuva diária foram constituídas as séries totais, máximos e mínimos médios mensais, totais quinzenais, máximos e mínimos quinzenais mensais.

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

Inicialmente foi realizada a verificação da independência das séries temporais através do teste de autocorrelação serial (MARENGO e TOMASELLA, 1996), representada na Equação (1).

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2} \quad (1)$$

em que,

$x_t$  e  $x_{t+k}$  - valores das variáveis no tempo  $t$  e  $t+k$ ;

$\bar{x}$  - média amostral dos valores das variáveis;

$r_k$  - coeficiente de autocorrelação de ordem  $k$ , sendo  $k = 1, 2, 3, \dots$ , e  $-1 < r_k < 1$ .

Para todas as séries de precipitação foram construídos gráficos com o propósito de detectar visualmente o ponto em que houve a intersecção da variável em relação à média móvel com *lag* 10, correspondente a localização do ponto aproximado de mudança de tendência. Foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Whitney (CHEN et al., 2007) para detectar a ocorrência ou não dos pontos de mudança nas séries analisadas.

Na aplicação do teste deve-se seccionar a série de dados  $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n)$ , de tal forma que  $Y = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n_1})$  e  $Z = (x_{n_1+1}, x_{n_1+2}, x_{n_1+3}, \dots, x_{n_1+n_2})$ . A estatística do teste de Mann-Whitney é dada pela equação (2). A hipótese de nulidade,  $H_0$ , é aceita se  $|Z_c| \leq Z_{1-\alpha/2}$ , onde  $Z_{1-\alpha/2}$  é o quartil da distribuição normal padrão correspondente ao nível  $\alpha$  (0,05) de probabilidade, usado para a aplicação do teste.

$$Z_c = \frac{\sum_{t=1}^{n_1} r(x_t) - n_1(n_1 + n_2 + 1)/2}{[n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)/12]^{1/2}} \quad (2)$$

em que,

$r(x_t)$  – ordem das observações;

$n_1$  e  $n_2$  - número de elementos das sub-amostras  $X$  e  $Y$ , respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores das estatísticas descritivas, média, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, máximo e mínimo de todas as séries de precipitação analisadas, para a localidade de Pelotas/RS, no período de 1961 a 2009. A amplitude dos valores do coeficiente de variação foram 0,22 a 0,75, para as séries de precipitação máxima mensal e mínima quinzenal, respectivamente, o que indica elevada dispersão dos dados. Gomes et al. (2015) analisaram os dados médios mensais de precipitação de 102 estações meteorológicas distribuídas espacialmente no estado da Paraíba, no período de 1962 a 2001 e encontraram valores de coeficiente de variação entre 0,31 e 1,34, que os fizeram concluir que as chuvas mensais possuem alta dispersão, visto que segundo Oliveira (1999), valores de coeficiente de variação maiores que 0,20 indicam elevada dispersão dos dados. Comparando-se os valores de coeficiente de assimetria observa-se que para a série total de precipitação da primeira quinzena é praticamente simétrica ( $Ca = 0,08$ ). Em contrapartida, para as demais séries, todos os dados exibem assimetria positiva, cujos valores de  $Ca$  variam de 0,17 a 2,04.

**Tabela 1.** Estatísticas descritivas dos valores de precipitação das séries analisadas.

Série	Média (mm)	D.P. (mm)	CV	Ca	Máximo (mm)	Mínimo (mm)
Total mensal	103,3	24,47	0,24	0,47	180,7	50,9
Máximo Mensal	38,9	84,49	0,22	0,17	57,6	18,0
Mínimo Mensal	0,53	0,22	0,42	1,93	1,5	0,24
Total quinzenal (1 <sup>a</sup> )*	53,6	13,98	0,26	0,08	81,9	25,6
Total quinzenal (2 <sup>a</sup> )	52,9	18,62	0,35	1,63	127,4	20,6
Máximo quinzenal (1 <sup>a</sup> )	28,1	7,52	0,27	0,47	46,7	15,0
Máximo quinzenal (2 <sup>a</sup> )	26,7	7,36	0,28	0,51	44,9	12,0
Mínimo quinzenal (1 <sup>a</sup> )	1,64	1,23	0,75	2,04	6,8	0,40
Mínimo quinzenal (2 <sup>a</sup> )	1,41	0,76	0,54	1,07	3,48	0,40

\*(1<sup>a</sup>): primeira quinzena; (2<sup>a</sup>): segunda quinzena; D.P.: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Ca: coeficiente de assimetria

Na Tabela 2 são apresentados os valores do coeficiente de autocorrelação de ordem  $k = 1$ , que mostram que as séries temporais de precipitação analisadas são consideradas ruído branco, ou seja, cada valor da série tem média zero, variância constante e não apresenta correlação serial, visto que todos os coeficientes de autocorrelação estão dentro do intervalo de confiança, LI = -0,3008 e LS = 0,2591 (LUCAS et al., 2009). Como os valores das séries temporais de precipitação analisadas não apresentaram autocorrelação serial significativa, os mesmos são considerados independentes e os testes estatísticos podem ser aplicados (ULIANA et al., 2014).

**Tabela 2.** Valores do coeficiente de autocorrelação de ordem  $k = 1$ , para as séries de precipitação da localidade de Pelotas/RS

Série	$r_k^*$
Total mensal	0,0684
Máximo Mensal	0,0105
Mínimo Mensal	-0,0865
Total quinzenal (1 <sup>a</sup> )*	-0,1213
Total quinzenal (2 <sup>a</sup> )	-0,0345
Máximo quinzenal (1 <sup>a</sup> )	-0,0091
Máximo quinzenal (2 <sup>a</sup> )	0,1118
Mínimo quinzenal (1 <sup>a</sup> )	0,1085
Mínimo quinzenal (2 <sup>a</sup> )	0,0236

\*Limite Inferior (LI) = -0,3008; Limite Superior (LS) = 0,2591

Os resultados gráficos do comportamento das séries de precipitação total, máxima e mínima mensal, com suas respectivas médias e médias móveis de lag 10, para a localidade de Pelotas/RS, no período de 1961 a 2009 estão apresentados na Figura 1. Além da precipitação, as linhas horizontais indicam as médias, o ajuste linear, bem como o comportamento das médias móveis de lag 10. Observa-se que tanto para as séries de totais mensais e quinzenais, máximos mensais e quinzenais há uma tendência positiva da linha de tendência do ajuste linear, enquanto nas demais ocorre o inverso, ou seja, um decréscimo nas séries de mínimas (Figuras 1 e 2).

A partir da inspeção nos gráficos da precipitação é possível verificar o cruzamento das curvas a partir da década de 80 (Tabela 3). Esses cruzamentos dão indícios de haver tendência da variável climática nas três séries de precipitação, cuja evidência foi verificada ao aplicar o teste de Mann-



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

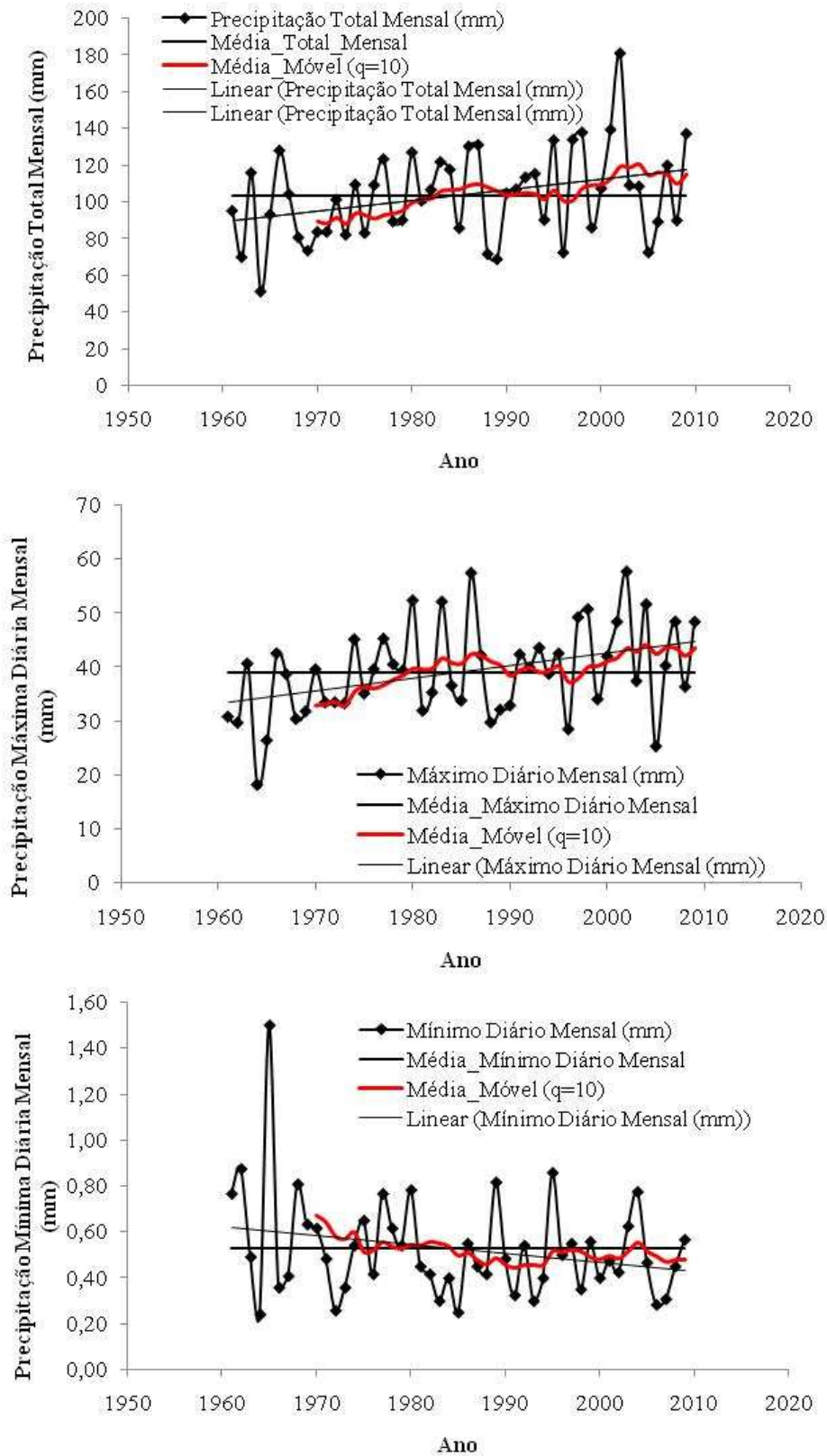
Agrometeorologia no século 21:



### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

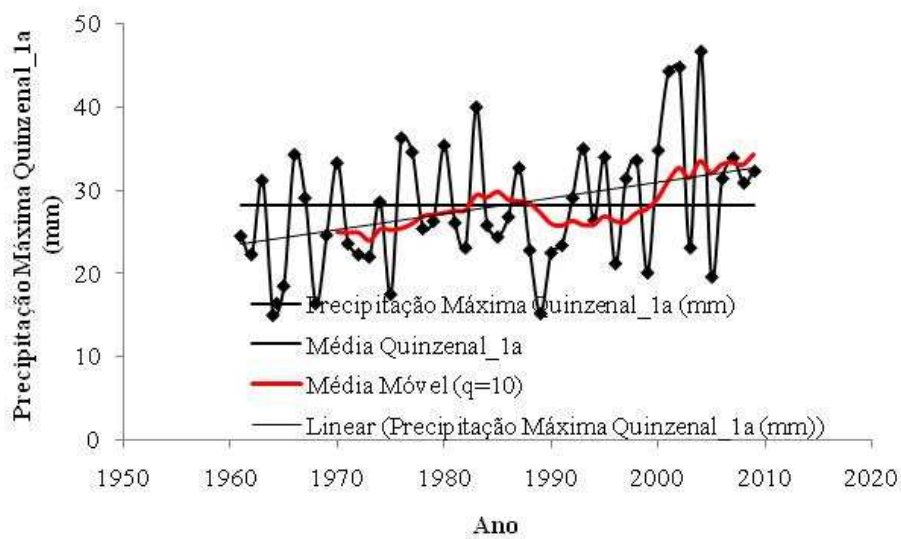
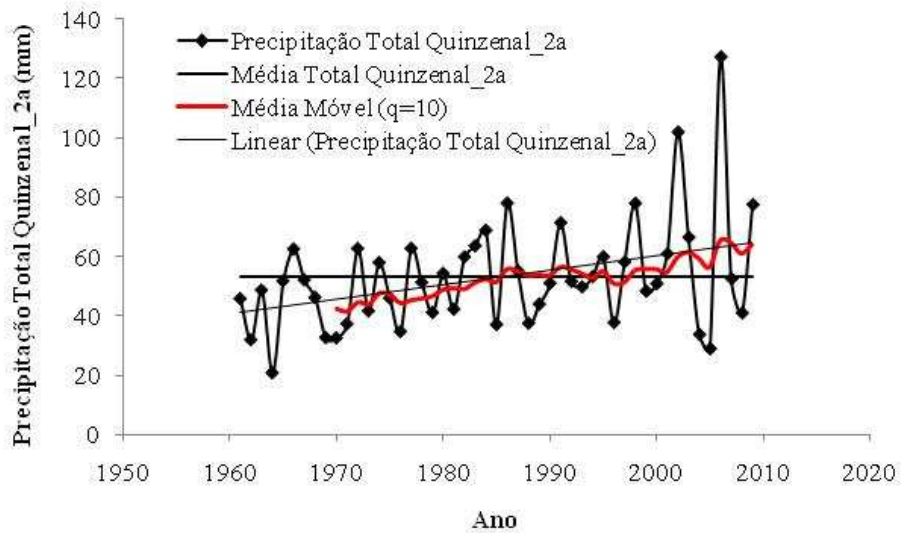
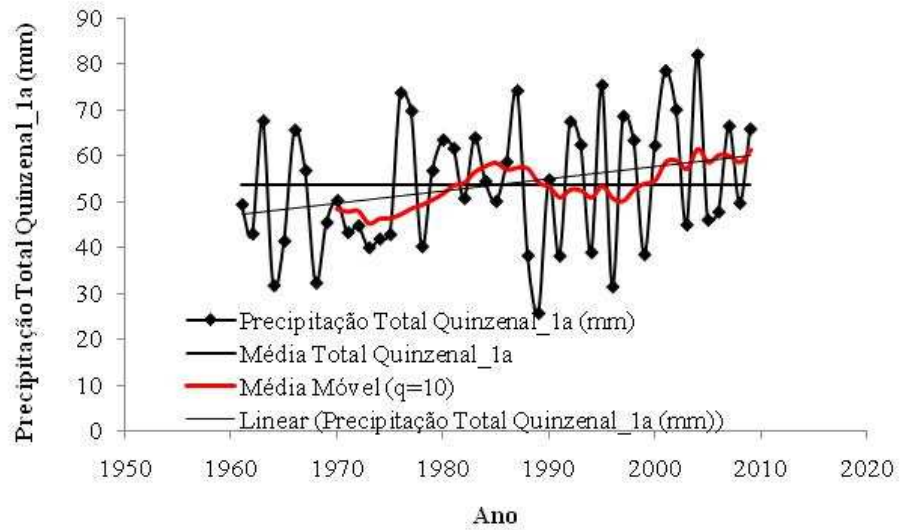
Whitney, cujos valores encontrados da estatística do teste ( $Z_{calc}$ ) foram 2,06; 1,58 e 1,04 para os totais, máximos e mínimos mensais, respectivamente. Observa-se que apenas os valores totais mensais apresentaram alteração de tendência, a partir do ano de 1982, uma vez que os valores da estatística ( $Z_{calc}$ ) são maiores do que os limites de confiança (1,96), para o nível de significância 5%, rejeitando-se a hipótese de nulidade ( $H_0$ ), ou seja, as séries mensais analisadas apresentam alteração de tendência. Com relação às séries quinzenais, apenas os valores mínimos de precipitação de segunda quinzena apresentaram tendência, cujo valor encontrado de  $Z_{calc}$  foi de 2,52, sendo, portanto, maior do que 1,96 (5%). Fontolan et al. (2012) identificaram tendências anuais da temperatura e precipitação pluvial de cinco cidades que se situam ao longo do rio Tietê/SP, utilizando análises de regressão linear e os testes não paramétricos de Run, Mann-Kendall e Pettitt, que é um procedimento que utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney. Os autores encontraram que apenas a cidade de Araraquara apresentou tendência de decréscimo da precipitação pluvial, confirmada no ano 1983.

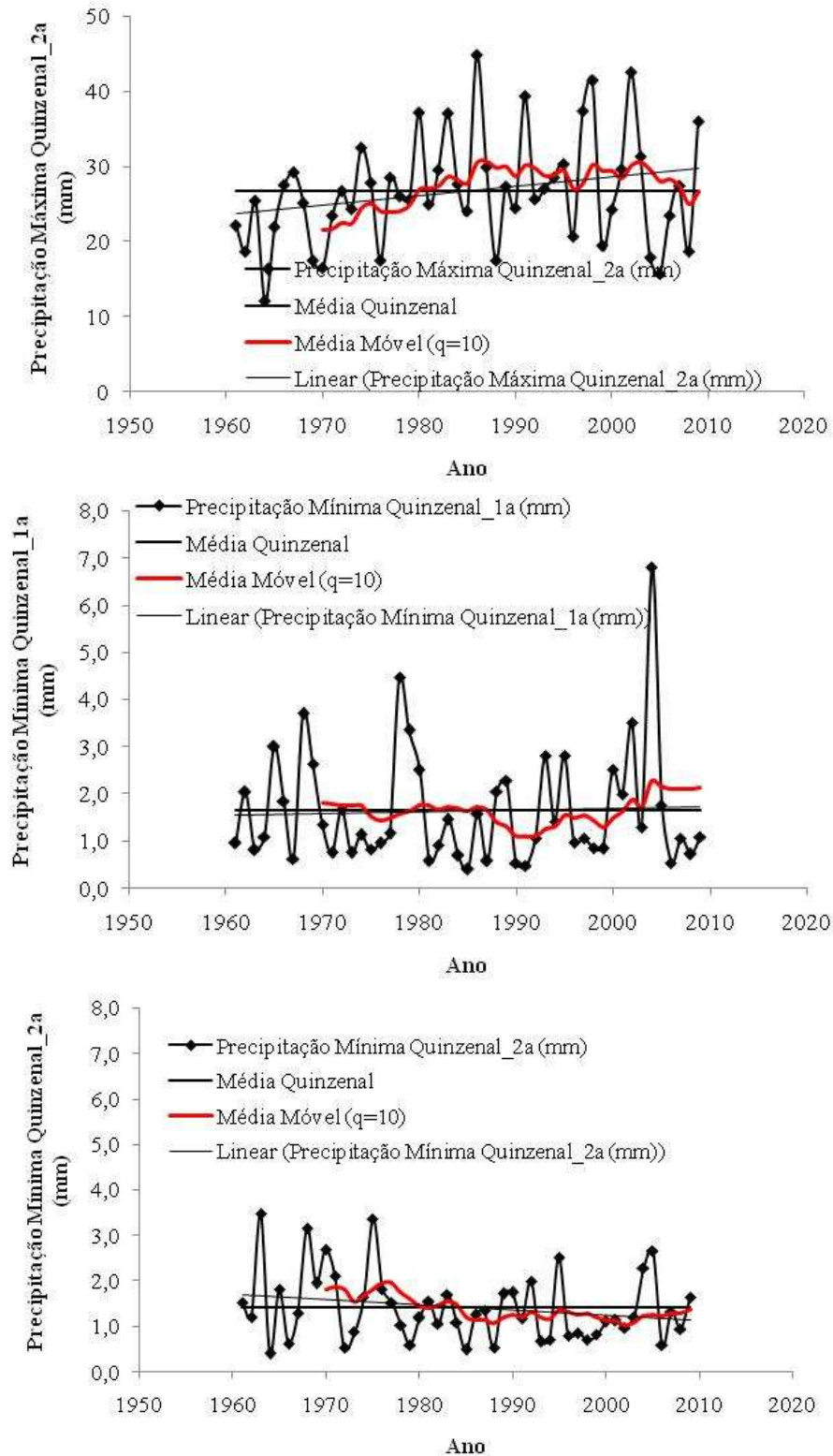
**O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros**



**Figura 1.** Representação do comportamento das séries de precipitação total, máxima e mínima mensal, com suas respectivas médias, médias móveis de lag 10 e ajuste linear, para a localidade de Pelotas/RS.

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***





**Figura 2.** Representação do comportamento das séries quinzenais de precipitação total, máxima e mínima mensal, na primeira e segunda quinzena, com suas respectivas médias, médias móveis de lag 10 e ajuste linear, para a localidade de Pelotas/RS.



**Tabela 3.** Resultados do teste de Mann-Whitney, interpretação e ano de alteração para a localidade de Pelotas/RS.

<b>Série</b>	<b>Zcalc</b>	<b>Ztab**</b>	<b>Interpretação</b>	<b>Ano de cruzamento</b>
Total mensal	2,06	1,96	Rejeita $H_0$	1982
Máximo Mensal	1,58	1,96	Aceita $H_0$	1990
Mínimo Mensal	1,04	1,96	Aceita $H_0$	1985
Total quinzenal (1 <sup>a</sup> )*	1,33	1,96	Aceita $H_0$	1982
Total quinzenal (2 <sup>a</sup> )	0,82	1,96	Aceita $H_0$	1987
Máximo quinzenal (1 <sup>a</sup> )	1,54	1,96	Aceita $H_0$	1986
Máximo quinzenal (2 <sup>a</sup> )	1,73	1,96	Aceita $H_0$	1981
Mínimo quinzenal (1 <sup>a</sup> )	0,34	1,96	Aceita $H_0$	1986
Mínimo quinzenal (2 <sup>a</sup> )	2,52	1,96	Rejeita $H_0$	1984

\*(1<sup>a</sup>): primeira quinzena; (2<sup>a</sup>): segunda quinzena; \*\*5% de probabilidade

## CONCLUSÕES

A metodologia que utiliza séries subdivididas é capaz de detectar alteração de tendência em séries de precipitação.

Somente para as séries de precipitação total mensal e precipitação mínima da segunda quinzena foi detectada alteração de tendência, no nível de significância estudado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 05 janeiro 2015.

BLAIN, G. C. Tendências e variações climáticas em séries anuais de precipitação pluvial do estado de São Paulo. *Bragantia*, v. 69, n. 3, p. 765-770, 2010.

BLAIN, G. C.; MORAES, S. O. Caracterização estatística de oito séries de precipitação pluvial máxima diária da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, n. 2, p. 225-234, 2011.

CHEN, Y. N.; LI, W. H.; XU, C. C.; HAO, X. M. Effects of climate change on water resources in Tarim River Basin, Northwest China. *Journal of Environmental Sciences*, v. 19, n. 4, p. 488–493, 2007.

FONTOLAN, M. R.; FERREIRA, DENISE, H. L.; PENEREIRO, J. C. Comportamento climático ao longo do rio Tietê: aplicações envolvendo testes estatísticos. *Revista Geonorte*, v. 1, n. 5, p. 466–475, 2012.

GOMES, O. M.; SANTOS, C. A. C.; SOUZA, S. S.; PAIVA, W.; OLINDA, R. A. Análise comparativa da precipitação do estado da Paraíba utilizando modelos de regressão polinomial. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 30, n. 1, p. 47-58, 2015.

GROPPO, J. D.; MILDE, L. C. E.; GUAMERO, M. E.; MORAES, J. M.; MARTINELL, L. A. Análise de Séries Temporais de Vazão e de Precipitação na Bacia do Rio Piracicaba. *Revista de Ciência & Tecnologia*, v. 8, n. 18, p. 109-117, 2001.



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



JOSEPH, J. F.; FALCON, H. E.; SHARIF, H. O. Hydrologic Trends and Correlations in South Texas River Basins: 1950–2009. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 2, p. 1653-1662, 2013.

LUCAS, E. W. M.; SOUSA, F. A. S.; SILVA, F. D. S.; LUCIO, P. S. Modelagem hidrológica determinística e estocástica aplicada à região hidrográfica do Xingu – Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 3, p. 308-322, 2009.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; UVO, C. R. B. On the Suitability of Non-Parametric Tests for Detection of Trends in Brazilian Rivers. Congresso Brasileiro de Meteorologia, p. 1492-1495, 1996.

MINUZZI, R. B.; CARAMORI, P. H. Variabilidade climática sazonal e anual da chuva e veranicos no Estado do Paraná. **Revista Ceres**, v. 58, n. 5, p. 593-602, 2011.

OLIVEIRA, F. E. M. Estatística e Probabilidade. 2. ed. São Paulo: Atlas, ISBN 85-224-2103-X, 221 p. 1999.

SANSIGOLO, C. A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 341-346, 2008.

ULIANA, E. M.; SILVA, D. D.; ULIANA, E. M.; RODRIGUES, B. S.; CORRÊDO, L. P. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 1, 2015.