

CONIC-SEMESP

13º Congresso Nacional de Iniciação Científica

Anais do Conic-Semesp. Volume 1, 2013 - Faculdade Anhanguera de Campinas - Unidade 3. ISSN 2357-8904

TÍTULO: EVOLUÇÃO DA VARIABILIDADE E DETECÇÃO DE TENDÊNCIA EM PARÂMETROS CLIMÁTICOS DE MUNICÍPIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

CATEGORIA: CONCLUÍDO

ÁREA: ENGENHARIAS E TECNOLOGIAS

SUBÁREA: ENGENHARIAS

INSTITUIÇÃO: PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

AUTOR(ES): VANESSA FERNANDA VICK GARCIA

ORIENTADOR(ES): JÚLIO CÉSAR PENEREIRO

Realização:



Apoio:



1. RESUMO

Com o intuito de contribuir com os estudos sobre mudanças climáticas, este trabalho buscou analisar as variabilidades e tendências nos índices anuais das temperaturas médias e precipitações pluviométricas em alguns municípios do Estado de São Paulo. Para tanto, foram utilizadas as séries temporais desses índices medidos pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados de cada índice estudado foram organizados em planilhas do programa *Microsoft Excel*. Por intermédio dessa ferramenta tecnológica, foram empregados cálculos de médias, desvios padrão, suavizações, ajustes e análises de regressão, índices de significâncias e análises de possível tendência por testes estatísticos não paramétricos, como os de Mann-Kendall e Pettitt. Após as reduções de dados, foi possível inferir possíveis ocorrências de tendências significativas nesses parâmetros climáticos em algumas localidades paulistas. Nos casos em que essas ocorrências foram detectadas foi possível inferir em qual data ela se manifestou. Aplicando esses procedimentos pode-se, em princípio, averiguar quais os mecanismos que deflagraram as mudanças climáticas e/ou hidrológica numa região, como a influência antrópica ou as flutuações intrínsecas da natureza.

2. INTRODUÇÃO

Recentes trabalhos têm mostrado que alguns indicadores de mudanças climáticas variam em escalas regionais e globais. Um exemplo disso pode ser testemunhado nas recentes pesquisas desenvolvidas por Alexander e colaboradores que mostraram, por meio de observações de satélites, coerentes mudanças na temperatura média e na precipitação pluvial em várias partes do mundo, especialmente nos últimos 40-50 anos (ALEXANDER *et. al.*, 2006). Essas pesquisas também identificaram uma tendência de aumento dessa variável climática, tanto nas medidas totais como nos índices derivados dessa grandeza.

Por intermédio desse e de outros trabalhos, verificou-se um considerável aumento nas precipitações pluviais, o que entra em dissonância com relatos anteriores que sempre consideraram essas medidas, registradas em grande parte das regiões continentais do planeta, como não muito intensas. Não obstante, como em outras regiões terrestres, na América do Sul, e especialmente no sudeste dessa região (o que inclui o sudeste brasileiro), percebe-se que está ocorrendo um incremento da precipitação pluvial, especialmente a partir da segunda metade do

século XX. Diante deste panorama, há de se julgar que o Estado de São Paulo também esteja sendo influenciado por esse aumento, pois, ao reduzir e interpretar dados coletados nesse parâmetro climático verificou-se evidências de mudança do índice de precipitação pluvial, além da quantidade de dias de chuvas e na medida registrada do índice de vazão de alguns rios paulistas (GROPPO *et. al.*, 2005; ALEXANDER *et. al.*, 2006; PENEREIRO; FERREIRA, 2011).

Em vista do exposto acima, o presente trabalho visou realizar um estudo exploratório das séries anuais de alguns parâmetros climáticos (temperaturas médias e precipitações) em diferentes localidades espalhadas pelo Estado de São Paulo. A meta foi verificar eventuais mudanças de comportamento das séries temporais desses parâmetros, visando identificar possíveis tendências e se essas estão associadas a alterações no meio ambiente, ou foram causadas pela ação antrópica.

As análises exploratórias das séries temporais foram realizadas utilizando a versão sequencial do teste de tendência de Mann-Kendall e o teste de ruptura de Pettitt, que serão descritos a seguir. Pelo que a literatura atual indica, esses testes são os mais empregados e úteis para verificação de possível tendência em uma série temporal de um determinado parâmetro climático, além de possibilitar inferir se estes parâmetros são ou não inter-relacionados (BACK, 2001; GROPPO *et. al.*, 2005).

3. OBJETIVOS

O trabalho consiste em apresentar as reduções e análises dos dados anuais dos índices das temperaturas médias e precipitações de algumas cidades espalhadas pelo território paulista. Por meio de testes estatísticos paramétricos e não paramétricos verificar a existência ou não de tendência significativa nesses parâmetros climáticos e, no caso da ocorrência de tal evento ser confirmado, a partir de qual data se manifestou esse início. A partir da ocorrência de determinada tendência, busca-se uma explicação para a mudança no comportamento do parâmetro climático.

4. METODOLOGIA

O trabalho iniciou-se com uma revisão bibliográfica sobre o assunto em questão, focando principalmente em estudos relacionados à mudança climática e

análises de dados envolvendo métodos estatísticos. A partir do banco de dados climáticos disponíveis nos endereços eletrônicos do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC, 2012) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2012), foi possível coletar os dados desejados para o estudo estatístico proposto. Desta forma, obteve-se uma base de dados para 21 localidades espalhadas pelo território paulista, como pode ser verificado na Figura 1.

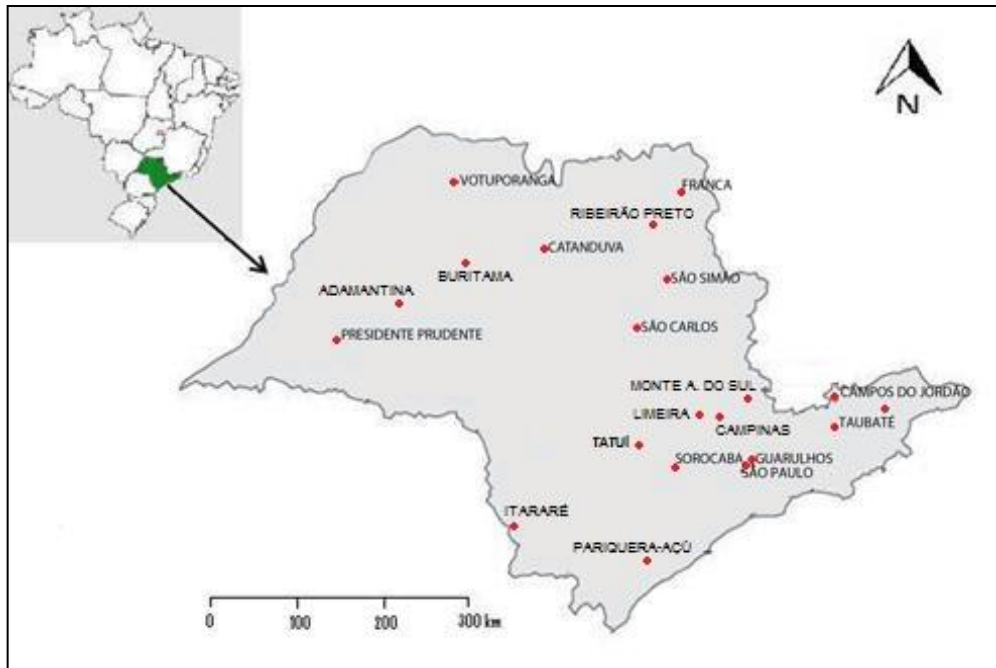


Figura 1. Estado de São Paulo: as marcações indicam os locais aproximados das coletas de dados. Os quadrados vermelhos referem-se aos dados do IAC e INMET.

As localidades estudadas estão listadas na Tabela 1. Para cada uma se trabalhou com dados compostos por séries temporais anuais dos parâmetros climáticos de interesse, como se pode verificar na última coluna da tabela sendo T para a temperatura média e P para a precipitação. Cada série climática foi organizada em planilhas do programa *Microsoft Excel*. Os períodos estudados de cada série dependem dos dados disponíveis em cada estação medidora do INMET ou do IAC, por isso variam, no que se referem aos intervalos de tempo das medições.

Cada uma dessas séries foi submetida a testes estatísticos paramétricos e não paramétricos visando detectar uma eventual tendência, ou mudança do comportamento da mesma.

Tabela 1 – Relação dos locais com as estações medidoras do IAC* e INMET†.

| Local | Lat. (S) | Long. (W) | Alt. (m) |
|------------------|----------|-----------|----------|
| Adamantina* | 21°41' | 51°05' | 443 |
| Buritama* | 21°04' | 50°08' | 427 |
| Campinas* | 22°54' | 47°05' | 674 |
| C. Jordão† | 22°75' | 45°60' | 1.642 |
| Catanduva† | 21°11' | 48°93' | 570 |
| Franca† | 20°58' | 47°36' | 1026 |
| Guarulhos† | 23°28' | 46°32' | 759 |
| Itararé* | 24°06' | 49°20' | 740 |
| Limeira* | 22°32' | 47°27' | 639 |
| Monte A. do Sul* | 22°41' | 46°43' | 777 |
| Pariquera-Açú* | 24°43' | 47°53' | 25 |
| Pindamonhagaba* | 22°55' | 47°27' | 560 |
| P. Prudente† | 22°11' | 51°38' | 436 |
| Ribeirão Preto* | 22°11' | 47°48' | 621 |
| São Carlos† | 21°96' | 47°86' | 856 |
| São Paulo† | 23°50' | 46°61' | 792 |
| São Simão† | 21°48' | 47°55' | 617 |
| Sorocaba† | 23°48' | 47°43' | 645 |
| Tatuí* | 23°22' | 47°52' | 600 |
| Taubaté† | 23°03' | 45°55' | 577 |
| Votuporanga† | 20°25' | 49°58' | 525 |

5. DESENVOLVIMENTO

Resumidamente, os testes acima mencionados podem ser entendidos como:

a) Testes paramétricos

Esse foi o primeiro passo visando às análises dos dados originais. Consistiu em empregar o método de regressão linear por meio da média móvel de grau cinco (equação 1) de suavização (equação 2) de cada série estudada (PENEREIRO; FERREIRA, 2011).

$$\bar{V}_n = \frac{1}{3} \left[\sum_{i=n-1}^{n+1} V_i \right] \quad (1)$$

$$\bar{V}_n = \frac{1}{6} \left[\sum_{i=n-2}^{n+2} V_i + \frac{1}{2} (V_{n+3} + V_{n-3}) \right] \quad (2)$$

em que, \bar{V}_n representa o valor médio de uma determinada variável climática em estudo para o i -ésimo mês V_i . A suavização foi motivada pelo fato de permitir evitar possíveis flutuações impostas pelos dados.

Posteriormente, utilizou-se a equação da reta da tendência ($Y = a(x) + b$), onde “a” é o coeficiente angular da reta e, no caso, $x = t$. Assim, se “a” > 0 significa que a tendência crescente, caso “a” = 0 representa não haver tendência significativa e, se “a” < 0 indica uma tendência decrescente. Ao realizar esse procedimento, o valor da estatística do R-quadrado (R^2) é devolvido como uma medida da qualidade do ajuste efetuado, além dos intervalos de confiança em 95% para o limite inferior e superior.

b) Testes não paramétricos

Buscando uma detecção mais rigorosa de possível tendência à série estudada, foram empregados os métodos estatísticos não paramétricos, que são analisados resumidamente a seguir.

No teste de Mann-Kendall (SNEYERS, 1990) o ponto de início de uma mudança na série pode ser determinado aplicando-se uma estatística de $U(t_n)$ partindo do valor $i = 1$ até $i = N$, dada por:

$$U(t_n) = \frac{(t_n - E(t_n))}{\sqrt{\text{var}(t_n)}} \quad (3)$$

em que t_n apresentará uma distribuição normal com média igual a $E(t_n) = \frac{N(N-1)}{4}$ e variância dada por: $\text{var}(t_n) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{72}$. Dessa forma, é possível gerar a estatística entre os intervalos de 5% e 10% ($-1,96 < U(t_n) < 1,96$ e $-1,65 < U(t_n) < 1,65$, respectivamente). Cálculo análogo foi realizado no sentido inverso da série, partindo do valor $i = N$ até $i = 1$, gerando a estatística inversa dada por $U^*(t_n)$.

A intersecção das duas curvas $U(t_n)$ e $U^*(t_n)$ é onde se localiza o ponto aproximado de mudança de tendência, caso esse ponto venha a ocorrer dentro do intervalo de confiança estabelecido ($-1,96 < U(t_n) < 1,96$).

Para o caso do teste de Pettitt (PETTITT, 1979), a estatística empregada, $U_{i,T}$, é realizada por uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que um membro da segunda amostra. O ponto de mudança brusca é aquele onde o valor de t ocorre para o máximo de $K(t)$. Através da inversão da equação anterior é possível inferir os valores críticos de $K(t)$ por meio de:

$$K_{crit.} = \pm \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{p}{2}\right) \cdot (T^3 + T^2)}{6}} \quad (4)$$

O nível de significância da mudança neste teste também é estimado para os índices de 5% a 10%, que corresponde aos valores de 1,96 e 1,65, respectivamente.

6. RESULTADOS

Optou-se ao longo dessa pesquisa por apresentar alguns resultados em forma gráfica, porém, complementando a esses, é apresentada a Tabela 1 resumindo as informações obtidas nas análises estatísticas.

A fim de mostrar as aplicações do teste paramétrico de regressão linear, a Figura 2 ilustra três situações com comportamentos diferentes de cada série temporal estudada em dados desta pesquisa. O gráfico da Figura 2a mostra um acréscimo no comportamento da reta ajustada, que indica um aumento na temperatura média ($a > 0$) para Ribeirão Preto entre 1953 e 2010. Entretanto, o gráfico da Figura 2b revela um comportamento estável ($a \approx 0$) do índice de precipitação para Limeira no período de 1934 a 2010, enquanto que o gráfico da Figura 2c indica uma diminuição do mesmo índice ($a < 0$) para a cidade de Votuporanga entre 1989 e 2010.

A Tabela 2 mostra, para todos os locais trabalhados, os valores do coeficiente angular (a), a qualidade dos ajustes (R^2) e intervalos de confiança em 95%, inferior e superior ($IC(95\%)$), de cada grandeza climática.

Nessa tabela, na segunda coluna, adotaram-se os símbolos T (temperatura média) e P (precipitação), além do período que abrange cada série.

Embora as análises de regressão mostradas anteriormente por meio de gráficos (como os da Figura 2) representem as possibilidades de eventuais tendências das séries de dados estudadas, os intervalos de confiança empregados para esse tipo de análise tornam-se limitados para tomar a decisão se a determinada amostra sofre ou não tendência. Por conseguinte, análises mais adequadas para estabelecer se ocorreu ou não tendência na série temporal estudada deve ser realizada por meio dos testes não paramétricos. Esses testes são importantes, principalmente no que se refere ao momento em que a tendência passou a ocorrer, pois a mesma deve estar dentro dos intervalos de confiança determinados na estatística utilizada.

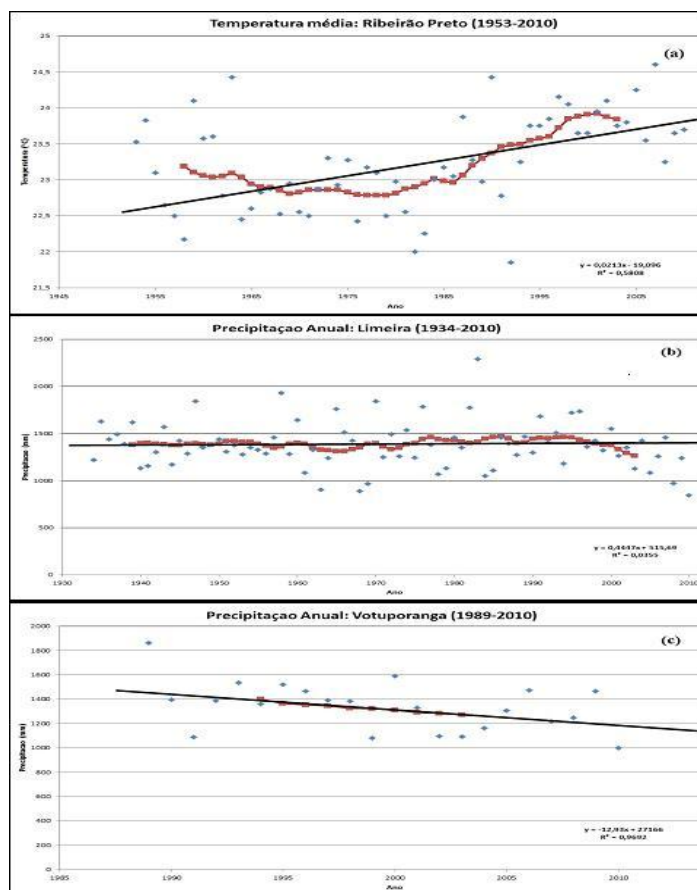


Figura 2. Análise da regressão linear aplicada aos pontos suavizados para: (a) Temperatura média para Ribeirão Preto; (b) Precipitação para Limeira e (c) Precipitação para Votuporanga. Pontos azuis indicam os dados originais, os pontos vermelhos são os dados pela média móvel e os em preto são os dados suavizados. O ajuste linear efetuado foi pela suavização. A equação do ajuste está na parte inferior do gráfico e demonstra a situação de um acréscimo desse parâmetro climático.

Nos gráficos a seguir esses testes são mostrados por meio das curvas $U(t_n)$ e $U^*(t_n)$ (em preto contínuo e pontilhado, respectivamente) para Mann-Kendall, e em curvas $K(t)$ (em preto contínuo) para a estatística de Pettitt. A seguir, são descritos alguns casos que ocorreram com os dados envolvidos nesse trabalho.

O primeiro caso aqui explorado é a evidência do aumento do índice da temperatura média registrado para na cidade de São Simão, ocorrido a partir de 1994, quando a quebra estatística nessa data pode ser identificada nos gráficos da Figura 3. Ao aplicar o teste de Mann-Kendall, o gráfico da Figura 3a revela a existência de uma possível tendência (cruzamento das estatísticas $U(t_n)$ e $U^*(t_n)$ entre os intervalos de confiança). Esse aspecto foi confirmado quando se aplicou o teste de Pettitt (Figura 3b), uma vez que a estatística $K(t)$ cruzou os níveis de confiança determinados nos cálculos. Isso concorda com o resultado obtido quando

se fez o estudo por meio da regressão linear (terceira coluna da Tabela 2), onde se constatou um ligeiro aumento desse parâmetro climático.

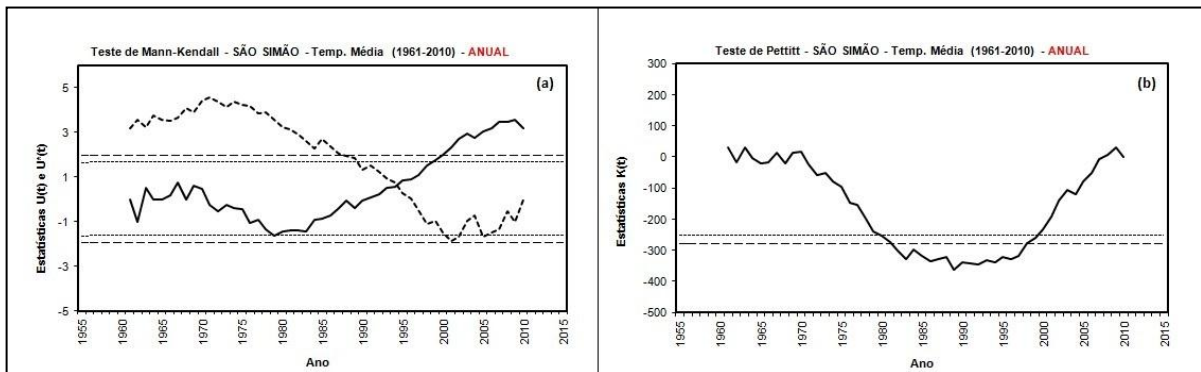


Figura 3. Comportamentos da temperatura média para cidade de São Simão empregando os testes não paramétricos. (a) Teste de Man Kendall, indicando possível tendência dessa série. (b) Teste de Pettit confirmando a tendência eocrescimento da temperatura média a partir de 1994.

Outro caso estudado está mostrado na Figura 4 para a capital do estado. Na cidade de São Paulo registrou-se um decrescimento da precipitação pluviométrica pela regressão linear (Tabela 2). Entretanto, uma tendência positiva pode ser confirmada pelos testes não paramétricos. Isso ocorre porqueo teste de Mann-Kendall (Figura 4a) revelou vários cruzamentos dessa estatística entre os intervalos de confiança, enquanto que o teste de Pettitt (Figura 4b) confirmou uma quebra da curva $K(t)$, ou cruzamento, pelos níveis de confiança na data de 1985.

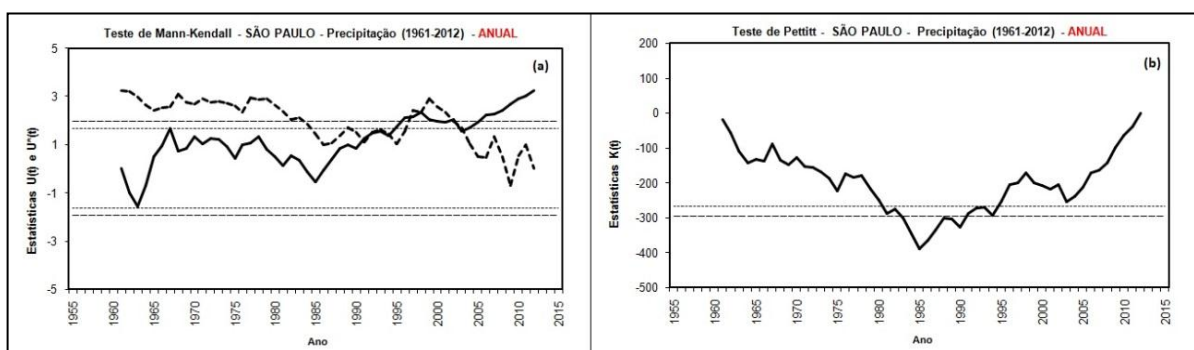


Figura 4. Idem a figura anterior, porém para a precipitação pluviométrica em São Paulo. O teste de Man Kendall (a), revelou vários cruzamentos entre os intervalos de confiança, enquanto que o teste de Pettit(b) confirmou tendência dessa variável climática, com aumento a partir de 1985.

Tabela 2 – Relação dos locais e os resultados das análises dos testes paramétricos e não paramétricos para dados os da temperatura média e precipitação.

| Local | Série | a | R ² | IC (95%) | Mann-Kendall | Pettitt | Tendência (ano) |
|------------------|--------------|---------|----------------|-----------------|--------------|---------|-----------------|
| Adamantina* | T: 1982-2010 | +0,019 | 0,517 | +0,009/+0,029 | D | F | (?) |
| | P: 1982-2010 | -11,711 | 0,830 | -14,633/-8,802 | D | F | (?) |
| Buritama* | T: 1994-2010 | -0,054 | 0,999 | -0,058/-0,050 | D | D | (-)2002 |
| | P: 1971-2000 | +1,938 | 0,254 | -0,404/+4,279 | D | F | (?) |
| Campinas* | T: 1890-2010 | +0,017 | 0,841 | +0,016/+0,019 | F | D | (?) |
| | P: 1890-2010 | +0,013 | 0,005 | -0,022/+0,048 | D | F | (?) |
| C. Jordão† | T: 1961-2012 | +0,021 | 0,953 | +0,019/+0,023 | F | D | (?) |
| | P: 1961-2012 | -16,795 | 0,704 | -20,381/-13,211 | D | D | (+)1983 |
| Catanduva† | T: 1961-2012 | +0,011 | 0,278 | +0,005/+0,017 | D | D | (+)1994 |
| | P: 1961-2012 | -6,739 | 0,809 | -7,815/-5,663 | D | F | (?) |
| Franca† | T: 1961-2012 | +0,033 | 0,911 | +0,029/+0,036 | D | D | (+)1989 |
| | P: 1961-2012 | -0,079 | 0,001 | -1,624/-1,466 | D | F | (?) |
| Guarulhos† | T: 1984-2012 | +0,038 | 0,955 | +0,034/+0,044 | D | D | (+)1995 |
| | P: 1984-2012 | -6,139 | 0,668 | -10,180/-2,096 | D | F | (?) |
| Itararé* | T: 1977-2010 | +0,006 | 0,099 | -0,003/+0,015 | D | F | (?) |
| | P: 1977-2010 | +6,113 | 0,340 | +2,143/+10,085 | D | F | (?) |
| Limeira* | T: 1953-2010 | +0,018 | 0,309 | +0,010/+0,027 | D | D | (+)1993 |
| | P: 1934-2010 | +0,444 | 0,036 | -0,139/+1,028 | D | F | (?) |
| Monte A. do Sul* | T: 1943-2010 | +0,007 | 0,220 | +0,003/+0,011 | F | D | (?) |
| | P: 1953-2010 | +0,323 | 0,696 | +0,264/+0,382 | D | F | (?) |
| Pariquera-Açú* | T: 1957-2010 | +0,010 | 0,142 | +0,002/+0,019 | D | F | (?) |
| | P: 1957-2010 | +5,282 | 0,520 | +3,661/+6,904 | D | D | (+)1995 |
| Pindamonhagaba* | T: 1952-2010 | +0,024 | 0,866 | +0,022/+0,027 | D | D | (+)1968 |
| | P: 1952-2010 | +5,522 | 0,578 | +4,105/+6,940 | D | F | (?) |
| P. Prudente† | T: 1961-2012 | +0,037 | 0,976 | +0,035/+0,039 | D | D | (+)1989 |
| | P: 1961-2012 | -3,663 | 0,286 | -5,591/-1,732 | D | F | (?) |
| Ribeirão Preto* | T: 1953-2010 | +0,021 | 0,581 | +0,016/+0,029 | D | D | (+)1992 |
| | P: 1953-2010 | +2,171 | 0,273 | +1,255/+3,087 | D | D | (+)1971 |
| São Carlos† | T: 1961-2012 | +0,026 | 0,875 | +0,023/+0,029 | F | D | (?) |
| | P: 1961-2012 | -2,748 | 0,411 | -3,832/-1,667 | D | F | (?) |
| São Paulo† | T: 1961-2012 | +0,037 | 0,973 | +0,035/+0,039 | F | D | (?) |
| | P: 1961-2012 | +4,457 | 0,452 | +2,845/+6,069 | D | D | (+)1985 |
| São Simão† | T: 1961-2012 | +0,020 | 0,699 | +0,016/+0,025 | D | D | (+)1992 |
| | P: 1961-2012 | -5,892 | 0,709 | -7,132/-4,651 | D | F | (?) |
| Sorocaba† | T: 1978-2012 | +0,037 | 0,941 | +0,033/+0,041 | D | D | (+)1997 |
| | P: 1978-2012 | +0,095 | 0,001 | -1,137/+1,327 | D | F | (?) |
| Tatuí* | T: 1954-2010 | +0,037 | 0,828 | +0,032/+0,043 | D | D | (+)1972 |
| | P: 1938-2010 | +3,587 | 0,587 | +2,804/+4,371 | D | F | (?) |
| Taubaté† | T: 1992-2012 | -0,016 | 0,692 | -0,021/-0,011 | D | F | (?) |
| | P: 1992-2012 | -11,869 | 0,792 | -17,310/-6,424 | D | F | (?) |
| Votuporanga† | T: 1977-2012 | +0,051 | 0,847 | +0,041/+0,062 | F | D | (?) |
| | P: 1977-2012 | +1,918 | 0,356 | +0,778/+3,058 | D | F | (?) |

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos estudos e das análises estatísticas aqui apresentadas, constatou-se a grande diversidade de informações existentes em cada série temporal.

Como pode ser verificado na Tabela 2, o uso da estatística não paramétrica revelou que a maioria das séries temporais não apresentaram indícios de tendência. Nesta situação encontraram-se 27 séries, sendo 10 para a temperatura média e 17 para precipitação pluviométrica. A ocorrência de a inversão de tendência (ou “quebra de tendência”) se verificou em 15 ocasiões, sendo apenas uma ocorrência negativa para temperatura média (na cidade de Buritama); 4 tendências positivas para precipitação e 10 para a temperatura média.

As análises aqui realizadas indicam que as tendências registradas não parecem estar relacionadas a uma mudança global do clima (PBMC, 2012). De forma geral, os comportamentos das séries temporais nos parâmetros climáticos mostram que muitas das oscilações registradas têm caráter regional.

8. FONTES CONSULTADAS

- ALEXANDER, L. V. et al. (2006). *Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation*. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, p. 1-22.
- BACK, A. J. (2001). A percepção de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 717-726.
- GROPPO, J. D. et al. (2005). *Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do Estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas*. **Geociências**, v. 24, n.º. 2, p. 181-193.
- PBMC (2012). **Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas** – Sumário Executivo. - 2012. Disponível em: <<http://ebookbrowse.com/sumario-executivo-vol1-pbmc-final-pdf-d367895824>> Acesso em: 08 jun. 2013.
- PENEREIRO, J. C.; FERREIRA, D. H. L. (2011). *Estatística apoiada pela Tecnologia: uma proposta para identificar tendências climáticas*. **Acta Scientiae**, v.13, n.º.1, p. 87-105.
- SNEYERS, R. et al. (1990) *Climatic changes in Belgium as appearing from the homogenized series of observations made in Brussels – Uccle (1933-1988)* In: SCHIETECAT, G. D. (Ed.). Contributions à l'étude des changements de climat. Institut Royal Meteorologique de Belgique, Publications Série 124, p. 17-20.
- PETTITT, A. N. (1979). *A non-parametric approach to the change-point problem*. **Applied Statistics**, v. 28 n.º. 2, p. 126-135.