

CONSIDERAÇÕES SOBRE TENDÊNCIAS NAS VARIABILIDADES CLIMÁTICAS ANUAIS EM CIDADES BRASILEIRAS

Júlio C. Penereiro (1); Monica C. Meschiatti (2)

(1) Professor Doutor das Faculdades de Matemática e Engenharia Ambiental, jcp@puc-campinas.edu.br
Pontifícia Universidade Católica de Campinas, CEATEC, Campinas-SP, 13086-900, Tel.: (19) 3343-7013
(2) Engenheira Ambiental e Sanitarista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, monicameschiatti@hotmail.com
Instituto Agrônomo (IAC), Centro de Ecofisiologia e Biofísica, Seção de Climatologia, Campinas-SP, 13075-630, Tel.: (19) 3202-1702

RESUMO

A urbanização das cidades, impulsionada pelo desenvolvimento industrial, culminou na migração em massa dos trabalhadores do meio rural para áreas urbanas, acarretando avanços sociais significativos. Entretanto, na contramão dos inquestionáveis avanços sociais, o meio ambiente sofreu e ainda sofre com as frequentes queimadas nas florestas em busca de novas áreas para o plantio, pecuária, instalação de indústrias, comércios e residências. Com efeito, o processo acentuado da urbanização tem gerado grandes impactos na vida das pessoas e no meio ambiente. Motivado pelos possíveis impactos negativos da urbanização, o objetivo do presente estudo foi identificar a existência de tendências climáticas em séries temporais anuais de temperaturas e precipitação pluviométrica em cidades do Brasil. Para esse intuito, foram empregados os testes estatísticos da Análise de Regressão Linear e os de Mann-Kendall e de Pettitt nos dados que estão disponíveis no Instituto Nacional de Meteorologia. Os resultados estatísticos, por meio de mapas de distribuições de tendências, indicam que das 244 cidades tratadas a maioria não acusou tendência, em particular no índice de precipitação, que registrou ausência em 95,08% desses locais. Aumentos significativos de tendências foram registrados nas temperaturas para 28,01% das cidades, enquanto tendências de diminuições dessas variáveis ocorreram em somente 3,01% dos locais avaliados. Presume-se que as tendências registradas nesse levantamento estejam relacionadas às influências de ações antropogênicas geradas ao longo do tempo em cada localidade tratada, possivelmente impulsionadas pelo expansionismo urbano, desenvolvimento industrial e adensamento populacional de várias cidades brasileiras.

Palavras-chave: tendências climáticas, testes estatísticos, centros urbanos, aglomeração.

ABSTRACT

The urbanization of cities driven by industrial development culminated in the mass migration of rural workers to urban areas, leading to significant social advances. However, against the grain of unquestionable social advances, the environment suffered and still suffers a lot with the frequent fires in the forests in search for new areas for planting, livestock, installation of industries, trades and residences. Indeed, the sharp urbanization process has generated great impact on people's lives and on the environment. Motivated by the potential negative impacts of urbanization, the objective of this study was to identify the existence of climate trends in annual time series of temperature and precipitation in cities of Brazil. For this purpose, we've employed statistical tests of the Linear Regression Analysis and the Mann-Kendall and Pettitt in the data that are available at the National Institute of Meteorology. The statistical results, through trends distributions maps, indicate that, of the 244 cities treated, the majority did not present a trend, in particular precipitation index, which registered 95.08% of absence at these places. Significant increases on trends were recorded in temperatures to 28.01% of the cities, while decrease trends in these variables occurred in only 3.01% of the evaluated sites. It is assumed that the trends recorded in this survey are related to the influence of anthropogenic actions generated over time in each treated locality, possibly driven by urban expansionism, industrial development and population density of several Brazilian cities.

Keywords: climatic trends, statistical tests, urban centers, agglomerations.

1. INTRODUÇÃO

Trabalhos recentes têm dado ênfase e mostrado alguns indicadores de mudanças climáticas em escala regional e global. Consta-se que estão sendo observadas coerentes mudanças da temperatura média e da precipitação pluvial em várias partes do mundo, especialmente nos últimos 40 - 50 anos devido, em particular, às melhorias tecnológicas implantadas que acarretaram uma melhora significativa na qualidade das medidas de todos os parâmetros climáticos (ALEXANDER et al., 2006).

Tomando como base de dados as medidas realizadas em 5.948 estações de precipitação pluvial espalhadas pelo planeta, Alexander et al. (2006) identificaram a ocorrência de tendência no aumento dos níveis dessa variável climática. Verificou-se que tanto as medidas totais, como os índices derivados dessa grandeza, foram considerados intensos e registrados em grande parte das regiões continentais da Terra.

Assim como em outras regiões do mundo, recentes trabalhos mostraram que na América do Sul houve um incremento da precipitação pluvial, especialmente na segunda metade do século XX (ALEXANDER et al., 2006). Neste sentido, algumas pesquisas podem ser destacadas, como as realizadas no Estado de São Paulo onde foram registrados sinais de mudança da precipitação pluvial e na vazão de alguns rios paulistas (GROPPO et al., 2005; ALEXANDER et al., 2006). Na Amazônia, onde o início e o fim de cada período chuvoso apresentam forte contraste entre o bioma amazônico e o cerrado, há uma chance do desmatamento ser o coadjuvante do enfraquecimento do período chuvoso (DEBORTOLI et al., 2012).

Algumas fontes que provocam a variabilidade do clima no Brasil são os eventos El Niño e La Niña, juntamente com os modos de variabilidade dos Oceanos Pacífico e Atlântico, este último em particular no Sul e na região do trópico de Capricórnio. Essa variação, em escalas de 25 a 30 anos, apresenta menor diferença entre fases opostas, mas são relevantes em termos de adaptações, pois causam secas prolongadas e eventos extremos de chuvas espalhadas pela América do Sul (PBMC, 2012). Essas alterações podem favorecer precipitações acima da média nas regiões norte e nordeste, além de mais chuvas no sul e sudeste brasileiro. Entretanto, deve-se considerar que o padrão de precipitação sobre o país ainda não é bem definido, fazendo com que muitas questões fiquem sem respostas. Um exemplo disso foi o efeito da seca registrada na Amazônia entre 2005 e 2006. No entender de Marengo et al. (2008), esse tipo de evento acontece uma vez a cada século, porém, em 2010 voltou a ocorrer outra seca de magnitude comparável a de 2005, que também afetou outras áreas da Amazônia (LEWIS et al., 2011). Isso reforça a tese de que eventos extremos se tornarão mais frequentes e intensos em uma mudança climática futura (COX et al., 2008).

Diante do exposto acima, a motivação do presente trabalho foi realizar um estudo exploratório das séries temporais anuais de temperaturas e da precipitação pluviométrica em cidades espalhadas pelo Brasil. Procurou-se verificar e analisar as eventuais variabilidades dessas séries, visando inferir as ocorrências de tendências e, por meio da aplicação de testes estatísticos específicos, verificar em que momento esse evento passou a ser registrado. Ao realizar esses procedimentos, aliados aos diferentes mapas das distribuições de tendências de cada grandeza climática de interesse, procurou-se na medida do possível, examinar se os eventos detectados estavam relacionados aos fatores antropogênicos ou se foram provocados pelas mudanças climáticas em escala global.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a presença de tendências e rupturas em séries temporais relativas aos índices anuais das precipitações pluviométricas (*Prec.*) e das temperaturas mínima (*T-Mín.*), média (*T-Méd.*) e máxima (*T-Máx.*) registradas em cidades localizadas no território brasileiro a partir dos dados históricos selecionados em bancos de dados climatológicos. Para tanto, aplicou-se às variáveis climáticas testes estatísticos paramétricos e não paramétricos no intuito de procurar indícios de alterações bruscas em cada série. Esses procedimentos foram utilizados na tentativa de se realizar um estudo exploratório da localização de eventuais mudanças e de verificar se estas mudanças estão relacionadas à origem natural ou antrópica.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Área de estudo

O Brasil possui uma área de aproximadamente 8.515.767,0 km², estando localizado entre as longitudes -75° e -35°, e latitudes +5° e -30°. Possui 5.569 municípios, além do Distrito Federal, que estão espalhados em cinco regiões políticas: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul (IBGE, 2010). Dessas, a maior em extensão é a Região Norte, com 3.869.637,9 km², o que equivale a 45,2% do território brasileiro, e a menor é a Região Sul, com 575.316,0 km², correspondendo a 6,8% do território nacional.

Para a presente pesquisa foram utilizados os dados históricos selecionados a partir das estações meteorológicas do INMET, espalhadas no território brasileiro. Esses dados, que correspondem as séries temporais, estão disponíveis no endereço eletrônico daquele Instituto (www.inmet.gov.br). A Figura 1 destaca as cinco regiões políticas brasileiras e as posições das estações de onde foram extraídos os dados aqui tratados. Os círculos em branco representam as estações que não foram tratadas no presente estudo. No total foram selecionadas 244 cidades, sendo 25 capitais dos estados. Ressalta-se que as capitais Campo Grande (MS) e Porto Velho (RO) não possuem estações medidoras do INMET e, conseqüentemente, não fazem parte do levantamento climático aqui abordado.

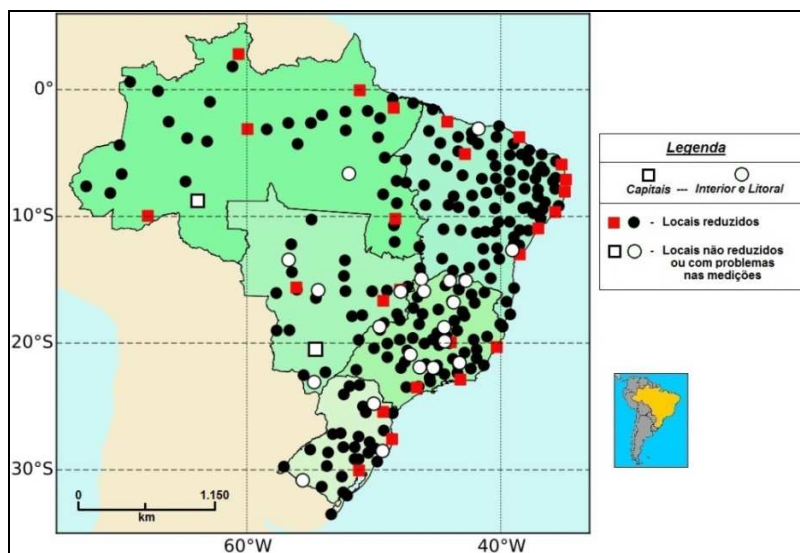


Figura 1 – Localização das cidades com estações medidoras pertencentes ao INMET selecionadas para o presente estudo visando à detecção de tendências climáticas.

Atualmente, o INMET possui 291 estações medidoras convencionais em atividade distribuídas pelo país. Desta forma, o levantamento realizado corresponde a 83,85% do total de estações, sendo que 40 (16,39%) encontram-se na Região Norte, 93 (38,11%) no Nordeste, 26 (10,66%) no Centro-Oeste, 56 (22,95%) no Sudeste, 29 (11,89%) no Sul. Essas diferenças se justificam devido às dimensões, às quantidades de ocupações urbanas e às características geográficas intrínsecas de cada região política (INMET, 2014).

No endereço eletrônico do INMET estão disponibilizadas, dentre outras informações, as medidas de temperatura mínima e máxima, além da precipitação pluviométrica. Nestes termos, a temperatura média do ar foi obtida a partir do cálculo da média entre a temperatura mínima e máxima medida a cada dia. Além disso, ressalta-se que o período estudado de cada série temporal depende da disponibilidade dos dados da estação medidora que está sendo levada em consideração. Não obstante, durante o processo de organização das séries temporais, foram eventualmente observadas falhas nos dados medidos. Em alguns casos, meses e até mesmo anos não possuem medições, o que acarretou num corte no período da série a ser reduzida. Neste sentido, é importante salientar as questões envolvidas na qualidade dos dados meteorológicos, visto que podem comprometer seriamente os resultados de muitas pesquisas baseadas em pressupostos corretos e elaborados com grande sofisticação matemática.

Também deve ser considerado que podem existir outros problemas nas medições, como a descontinuidade espacial e temporal dos dados, a má distribuição das estações medidoras, as dificuldades em se manter equipamentos em áreas perigosas ou inóspitas, a eventual mudança dos equipamentos para locais bem diferentes das condições iniciais, além da falta de verba para a instalação ou manutenção dos mesmos. Isso explica o fato de cada localidade apresentar um período de estudo diferenciado e a presença de grandes regiões com ausência de estações medidoras na Figura 1.

3.2. Testes estatísticos

Após a realização da análise exploratória de uma determinada série temporal, é conveniente que a presença de tendência, ou mudança abrupta, seja observada graficamente e analisada mediante testes estatísticos que possam avaliar o grau de significância desta alteração. Diante desse contexto, muitos métodos estatísticos podem ser utilizados, sendo que a escolha de cada um deles dependerá do tipo de mudança que é de interesse

no estudo, do conhecimento ou desconhecimento do ponto de mudança na série e das suposições feitas para cada amostra de dados.

No entender de Naghettini e Pinto (2007), os testes estatísticos podem ser classificados em paramétricos e não paramétricos. Diz-se que um teste é paramétrico se os dados amostrais, por premissa, são obtidos a partir de uma população normal conhecida. Em contrapartida, um teste não paramétrico é aquele que não necessita de especificação prévia do modelo distributivo da população, sendo formulado com base em características da amostra como, por exemplo, ordens de classificação ou número de diferenças positivas ou negativas entre os dados trabalhados.

Cada série temporal dos parâmetros climáticos considerados nesta pesquisa foi submetida aos métodos paramétricos, como o teste da Análise de Regressão Linear, e não paramétricos, como os testes de Mann-Kendall e de Pettitt, cujas formulações são descritas sucintamente a seguir.

3.2.1. Teste da análise de regressão linear

Utilizou-se a Análise de Regressão Linear para verificar o comportamento da variabilidade de uma determinada série temporal por meio da significância do coeficiente angular “ a ” de uma reta ajustada as medições. Para tanto, realizou-se o cálculo das médias móveis empregando ordem cinco aos dados e, em seguida, trabalhou-se com uma suavização dos dados visando evitar ou minimizar possíveis flutuações dos mesmos.

Esse teste permite verificar alterações de um determinado parâmetro climático por meio da significância do coeficiente angular, assim: $a > 0$ significa que a série possui tendência crescente; $a < 0$ indica que a tendência é decrescente e caso $a \approx 0$ interpreta-se um comportamento estável para a série avaliada. Ao realizar esse procedimento o valor do coeficiente de determinação (R^2) é devolvido como uma medida da qualidade do ajuste efetuado, assim como o intervalo de confiança em 95% acima e abaixo do valor estimado do coeficiente angular da reta de regressão.

3.2.2. Teste de Mann-Kendall

O teste sequencial de Mann-Kendall (MK) é uma análise estatística não paramétrica que considera a hipótese de estabilidade de uma série cuja sucessão de valores ocorre de forma independente, sendo que a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma, isto é, uma série aleatória simples (SNEYERS, 1975).

Neste teste, considera-se uma série temporal da variável de interesse Y_i com N termos, sendo $1 \leq i \leq N$. Realiza-se a soma $t_n = \sum_{i=1}^N m_i$ do número de termos m_i da série, relativo ao valor Y_i cujos termos precedentes ($j < i$) são inferiores ao mesmo ($Y_j < Y_i$). Testa-se a significância estatística de t_n para a hipótese nula e, usando um teste bilateral, esta pode ser rejeitada para grandes valores da estatística $U(t_n)$, fornecida pela equação:

$$U(t_n) = \frac{(t_n - E(t_n))}{\sqrt{Var(t_n)}} \quad \text{Equação 1}$$

Um valor positivo de $U(t_n)$ indica uma tendência de aumento da variável, enquanto que um valor negativo indica uma tendência de decréscimo, desde que significativos ao nível de $\pm 5\%$ e $\pm 10\%$ (PINHEIRO et al., 2013).

O ponto de início de uma mudança na série pode ser determinado aplicando-se o mesmo princípio à série inversa. De forma análoga, porém no sentido inverso da série temporal original, ao partir do valor $i = N$ até $i = 1$, gera-se a estatística inversa $U^*(t_n)$. A intersecção das curvas estatísticas $U(t_n)$ e $U^*(t_n)$ fornece a localização do ponto aproximado de mudança de tendência. Entretanto, isso apenas será significativo caso este ponto ocorra dentro do intervalo de significância bilateral, isto é, entre de $\pm 1,65$ e $\pm 1,96$.

3.2.3. Teste de Pettitt

O teste de homogeneidade de Pettitt (Pet) verifica se duas amostras Y_1, \dots, Y_t e Y_{t+1}, \dots, Y_T são pertencentes à mesma população (PETTITT, 1979). Trata-se de um teste estatístico que identifica o ponto de

descontinuidade de uma série temporal. Neste caso, a estatística $u_{t,T}$ é realizada por meio de uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que um membro da segunda amostra, o que pode ser escrita de acordo com a equação:

$$u_{t,T} = u_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(Y_i - Y_j); \quad t = 2, \dots, T \quad \text{Equação 2}$$

em que: $\text{sgn}(x)=1$ para $x > 0$; $\text{sgn}(x)=0$ para $x = 0$ e $\text{sgn}(x)=-1$ para $x < 0$.

A partir desta prerrogativa a estatística $u_{t,T}$ é então calculada para valores de $1 \leq t \leq T$ e, na sequência, obtém-se a estatística $K(t)$ do teste por intermédio do máximo valor absoluto de $u_{t,T}$. É com o valor máximo de $K(t)$ que se localiza o ponto t em que ocorre a mudança brusca na média da série temporal, sendo que sua significância pode ser avaliada por intermédio da equação:

$$p \cong 2 \cdot e^{\left(\frac{-6 \cdot K(t)^2}{T^3 - T^2}\right)} \quad \text{Equação 3}$$

Além do ponto de mudança brusca t , ao realizar a inversão da equação anterior é possível inferir os valores críticos (mínimo ou máximo) de $K(t)$ usando a equação:

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

Neste teste os níveis de significância da mudança foram também estimados para $\pm 5\%$ e $\pm 10\%$ do valor de $K_{crit.}$.

Maiores detalhes desses testes podem ser obtidos em Sansigolo e Nery (2000). No entender desses autores, os dois testes descritos acima são os melhores procedimentos não paramétricos de análises em séries temporais visto que possuem um maior embasamento estatístico para modelos teóricos de descrição climática. Eles devem ser utilizados de forma combinada, isto é, realizando análises gráficas e numéricas em conjunto para que se possa identificar e localizar quando passou a existir uma tendência na série (SANSIGOLO; NERY, 2000).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir serão apresentados alguns resultados estatísticos em forma gráfica, além de mapas contendo as distribuições de tendências inferidas até o presente momento nesta pesquisa.

4.1. Resultados estatísticos

Foram realizados os cálculos dos ajustes da linha de tendência e Análise de Regressão Linear utilizando as médias móveis e suavizações de todas as séries temporais informadas das localidades mostradas, em círculo preto, na Figura 1. Posteriormente, com o intuito de constituir uma ferramenta adicional de interpretação estatística, foram gerados os gráficos das variabilidades das séries visando identificar as características e peculiaridades de cada uma, tais como a eventual existência de heterogeneidades e mudanças abruptas.

Devido ao espaço dedicado a este trabalho, uma ênfase maior foi dada aos resultados das aplicações dos métodos estatísticos de MK e de Pet. A título de exemplificação, algumas formas gráficas desses testes são mostradas nas Figuras 2 e 3 e analisadas sequencialmente. Ressalta-se que as linhas horizontais tracejadas e pontilhadas referem-se os intervalos (para o teste de MK, abaixo da figura e em preto) e os níveis (para o teste de Pet, acima da figura e em vermelho) de confiança de $\pm 5\%$ a $\pm 10\%$, respectivamente.

No intuito de estabelecer um critério que expressasse os resultados dos dois testes, utilizou-se a seguinte convenção: os sinais (+) e (-) para tendência positiva e negativa, respectivamente, quando esta for igual ou estiver acima de 10% do intervalo de confiança bilateral. Um sinal (?) foi adotado caso não houvesse condições de confirmar tendência na série avaliada.

A Figura 2 mostra os gráficos relativos aos comportamentos medidos pelos testes não paramétricos para os dados de $T-Máx.$ e $T-Mín.$, respectivamente, nas cidades de Boa Vista (RR) e Salvador (BA).

A variável climática $T-Máx.$ em Boa Vista, com dados entre 1993 e 2013 mostrados na Figura 2A, revelou tendência de aumento a partir de 2002 naquela localidade. Isso se justifica porque ocorreu o cruzamento das curvas $U(t_n)$ e $U^*(t_n)$ do teste MK entre os intervalos de confiança em 2002. Não obstante, o ponto de mudança brusca de $K(t)$ no teste de Pet. cruzou os limites críticos estabelecidos de 5% e 10% também nesta data.

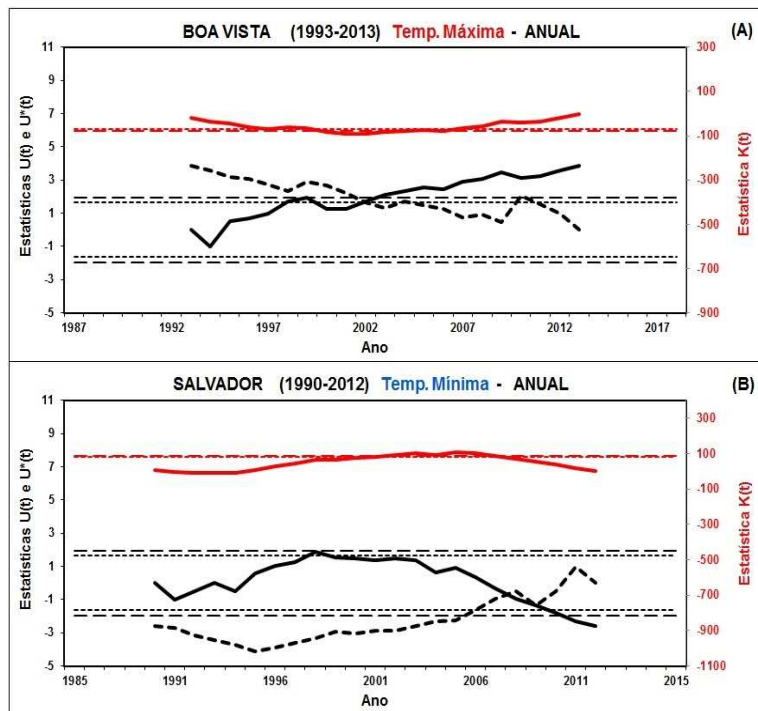


Figura 2 – Exemplos de resultados encontrados nas estatísticas de MK (inferior e em preto) e de Pet (superior em vermelho) para as medidas de: (A) $T-Máx.$ em Boa Vista (RR) e (B) $T-Mín.$ em Salvador (BA).

De maneira análoga para variável $T-Mín.$ em Salvador no período de 1990 a 2012, os testes de MK e de Pet (Figura 2B) confirmaram o registro de tendência, porém negativa e a partir de 2005. Isso se deve porque, como se verifica no gráfico inferior da figura, ocorreu o cruzamento das curvas estatísticas $U(t_n)$ e $U^*(t_n)$ entre os intervalos de confiança em 2008, enquanto que curva $K(t)$, mostrada no gráfico superior da mesma figura, cruzou os dois níveis de confiança com o máximo inferido em 2005. Em que pese essas datas estarem defasadas em três anos uma da outra, optou-se por confirmar que existe tendência negativa nessa série temporal a partir de 2005, isto é, considerou-se a data inferida pelo teste de Pet por ser um método estatístico melhor elaborado para esse tipo de análise e definição da data de ocorrência de tendência.

Seguindo os mesmos procedimentos de análises realizadas anteriormente, a Figura 3 revela os gráficos dos comportamentos medidos para as variáveis climáticas de $T-Méd.$ e $Prec.$ nas cidades de Goiânia (GO) e Franca (SP), respectivamente.

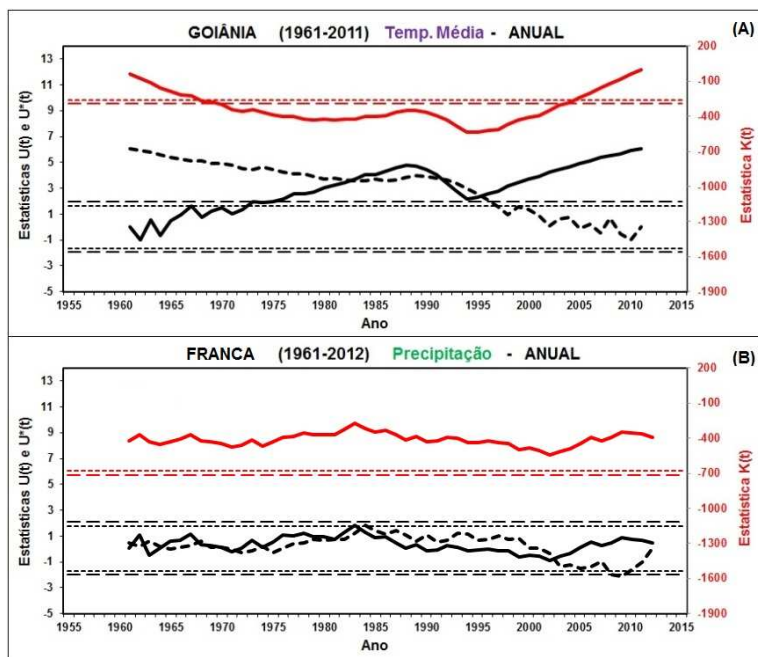


Figura 3 – O mesmo que a Figura 2, porém para as medidas de: (A) $T-Méd.$ em Goiânia (GO) e (B) $Prec.$ em Franca (SP).

Para as medidas de $T-Méd.$ em Goiânia (Figura 3A), ao contrário do que a princípio se esperava, nenhuma tendência pode ser atribuída no período de 1961 a 2011, pois em nenhum momento ocorreu um cruzamento das curvas estatísticas do teste MK entre os intervalos de confiança, apesar da curva do teste de Pet ter cruzado os dois níveis de confiança com o máximo registrado em 1994. Sendo assim, fica difícil afirmar com segurança que exista tendência na série temporal climática de $T-Méd.$ daquela cidade.

Para as medidas de $Prec.$ registradas em Franca entre 1961 e 2012 (Figura 3B), nenhuma tendência pode ser confirmada.

Neste caso observa-se que, ao aplicar os testes estatísticos, ocorreram vários cruzamentos das curvas $U(t_n)$ e $U^*(t_n)$ entre os intervalos de confiança e, além disso, a curva $K(t)$, mostrada no gráfico superior da figura, em nenhum momento cruzou um dos níveis de confiança de $\pm 5\%$ e $\pm 10\%$. Em decorrência disso fica descartada a existência de tendência no índice de chuva para essa cidade.

Por intermédio de análises das formas gráficas envolvendo os testes de MK e de Pet, como mostrados nos exemplos anteriores, todos dados provenientes das estações do INMET tratadas neste levantamento foram organizados e tabelados. Devido a grande quantidade de informações numéricas obtidas, decidiu-se elaborar mapas das distribuições espaciais de tendências das variáveis climáticas em território brasileiro, como os apresentados nas Figuras 4 e 5. Cada mapa corresponde a uma determinada grandeza trabalhada, sendo possível, por meio de uma análise superficial, identificar os locais onde se detectaram tendências crescentes (+) e decrescentes (-) no nível de significância avaliado de 10%, segundo a legenda apresentada ao lado direito de cada figura mostrada adiante.

4.2. Mapas de tendências

Como antes comentado, as distribuições espaciais das tendências climáticas estão mostradas a partir da Figura 4 para as 244 cidades tratadas neste levantamento. O mapa da Figura 4A revela a distribuição espacial da $T-Mín.$

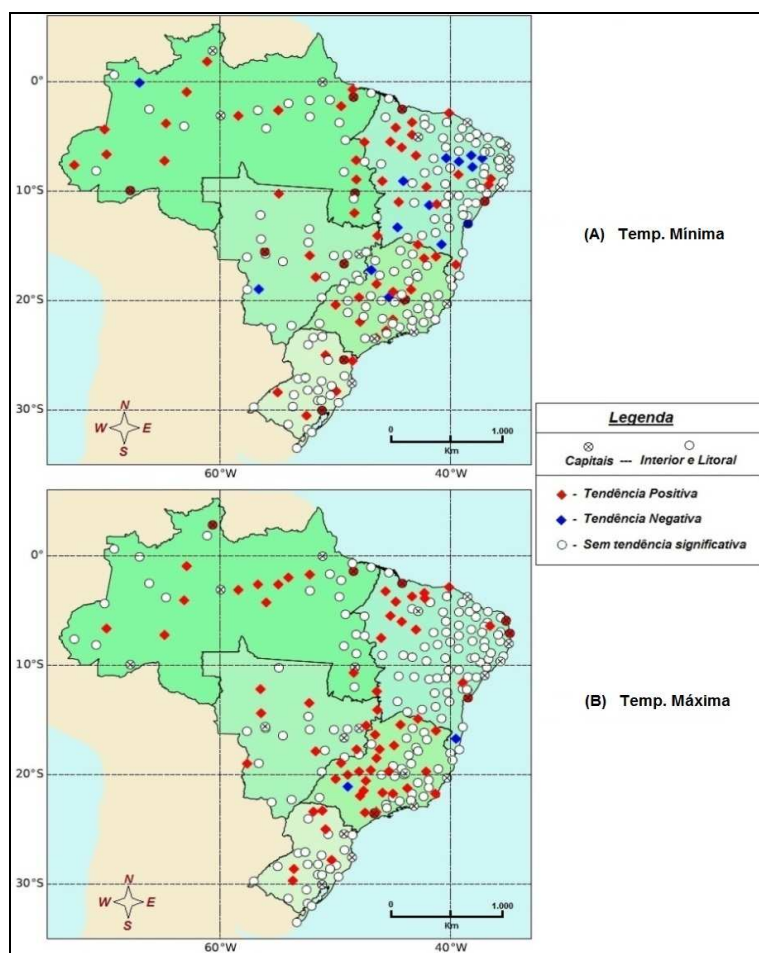


Figura 4 – Mapas de tendências climáticas detectadas no Brasil com os dados do INMET para: (A) $T-Mín.$ e (B) $T-Máx.$

Destacam-se nesta figura as 64 cidades com registros de tendências de aumento dessa variável, o que corresponde a 26,23% das localidades analisadas. A Região Nordeste foi a que apresentou o maior número de casos (20), seguida pelas Regiões Norte (18), Sudeste (14), Centro-Oeste (6) e Sul (6). Detectaram-se tendências negativas em 14 cidades, o que corresponde a 5,74% das localidades analisadas. A Região Nordeste foi a que apresentou o maior número de casos (10), seguida pelas Regiões Sudeste (2), Norte (1), Centro-Oeste (1) e a Região Sul que não registrou nenhum local. Em 166 cidades analisadas, o que equivale a 68,03% do total, não ocorreu à comprovação de tendência na $T-Mín.$ Por meio de uma simples análise do mapa percebe-se a maior parte das tendências detectadas, seja positiva ou negativa, localizam-se no interior

do país, excetuando-se algumas cidades localizadas próximas ou no litoral das Regiões Nordeste e Sul. Ausências de tendências na da *T-Mín.* foram identificadas de maneira espalhada por toda nação, particularmente nas proximidades das regiões costeiras.

Quanto à distribuição espacial do parâmetro climático *T-Máx.* mostrado no mapa da Figura 4B, foram encontrados 70 locais (28,69%) com evidências de tendência positiva, sendo a Região Sudeste a que apresentou o maior número de casos (24), seguida das Regiões Norte (16) e Nordeste (16), depois o Centro-Oeste (8) e Sul (6). Foram poucas as localidades onde se registrou tendência negativa na *T-Máx.*, destacando apenas dois casos (0,82%), nas Regiões Nordeste, ao sul da Bahia (Caratinga), e Sudeste, no interior de São Paulo (Catanduva). Foram identificadas 172 cidades (70,49%) que não acusaram indícios de tendências para essa variável climática, tendo como destaque o Nordeste, a porção norte do Sudeste e o Sul brasileiro. A maioria das tendências positivas foi detectada das Regiões Sudeste e Norte, além da porção oeste do Nordeste.

De forma semelhante ao registrado para as tendências da *T-Máx.* o mesmo ocorreu com a variável climática *T-Méd.* A Figura 5A revela esse comportamento, destacando-se que 71 cidades acusaram tendências de aumento na *T-Méd.*, o equivalente a 29,10% dos municípios abordados nessa pesquisa. O Norte brasileiro, com 23 locais, foi a região que apresentou o maior número de casos. Na sequência aparece o Sudeste (22), seguido pelo Nordeste (13), o Centro-Oeste (7) e o Sul (6). Em relação às tendências negativas, seis cidades (2,46%) apresentaram essa característica, o que corresponde a 2,46% das localidades envolvidas nesse levantamento. Com quatro casos, a Região Nordeste foi a que apresentou o maior número, seguida de um local no Sudeste e outro no Centro-Oeste. Em 167 municípios, 68,44% do total avaliado, não se identificou tendência na *T-Méd.* Na sequência decrescente dessa ausência de tendência aparece o Nordeste (76), Sudeste (34), Sul (23), Centro-Oeste (17) e Norte (17). O mapa de distribuição de tendências da Figura 5A revela as semelhanças nas distribuições das tendências positiva (em vermelho) e ausência de tendência (em branco), quando comparado ao da Figura 4B. Novamente, constata-se que a maior parte de tendência positiva detectada localiza-se no interior do país. As ausências de tendências de *T-Méd.* são mais evidentes por todo território brasileiro, particularmente nas Regiões Centro-Oeste, Nordeste, Sul e Sudeste, destacando-se nessas três últimas localidades próximas das regiões costeiras.

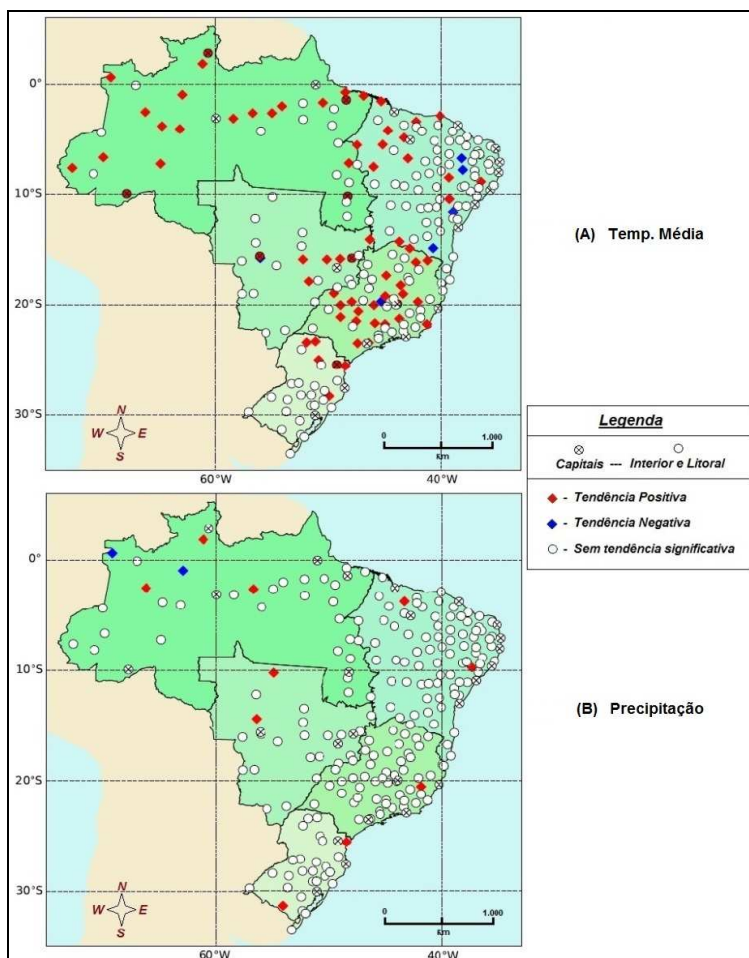


Figura 5 – O mesmo que a figura anterior, mas para: (A) *T-Méd.* e (B) *Prec.*

No que se refere ao índice de chuva, é possível constatar através do mapa da Figura 5B que esta foi a variável climática que mais acusou ausência de tendência, pois foram 232 locais, que representam 95,08% das cidades tratadas nesse levantamento. Neste contexto, destaca-se, por ordem decrescente do número de municípios, a Região Nordeste com 91, acompanhada do Sudeste com 55, do Norte com 35, do Sul com 27 e do Centro-Oeste com 24 locais. Aumentos de *Prec.* foram registrados em 10 cidades (4,10%), estando o maior número de locais registrados na Região Norte com 3 casos, logo após encontram-se, com dois locais cada, no Centro-Oeste, no Nordeste e o Sul, seguido pelo Sudeste com apenas uma localidade. As diminuições de chuvas foram detectadas em apenas duas cidades (0,82%) da Região Norte, nas cidades de Barcelos (AM) e Iauaretê (AM).

A Tabela 1 foi elaborada no sentido de apresentar um resumo das informações discutidas anteriormente. Nela está contida a convenção de sinal adotado nas identificações e análises para tendência negativa (-), positiva (+) ou ausência (?) da mesma.

Tabela 1– Número de localidades estudadas em cada região política do Brasil classificadas quanto à tendência climática identificada pelos testes estatísticos de MK e Pet. aplicados em cada variável climática abordada neste estudo.

Região Política	Temp. Mínima			Temp. Máxima			Temp. Média			Precipitação		
	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)
<i>Norte</i>	1	18	21	0	16	24	0	23	17	2	3	35
<i>Nordeste</i>	10	20	63	1	16	76	4	13	76	0	2	91
<i>Centro-Oeste</i>	1	6	19	0	8	18	1	7	17	0	2	24
<i>Sudeste</i>	2	14	40	1	24	31	1	22	34	0	1	55
<i>Sul</i>	0	6	23	0	6	23	0	6	23	0	2	27
TOTAL	14	64	166	2	70	172	6	71	167	2	10	232

As análises desenvolvidas anteriormente mostram que o clima do território brasileiro, assim como em outras partes do planeta, é muito complexo, pois envolve controles internos e externos ao sistema terra-atmosfera-oceano, não sendo um aval para os seres humanos, como tem feito nas últimas décadas, em particular no Brasil, degradar o meio ambiente. Ao contrário, e em consonância com Zanquim Júnior e colaboradores, considerando que o aumento populacional nas próximas décadas é inevitável, sugere-se a adoção de políticas de conservação ambiental bem elaborada e mudanças nos hábitos de consumo para que as gerações futuras possam dispor dos recursos naturais que se dispõem atualmente (ZANQUIM JR. et al., 2015).

Uma possível explicação para as tendências detectadas nas variáveis climáticas deste levantamento parece estar relacionada às características geográficas de cada região. Adicionalmente, deve-se reconhecer que a mudança na concepção da vida rural para a vida urbana proporcionou um desenvolvimento econômico-social e permitiu os avanços tecnológicos vivenciados. Porém, essa gama de elementos impulsionou crises ambientais, em especial nas regiões próximas de centros urbanos.

O presente trabalho ainda está em andamento e, portanto, está longe de poder fechar um quadro conclusivo do quanto às interferências antropogênicas têm influenciado no clima do Brasil. Mas, em princípio, pode-se conjecturar que alguns municípios avaliados já estão sentindo essas influências, em particular no que se refere ao quesito temperaturas (FIALHO; SOUZA, 2007). Os mapas das Figuras 4A, 4B e 5A refletem bem esse aspecto, visto que, como citado anteriormente, os aumentos registrados nas temperaturas aqui avaliadas podem ter sido causados pelos elevados graus de desmatamentos e queimadas, assim como devido ao expansionismo urbano, desenvolvimento industrial e adensamento populacional de várias cidades brasileiras.

5. CONCLUSÕES

Com referência aos parâmetros climatológicos explorados por meio dos métodos aplicados neste trabalho, as análises gráficas e tabulares das estatísticas paramétricas e não paramétricas apresentam concordância entre seus resultados, indicando que esses testes podem ser empregados nos estudos de tendências de séries temporais.

Conclui-se que, em termos gerais, os resultados indicam ausência de tendência no índice de precipitação pluviométrica. Em contra partida, identificou-se tendências de aumento nas temperaturas (mínima, média e máxima) nas Regiões Norte e Sudeste, em especial em cidades que nas últimas duas

décadas acompanharam um aumento da zona urbana, seguido de desmatamentos e desenvolvimento agropecuário e industrial.

Desta forma, percebe-se que, dentro dos limites impostos e de acordo com a quantidade de séries temporais tratadas neste levantamento, a ocorrência do aumento de tendência é mais significativa e sensível para as temperaturas. Buscar justificativas e explicações para ocorrências destas tendências nos municípios brasileiros, devido às ações do homem (influências antropogênicas) ou causadas pela variabilidade natural do clima, serão as próximas etapas desse estudo.

Sendo assim, pelos resultados apresentados anteriormente, ainda é difícil fechar um quadro conclusivo do quanto as mudanças antropogênicas têm influenciado no clima das cinco regiões políticas do Brasil.

Finalmente, pode-se dizer que os resultados apresentados neste trabalho chamam a atenção para os cuidados que se deve ter ao apontar que as causas das catástrofes naturais observadas atualmente em várias cidades brasileiras são devidas às alterações climáticas. Neste contexto, pode-se citar o aumento de tempestades e enchentes, secas prolongadas, dentre outras. Isso é decorrente da complexidade em dissociar essas alterações às variações naturais do clima. No entanto, apesar das incertezas associadas às mudanças climáticas e, conseqüentemente, aos impactos dessas possíveis alterações do clima em séries temporais, como apresentado e discutido anteriormente, estudos dessa natureza são relevantes e oportunos para auxiliar os gestores municipais no cenário atual de intenso questionamento e debate das questões ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TENK, A. M. G.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; RUPA KUMAR, K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VICENT, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 111, Issue D5, 16, doi: 10.1029/2005JD006290, 2006.
- COX, P. M.; HARRIS, P. P.; HUNTINGFORD, C.; BETTS, R. A.; COLLINS, M.; JONES, C. D.; JUPP, T. E.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution, **Nature**, v. 453, p. 212-215, 2008.
- DEBERTOLI, N.; DUBREUIL, V.; DELAHAYE, F.; FILHO RODRIGUES, S. Análise temporal do período chuvoso na Amazônia Meridional brasileira (1971-2010). **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 1, n. 5, p. 382-394, 2012.
- FIALHO, E. S.; SOUZA, J. J. L. L. Utilização do clima no planejamento como reflexo das condições ambientais nos centros urbanos. **Revista Acta Geográfica**, ano I, n. 2, p. 29-41, 2007.
- GROppo, J. D.; MORAES, J. M.; BEDUSCHI, C. E.; MARTINELLI, L. A. 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. 2, p. 181-193, 2005.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico de 2010**. Disponível em: <www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>. Acessado em: 11/03/2015.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados para Pesquisa e Ensino (BDMEP)**. Disponível em: <<http://inmet.gov.br>> Acesso em: 09 fev. 2014.
- LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, G. M. F.; NEPSTAD, D. The 2010 Amazon drought. **Science**, v. 331, n. 6017, p. 554-554, 2011.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J. The drought of Amazonia in 2005. **Journal Climate**, v. 21, p. 495–516, 2008.
- NAGHETTINI, M. C.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: Serviço Geológico do Brasil (C-PRM), 561p., 2007.
- PBMC – PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – **Sumário Executivo**: Volume Especial - Primeiro Relatório de Avaliação Nacional - 2012. Disponível em: <<http://ebookbrowse.com/sumario-executivo-vol1-pbmc-final-pdf-d367895824>> Acesso em: 08 jun. 2014.
- PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistics**, v. 28, n. 2: p. 126-135, 1979.
- PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Tendência das series temporais de precipitação da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 281-290, 2013.
- SANSIGOLO, C. A.; NERY, J. T. Distribuição de extremos de temperatura mínima no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 2, p. 247-253, 2000.
- SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des series d'observations. **Note Technique**, No. 143, Organisation Météorologique Mondial, n. 415, 192 p., 1975.
- ZANQUIM JR. J. W.; MORAES, A. P. H.; MORAES, F. T.; MELNICKY, E. C. C. **Danos ambientais urbanos e instrumentos de solução dos conflitos**. In: OLIVEIRA, C. M. (Org.) **Novos Direitos – cidades em crise?** São Carlos: RiMa Editora, p. 175-188, 2015.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas) por fornecer os meios necessários para realização desse trabalho. Agradecemos ainda ao INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – pela disponibilização dos dados utilizados.