

## TENDÊNCIAS DE INSOLAÇÃO, TEMPERATURA MÉDIA E PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NO INVERNO E VERÃO DO BRASIL

Insolation trends, average temperature and rainfall in winter and summer of Brazil

Tendencias de la insolación, temperatura media y precipitación pluviométrica en invierno y verano de Brasil

Júlio César Penereiro

Observatório municipal de Campinas Jean Nicolini

[jcpenereiro@yahoo.com.br](mailto:jcpenereiro@yahoo.com.br)

Denise Helena Lombardo Ferreira

Pontifícia Universidade Católica de Campinas

[lombardo@puc-campinas.edu.br](mailto:lombardo@puc-campinas.edu.br)

Anna Badinger

Pontifícia Universidade Católica de Campinas

[anna.b@puccampinas.edu.br](mailto:anna.b@puccampinas.edu.br)

### Resumo

Neste trabalho foram identificadas e analisadas tendências em séries temporais anuais dos meses de junho e dezembro entre 1961 e 2017, em medidas de insolação, temperatura média do ar e precipitação pluviométrica, observadas em 224 localidades pertencentes aos biomas do Brasil. As detecções e análises foram realizadas aplicando os testes estatísticos de Mann-Kendall e de Pettitt. Os resultados estatísticos permitiram verificar que, em todos os biomas brasileiros, a maioria dos locais avaliados não acusou tendência significativa na precipitação pluviométrica. No entanto, as maiores quantidades de tendências positivas nas temperaturas média e insolação foram observadas no verão na Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, enquanto que para a precipitação pluviométrica, as maiores quantidades de tendências foram observadas durante o inverno na Mata Atlântica. Tendências negativas foram observadas na insolação e temperaturas média durante o inverno, especialmente na Mata Atlântica e Caatinga. Presume-se que essas tendências podem estar relacionadas aos eventos El Niño e La Niña, assim como às interferências humanas.

**Palavras-chave:** Testes Estatísticos, Mudanças Climáticas, Influência Solar, Biomas Brasileiros.

### Abstract

In this work trends were identified and analyzed in annual time series from June to December between 1961 and 2017, in measures of insolation, average air temperature and rainfall, observed in 224 localities belonging to the biomes of Brazil. The detections and analyzes were performed using the Mann-Kendall and Pettitt statistical tests. Statistical results showed that, in all Brazilian biomes, most of the evaluated sites did not show a significant trend in rainfall. However, the highest amounts of positive trends in average temperatures and insolation were observed during summer in the Amazônia, Cerrado and Mata Atlântica, while for rainfall, the highest amounts of trends were observed during winter in the Atlantic Forest. Negative trends were observed in insolation and average temperatures during winter, especially in the Mata Atlântica and Caatinga. It is assumed

that these trends may be related to El Niño and La Niña events, as well as human interference.

**Keywords:** Statistical Tests, Climate Changes, Solar Influence; Brazilian Biomes.

### **Resumen**

En este trabajo se identificaron y analizaron tendencias en series temporales anuales de junio a diciembre entre 1961 y 2017, en medidas de insolación, temperatura promedio del aire y precipitación pluviométrica, observadas en 224 localidades pertenecientes a los biomas de Brasil. Las detecciones y los análisis se realizaron utilizando las pruebas estadísticas de Mann-Kendall y Pettitt. Los resultados estadísticos mostraron que, en todos los biomas brasileños, la mayoría de los sitios evaluados no mostraron una tendencia significativa en la precipitación pluviométrica. Sin embargo, las mayores cantidades de tendencias positivas en las temperaturas medias y la insolación se observaron en verano en el Amazônia, Cerrado y Mata Atlântica, mientras que para la precipitación pluviométrica, las mayores cantidades de tendencias se observaron durante el invierno en el la Mata Atlântica. Se observaron tendencias negativas en la insolación y las temperaturas promedio durante el invierno, especialmente en el la Mata Atlântica y Caatinga. Se supone que estas tendencias pueden estar relacionadas con los eventos de El Niño y La Niña, así como con la interferencia humana.

**Palabras clave:** Test Estadístico, Cambio Climático, Influencia Solar, Biomas del Brasil.

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as variações climáticas na superfície da Terra, além das causas que provocaram esses eventos, têm sido amplamente pesquisadas. Neste contexto, o Quinto Relatório Científico do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), retrata que o aumento da temperatura atmosférica é inequívoco, pois desde a década de 1970 são observadas variações nos padrões climáticos globais. Este documento relata também que a temperatura média da atmosfera tem aumentado em quase todo o mundo, com incrementos de até 25 °C entre 1901 a 2012 (IPCC, 2013).

Existem muitas controvérsias a respeito da influência dos seres humanos sobre o clima terrestre, mas presume-se que uma parte das variabilidades climáticas identificadas é devido ao aquecimento global observado (TOLEDO, 2013; IPCC, 2013), além das interferências promovidas pelas pessoas no ambiente, tais como: a crescente urbanização sem planejamento adequado do uso do solo (ZHENMEI et al., 2008), degradações de florestas e dos recursos hídricos no que tange aos aspectos quantitativos e qualitativos (GROPPO et al., 2005; ANA, 2013), dentre outros fatores.

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar e identificar possíveis tendências significativas em séries temporais de insolação, temperatura média do ar e de precipitação pluviométrica, empregando os dados meteorológicos observados nos meses de junho e dezembro no período de 1961 até 2017, em cidades localizadas nos biomas do Brasil, além de analisar nesses períodos, por meio de mapas, as distribuições espaciais dessas tendências. As identificações de tendências e as datas desses eventos foram realizadas por meio dos testes não paramétricos de Mann Kendall e Pettitt. Os resultados foram analisados no intuito de realizar um estudo exploratório para verificar se as tendências da precipitação e da temperatura média estão relacionadas com a da insolação, ou seja, a quantidade de radiação proveniente do Sol que incide sobre a superfície terrestre.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, sugere-se que as ocorrências de tendências climáticas registradas estejam relacionadas com as características geográficas e as biodiversidades dos biomas brasileiros. Além disso, julga-se que as referidas ocorrências sejam provocadas pelos crescimentos populacionais ocorridos nos centros urbanos, bem como os efeitos dos fenômenos naturais conhecidos cientificamente como El Niño e La Niña (FIRPO; SANSIGOLO; ASSIS, 2012).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

Com aproximadamente 8.515.767,0 km<sup>2</sup>, localizado entre a Longitude Oeste e as Latitudes Norte e Sul, o Brasil possui 5.569 cidades, além do Distrito Federal, espalhadas em seis principais biomas denominados de: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa (IBGE, 2010). Desses, o de maior extensão é o bioma Amazônia, com 4.196.943 km<sup>2</sup>, o que equivale a 49,3% do território brasileiro, seguido do Cerrado, com 2.036.448 km<sup>2</sup> (23,9%), da Mata Atlântica, com 1.110.182 km<sup>2</sup> (13,0%), da Caatinga, com 844.453 km<sup>2</sup> (9,9%), do Pampa, com 176.496 km<sup>2</sup> (2,1%) e do Pantanal, com 150.355 km<sup>2</sup> (1,8%) do território nacional (MMA, 2018).

### Procedimentos metodológicos

No presente estudo foram utilizados dados históricos diários de insolação (*Insol.*), temperatura média do ar (*T-Méd.*) e precipitação pluviométrica (*Prec.*) de estações meteorológicas convencionais pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendendo o período de 1961 a 2017 (INMET, 2018).

O INMET não disponibiliza a *T-méd.* Por conta disso, calculou-se esta variável como a média aritmética diária entre as temperaturas mínima e máxima. As séries submetidas à análise de tendência são a média mensal da *Insol.* e *T-méd.*, além do total mensal para a *Prec.*, para os meses de junho (JUN.) e dezembro (DEZ.). Esses meses foram escolhidos por representarem os máximos de inverno e verão no hemisfério sul da Terra e, conseqüentemente, no Brasil. São os meses em que se registram, respectivamente, os menores valores de temperatura mínima e os maiores valores de temperatura máxima.

O mapa representado pela Figura 1 mostra a distribuição espacial de todas as 266 estações convencionais do INMET existentes até a presente data (INMET, 2018). Neste sentido, o presente estudo analisou um total de 224 localidades contidas nos seis principais biomas do país, sendo que 63 (28,13%) encontram-se no Cerrado, 57 (25,44%) na Mata Atlântica, 51 (22,77%) na Caatinga, 39 (17,41%) na Amazônia, 11 (4,91%) no Pampa e apenas 3 (1,34%) no Pantanal. Essas diferenças se justificam devido às dimensões, às quantidades de ocupações urbanas e às características geográficas intrínsecas de cada bioma brasileiro (MMA, 2018; INMET, 2018).

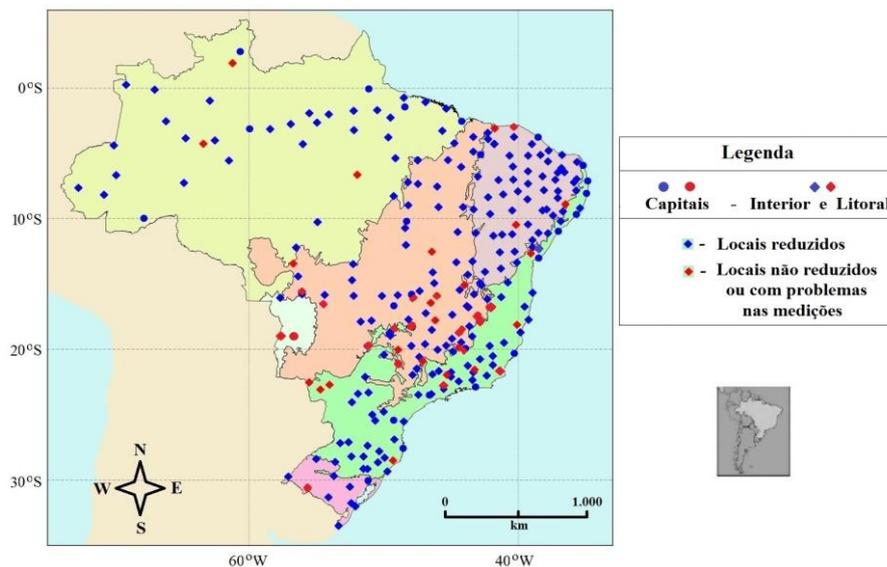


Figura 1. Localização geográfica das estações medidoras convencionais do INMET nos biomas brasileiros.

Fonte: Elaboração dos Autores.

As ocorrências de falhas nas medições de uma determinada série foram corrigidas por meio da média com grau três, isto é, calculando a média dos três dias anteriores ou posteriores, se os mesmos também não estivessem com esses erros. Para os períodos com falhas maiores que três dias, optou-se por calcular a média entre os três meses dos três anos anteriores ou posteriores, conforme cada caso específico. Isso acarretou maior consistência nos dados que foram tratados estatisticamente, também justifica as localidades que não puderam ser tratadas neste trabalho, como pode ser comprovado no mapa da distribuição das estações medidoras do INMET mostrado na Figura 1.

Os dados observados foram organizados e tratados por meio de planilhas elaboradas aplicando o software Microsoft Office Excel. Usando este mesmo software, realizaram-se correções de falhas, cálculos aplicando testes estatísticos visando detectar a ocorrência de tendência dos três parâmetros (*Insol.*, *T-Méd.* e *Prec.*), além da convecção de gráficos e análises estatísticas acuradas, como será apresentado e discutido a seguir.

### Testes Estatísticos

Por serem os testes que possuem maiores embasamentos matemáticos e estatísticos (SANSIGOLO; KAYANO, 2010), optou-se neste estudo por fazer com que cada série temporal fosse tratada pelos testes não paramétricos de Mann-Kendall e de Pettitt.

O teste sequencial de Mann-Kendall (SNEYERS, 1975) pode ser descrito considerando uma dada série temporal  $Y_i$  de  $N$  termos ( $1 \leq i \leq N$ ) a ser analisada. Neste

sentido, o teste consiste em realizar 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 ( $Y_j < Y_i$ ).

Para grande valor de  $N$ , sob a hipótese nula ( $H_0$ ) da ausência de tendência,  $t_n$  apresentará uma distribuição normal com média dada pela Eq. 1 e variância dada pela Eq. 2:

$$E(t_n) = \frac{N(N-1)}{4} \quad (1)$$

$$Var(t_n) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{72} \quad (2)$$

Testando a significância estatística de  $t_n$  para a hipótese nula, usando um teste bilateral, esta pode ser rejeitada para grandes valores da estatística  $U(t_n)$ , fornecida pela Eq. 3:

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

Por meio de uma tabela de distribuição normal padronizada, o valor da probabilidade  $\alpha_1$  é calculado pela Eq. 4:

$$\alpha_1 = prob(|U| > |U(t_n)|) \quad (4)$$

Sendo  $\alpha_0$  o nível de significância do teste (geralmente,  $\alpha_0 = 0,05$ ), a hipótese nula ( $H_0$ ) é aceita se  $\alpha_1 > \alpha_0$ . Se a hipótese for rejeitada, acarretará a existência de tendência significativa, sendo que o sinal de  $U(t_n)$  indicará se a tendência é crescente ( $U(t_n) > 0$ ) ou decrescente ( $U(t_n) < 0$ ).

Na versão sequencial, a equação  $U(t_n)$  é calculada no sentido direto da série, isto é, partindo do valor  $i=1$  até  $i=N$ . Aplicando o mesmo princípio, porém no sentido inverso da série, isto é, partindo do valor  $i=N$  até  $i=1$ , gera-se a estatística inversa  $U^*(t_n)$ . A intersecção das curvas  $U(t_n)$  e  $U^*(t_n)$  corresponde ao ponto aproximado de mudança da tendência procurada, mas apenas a ocorrência for dentro do intervalo de significância bilateral  $\alpha_0 = \pm 0,05$  (em  $\pm 5\%$ ), ou  $\alpha_0 = \pm 0,10$  (em  $\pm 10\%$ ).

O teste de Pettitt (PETTITT, 1979), é um procedimento que verifica se duas amostras  $Y_1, Y_2, \dots, Y_t$  e  $Y_{t+1}, Y_{t+2}, \dots, Y_T$  são pertencentes à mesma população. 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, de acordo com a Eq. 5:

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

(5)

sendo:  $\text{sgn}(Y_i - Y_j) = 1$  para  $Y_i > Y_j$ ;  $\text{sgn}(Y_i - Y_j) = 0$  para  $Y_i = Y_j$  e  $\text{sgn}(Y_i - Y_j) = -1$  para  $Y_i < Y_j$ .

A partir dessa prerrogativa, a estatística  $u_{(t,T)}$  é calculada para valores de  $1 \leq t \leq T$ , e a estatística  $K(t)$  do teste de Pettitt é o máximo valor absoluto de  $u_{(t,T)}$ . A estatística  $K(t)$  localiza o ponto onde houve a mudança brusca na série temporal e a sua significância pode ser avaliada pela relação dada pela Eq. 6:

$$p = 2 \exp\left[-\frac{6(K(t))^2}{(T^3 + T^2)}\right]$$

(6)

O ponto de mudança brusca é conquistado fazendo a inversão da relação anterior, podendo desta forma inferir o valor crítico de  $K(t)$  por meio da Eq. 7:

$$K_{crit.} = \pm \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{p}{2}\right) \cdot (T^3 + T^2)}{6}} \quad (7)$$

Para todos os cálculos envolvendo esse teste, adotaram-se os níveis de significância da mudança em  $\pm 5\%$  a  $\pm 10\%$  usando o valor de  $K_{crit.}$  da série trabalhada.

De acordo com Penereiro et al. (2016), torna-se significativo utilizar os testes de Mann-Kendall e de Pettitt de maneira combinada, isto é, realizando análises gráficas e numéricas em conjunto para que se possa identificar e localizar quando uma possível tendência na série temporal passou a existir com maior precisão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise dos testes estatísticos

Dada a grande quantidade de informações numéricas conquistadas no presente trabalho, pois o número de localidades equivale a 84,21% das 266 estações do INMET,

decidiu-se apresentar apenas alguns dos resultados de séries temporais em forma de gráficos, visando à identificação de características e peculiaridades das mesmas, além de se realizar interpretação estatística de maneira adequada.

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, além dos sinais (+)(+) e (-)(-) se forem iguais ou maiores de 5% do intervalo de confiança bilateral. Um sinal (?) foi adotado caso não houvesse condições de confirmar tendência na série avaliada.

Os gráficos contendo os testes de Mann-Kendall e Pettitt foram representados, respectivamente, por linhas pretas e vermelhas. As linhas horizontais tracejadas e pontilhadas referem-se aos intervalos de confiança  $\pm 5\%$  a  $\pm 10\%$  de cada estatística abordada (PENNEREIRO et al., 2016).

A título de exemplificação, selecionaram-se alguns gráficos dos dois testes estatísticos aplicados, os quais revelam evidências ou não de tendências. Observa-se por meio da Figura 2 que as diferentes formas gráficas dos testes de Mann-Kendall e de Pettitt aplicados às variáveis *Insol.*, *T-Méd.* e *Prec.* revelam muitas possibilidades, que dependem dos comportamentos das curvas estatísticas obtidas devido à distribuição das medições realizadas pelas estações do INMET.

Para a *Insol.* observada em JUN. na cidade de Encruzilhada do Sul (Figura 2A), os testes estatísticos indicaram tendência negativa a partir de 1985. Isso ocorreu devido ao cruzamento das curvas  $U(t_n)$  e  $U^*(t_n)$  entre os intervalos de confiança em 1982 (Figura 2A, inferior), além da curva  $K(t)$  ter apresentado o início de tendência (-)(-) no ano de 1985 (Figura 2A, superior). Apesar dessas datas estarem defasadas, optou-se por confirmar que ocorreu a tendência negativa a partir de 1985, pois o teste de Pettitt é considerado o método estatístico melhor elaborado para a definição da data de ocorrência do evento tendência (PENNEREIRO et al., 2016).

Ao analisar o comportamento da *T-méd.* observada na cidade de Brasília, mostrado na Figura 2B, os testes estatísticos confirmam o registro de tendência positiva com nível (+)(+) a partir de 1993. Novamente, isso se justifica porque ocorreu o cruzamento das curvas  $U(t_n)$  e  $U^*(t_n)$  entre os intervalos de confiança na data de 1994, enquanto que o ponto de mudança brusca de  $K(t)$  ocorreu ao cruzar os limites críticos em 1993.

Ausência de tendência significativa pode ser atribuída para as medidas observadas de *Prec.* em DEZ. na cidade de Taguatinga, como mostrado na Figura 2C, pois ao aplicar os testes estatísticos ocorreram alguns cruzamentos das curvas  $U(t_n)$  e  $U^*(t_n)$  entre os intervalos de confiança, além de a curva  $K(t)$ , mostrada no gráfico superior da figura, não ter cruzado um dos níveis de confiança de  $\pm 5\%$  e  $\pm 10\%$ . Em decorrência disso ficou descartada a existência de tendência no índice de chuva para essa cidade.

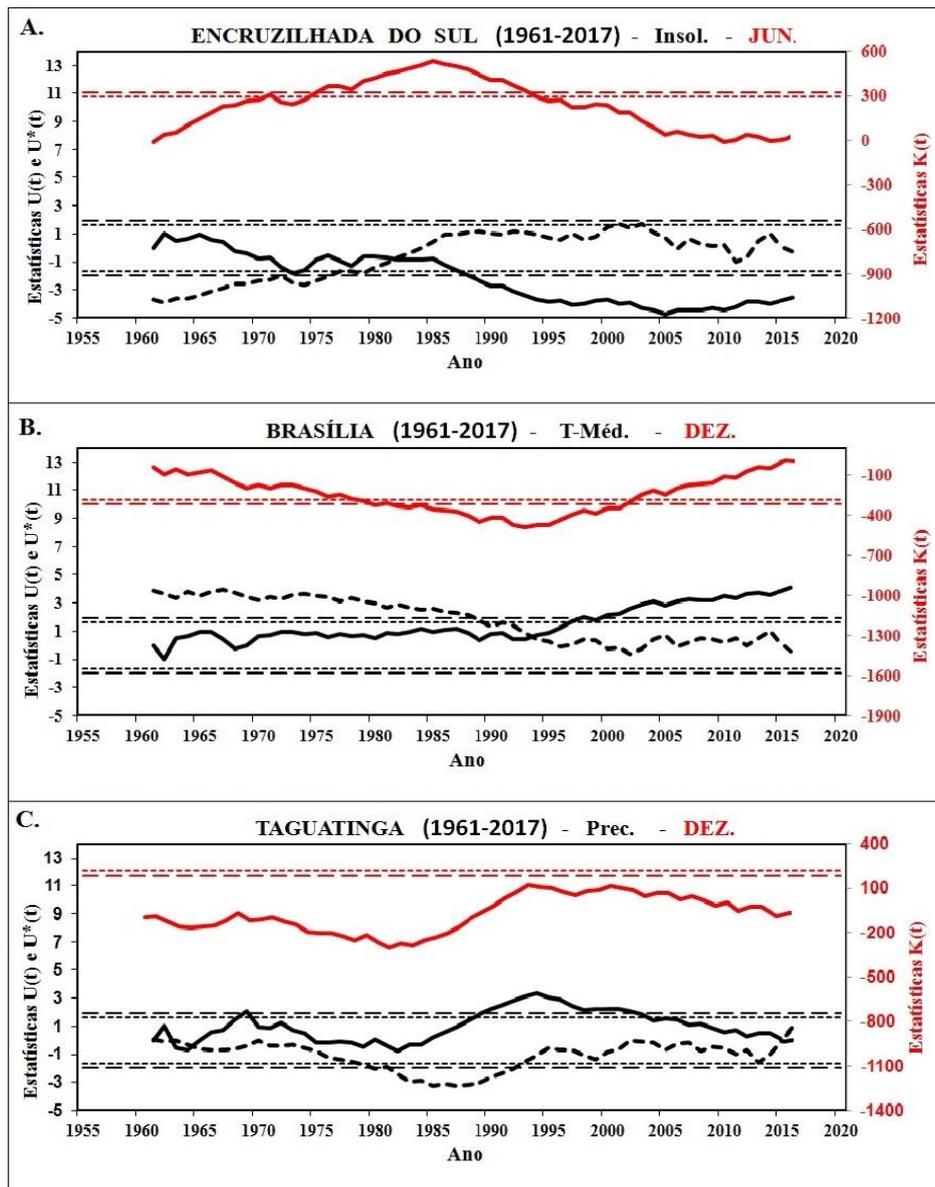


Figura 2. Comportamento das estatísticas de Mann-Kendall (inferior e em preto) e de Pettitt (superior em vermelho) para medidas de: (A) *Insol.* em JUN. para Encruzilhada do Sul, (B) *T-Méd.* em DEZ. para Brasília e (C) *Prec.* em DEZ. para Taguatinga.

Fonte: Elaboração dos Autores.

Por meio das análises envolvendo as formas gráficas dos testes de Mann-Kendall e de Pettitt, como mostrados nos exemplos gráficos discutidos anteriormente, todos os dados de tendências provenientes das 224 estações do INMET foram organizados e tabelados. Neste sentido, a Tabela 1 apresenta o resumo dos resultados conquistados para as séries temporais de JUN. e DEZ. das quantidades de localidades abordadas em cada bioma do Brasil. Nota-se que a convenção de sinais, discutida anteriormente, foi também adotada nesta tabela considerando tendência negativa (-) e positiva (+), respectivamente, além de série sem tendência (?).

Tabela 1. Quantidade de locais tratados, em cada bioma do Brasil, classificadas quanto às tendências identificadas pelos testes Mann-Kendall e Pettitt aplicados nas variáveis *Insol.*, *T-Méd.* e *Prec.* durante JUN. e DEZ.

Biomias	<i>Insol.</i>			<i>T-Méd.</i>			<i>Prec.</i>		
	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)
	JUN.								
<b>Amazônia</b>	1	11	27	0	21	18	0	2	37
<b>Caatinga</b>	4	7	40	2	9	40	1	3	47
<b>Cerrado</b>	5	10	48	1	25	37	1	3	59
<b>Mata Atlântica</b>	10	2	45	3	16	38	1	6	50
<b>Pampa</b>	1	1	9	0	0	11	1	0	11
<b>Pantanal</b>	1	0	2	0	0	3	0	0	3
<b>Total</b>	22	31	171	6	71	147	4	14	206
<b>Porcentagem (%)</b>	9,82	13,84	76,34	2,68	31,70	65,62	1,79	6,25	91,96
	DEZ.								
<b>Amazônia</b>	3	11	25	0	25	14	2	1	36
<b>Caatinga</b>	2	6	43	3	3	45	2	0	49
<b>Cerrado</b>	5	13	45	1	30	32	1	0	62
<b>Mata Atlântica</b>	5	9	43	1	18	38	1	0	56
<b>Pampa</b>	2	2	7	1	0	10	1	0	10
<b>Pantanal</b>	0	0	3	0	2	1	0	0	3
<b>Total</b>	17	41	166	6	78	140	7	1	216
<b>Porcentagem (%)</b>	7,59	18,30	74,11	2,68	34,82	62,50	3,12	0,45	96,43

Fonte: Elaboração dos Autores.

Como é possível verificar na referida tabela, tanto para JUN. como para DEZ., com exceção às localidades dos biomas Pampa e Pantanal, destaca-se que o número de

localidades que registraram tendência de aumento na *T-Méd.* é maior que o número de localidades com tendência de diminuição.

Ainda na Tabela 1, percebe-se que para a *Insol.*, no período de JUN., o número de localidades com tendência de aumento, comparado com a de diminuição, foi maior na Amazônia, Caatinga e Cerrado. Constata-se ainda que o mesmo ocorreu no período de DEZ. nesses três biomas, mas incluindo também a Mata Atlântica.

Na mesma tabela, para o caso da *Prec.* observa-se tendência de aumento em maior número de localidades do que tendência de diminuição no período do inverno (JUN.), enquanto que no auge do verão (DEZ.) constata-se o contrário.

Pode-se verificar que em ambos os períodos abordados na referida tabela, nas três variáveis em estudo ocorreram um maior número de locais com ausência de tendência, principalmente para a *Prec.*, seguida da *Insol.* e da *T-Méd.*

Como foram tratadas 1344 séries temporais neste levantamento, a quantidade de informações numéricas é muito grande. Neste sentido, optou-se por elaborar mapas, das distribuições espaciais de tendências das três variáveis abordadas, em biomas brasileiros, como os apresentados a seguir nas Figuras 3 e 4.

### **Mapas das distribuições de tendências**

Uma maneira de avaliar conjuntamente os resultados encontrados, pela aplicação dos testes estatísticos aqui tratados, é por meio da distribuição geográfica desses resultados. As posições geográficas de cada mapa correspondem àquelas apresentadas na Figura 1. Cada mapa corresponde a uma determinada grandeza climática trabalhada nos períodos de JUN. e DEZ., sendo possível, por meio de uma análise visual, identificar os locais onde se detectaram tendências crescentes (+) e decrescentes (-) neste levantamento.

#### ***Mapas para junho (JUN.)***

Os mapas da Figura 3 revelam que para o mês de junho, a *Insol.* (Figura 3A) acusou 31 (13,84%) localidades com aumento, 22 (9,82%) com diminuição de tendência e 171 (76,34%) não acusaram tendência. Neste sentido, destacam-se os biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga possuindo mais locais com aumento de tendência. No entanto, a Mata Atlântica e o Cerrado foram os biomas que registraram mais locais com diminuição de *Insol.*

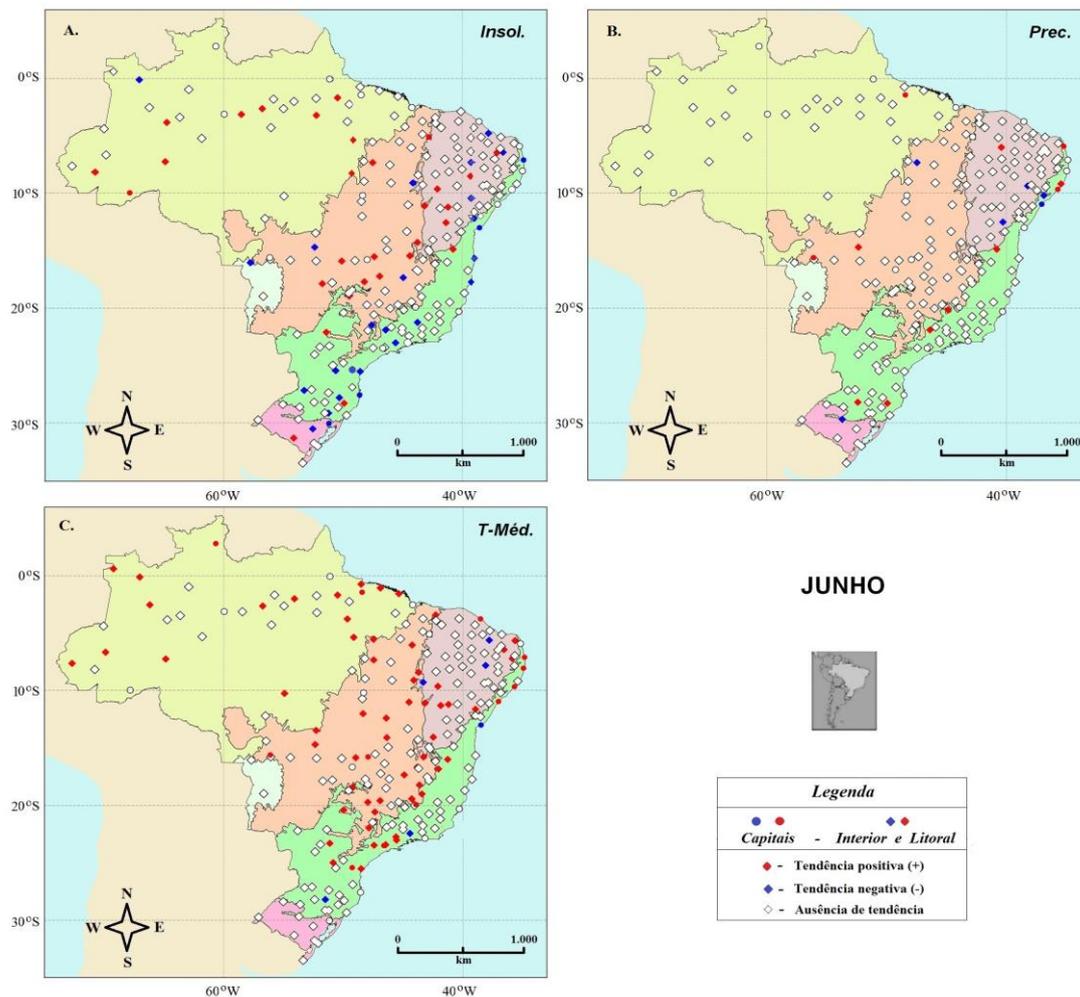


Figura 3. Mapas das distribuições de tendências das 224 cidades brasileiras avaliadas no período de JUN. para: (A) *Insol.*; (B) *Prec.* e (C) *T-Méd.*

Fonte: Elaboração dos Autores.

Com relação à *Prec.* (Figura 3B), verifica-se que 206 (91,96%) localidades não apresentaram tendências em junho. Aumentos nos índices de chuvas foram inferidos para 14 (6,25%) locais distribuídas principalmente na Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga e Amazônia. Entretanto, as diminuições de tendências de *Prec.* foram observadas em 4 (1,79%) locais distribuídos nos biomas Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica e Pampa.

Para a *T-Méd.* (Figura 3C), percebe-se que nos biomas Pampa e Pantanal ocorreu total ausência de variação acentuada, enquanto que nos demais biomas observaram-se locais com tendências. As diminuições de *T-méd.* foram observadas no Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica, com 6 (2,68%) localidades. Aumentos de temperatura foram inferidos para 71 (31,70%) localidades distribuídas na Amazônia, Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica. Consta-se que 147 (65,62%) locais não registraram tendências em junho na *T-Méd.*

### Mapas para dezembro (DEZ.)

Para o mês de dezembro, quanto à distribuição espacial da variável *Insol.*, mostrada na Figura 4A, foram encontrados com evidências de tendência positiva e negativas em 41 (18,30%) e 17 (7,59%) locais, respectivamente, estando distribuídas por todos os biomas, exceto o Pantanal. Um total de 166 (74,11%) localidades não acusaram tendências no índice de radiação solar incidente na superfície terrestre.

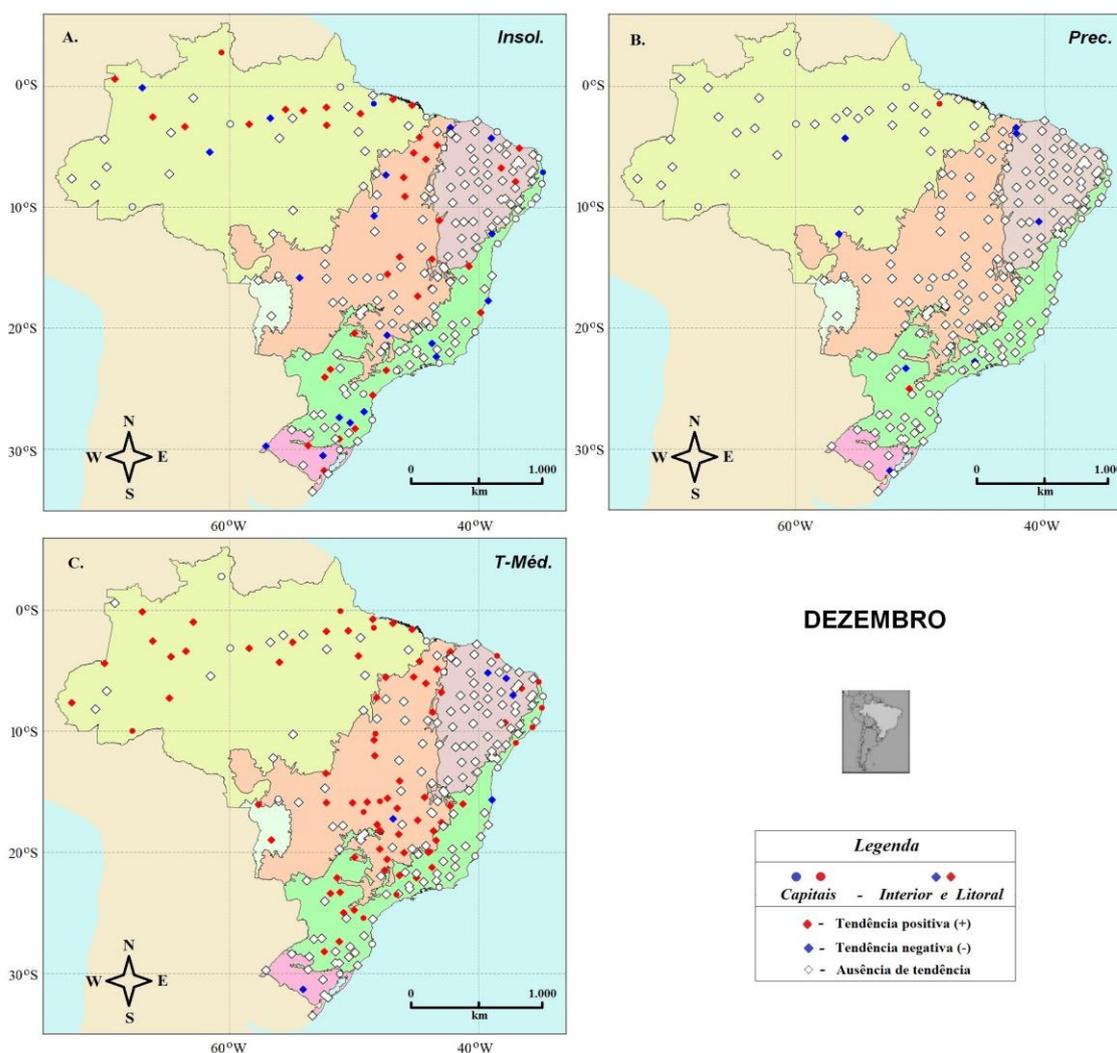


Figura 4. Mapas das distribuições de tendências das 224 cidades brasileiras avaliadas no período de DEZ. para: (A) *Insol.*; (B) *Prec.* e (C) *T-Méd.*

Fonte: Elaboração dos Autores.

Constata-se na Figura 4B que para *Prec.* 216 (96,43%) localidades não apresentaram tendências nessa época do ano. Aumento de tendência de chuva foi inferido

apenas em um local (0,45%), a cidade de Belém (PA), pertencente ao bioma Amazônia. Da mesma forma, foram poucas as diminuições de tendências de *Prec.*, sendo observadas um total de 7 (3,12%) locais distribuídos em todos os biomas, exceto no Pantanal.

No caso do mapa da Figura 4C, constata-se que 78 (34,82%) locais acusaram tendência positiva para *T-Méd.* espalhados por todos os biomas, exceto no Pampa. Quanto a tendência negativa, identificou-se 6 (2,68%) locais nos biomas Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pampa. Por todos os biomas, constatou-se localidades com ausências de tendências na *T-Méd.*, sendo um total de 140 (62,50%) locais tratados neste levantamento.

### **Frequências temporais das tendências**

Os histogramas apresentados a seguir foram elaborados no sentido de mostrar a diversidade de informações por meio da frequência de ocorrências das tendências inferidas nas séries temporais anuais das três grandezas tratadas no presente levantamento entre as décadas de 1960 até 2010.

Nos histogramas apresentados na Figura 5 e 6 são mostradas as frequências totais de tendências inferidas, ou seja, a soma das tendências positiva (cor mais escura) e negativa (cor mais clara), para um determinado parâmetro climático. Em cada uma das figuras as tendências de *Insol.* de cada década estão representadas em cor vermelha (+) e laranja (-), enquanto que as de *T-Méd.* estão em verde escura (+) e verde clara (-) e as de *Prec.* estão em azul escuro (+) e azul claro (-).

Ao analisar a Figura 5, relativa ao período de JUN., observa-se aumentos nas quantidades de tendências com o passar do tempo. Na mesma figura, é possível constatar que as maiores quantidades de tendências foram registradas na última década do século XX e início do século XXI. Os destaques dos aumentos de tendências referem-se a:

*Insol.*, que registrou aumentos em 15 e 13 locais nas respectivas décadas de 1990 e 2000, principalmente nos anos 1994, com 5 casos, e 2002, com 4 casos.

*T-Méd.*, que acusou aumentos em 31 e 27 locais das décadas de 1990 e 2000, respectivamente, sendo 1998 e 1999, com 7 casos cada, além de 2008 e 2009, respectivamente com 10 e 7 casos.

*Prec.*, que registrou aumentos em 6 e 4 locais nas mesmas décadas, sendo as de maiores evidências ocorridas nos respectivos anos de 1999 e 2000, com 5 casos, e de 2007 a 2009, com 3 casos.

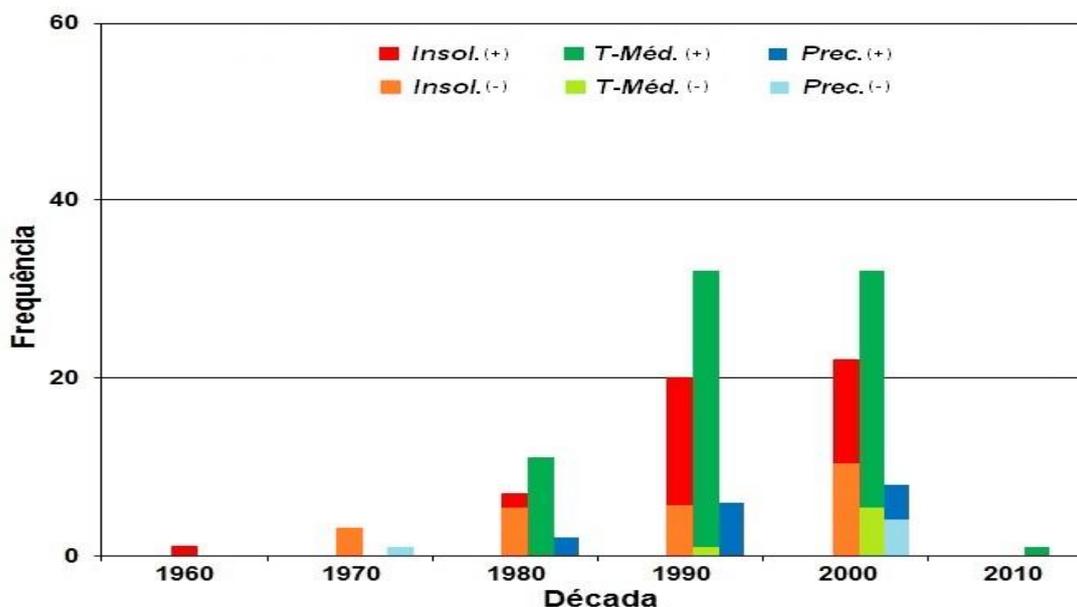


Figura 5. Histograma das frequências de tendências para a *Insol.* (em vermelho), *T-Méd.* (em verde) e *Prec.* (em azul) no período de JUN.  
 Fonte: Elaboração dos Autores.

Na Figura 6 estão os histogramas relacionados às frequências temporárias das tendências relativa ao período de DEZ. Assim como no período abordado anteriormente, mais uma vez observa-se que as maiores quantidades de aumentos em tendências foram registradas na última década do século XX e início do século XXI. Neste período, os destaques são:

*Insol.*, que registrou aumentos em 25 e 9 locais também, respectivamente, nas décadas de 1990 e 2000, sendo em 1994, 1995 e 1999, com 5 casos cada, e em 2004, também com 5 casos.

*T-Méd.*, que acusou aumentos em 22, 40 e 13 locais, respectivamente nas décadas de 1980, 1990 e 2000, sendo 1989 (7 casos), 1992 (8 casos), 1993, 1995, 1996 e 2000 (com 6 casos cada), além de 2002 e 2005, respectivamente com 3 e 4 casos.

*Prec.*, que registrou aumentos em apenas um local em 1992.

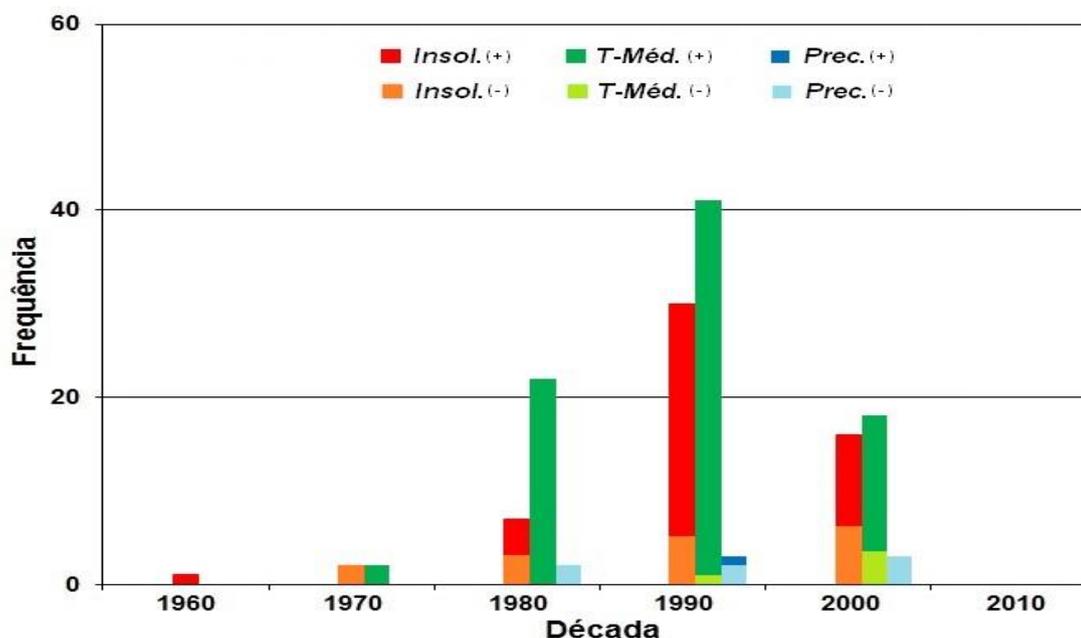


Figura 6. Histograma das frequências de tendências para a *Insol.* (em vermelho), *T-Méd.* (em verde) e *Prec.* (em azul) no período de DEZ.

Fonte: Elaboração dos Autores.

Os histogramas da Figura 6, assim como na Tabela 1, também revelam que as diminuições de tendências ocorreram em poucos casos, quando comparadas as distribuições de aumentos de tendências, como também se pode constatar nos mapas apresentados nas Figuras 3 e 4. Reforçando o que antes foi comentado, pode perceber nesses histogramas, assim como nos mapas (Figuras 3 e 4), que a quantidade de ocorrência de tendência na *Prec.* foi bem menor que das duas outras variáveis estudadas neste trabalho.

O clima nos biomas do Brasil, assim como em outras partes do mundo, é algo muito complexo, visto que envolve controles internos e externos ao sistema terra-atmosfera-oceano, não sendo um aval para os seres humanos degradar o meio ambiente, como infelizmente tem ocorrido nas últimas décadas, em particular na Amazônia e Cerrado. Ao contrário, pois considerando que o aumento populacional que fatalmente ocorrerá nas próximas décadas, sugere-se a adoção de políticas de conservação ambiental bem elaboradas 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).

Presume-se que uma possível explicação para as ocorrências de tendências nas variáveis aqui tratadas esteja relacionada às características geográficas e biodiversidades de cada bioma do país. Pode-se presumir também que o comportamento da insolação em

cada local, tanto no inverno como no verão, pode ter influenciado a temperatura média, mas não a precipitação, como constatado nos referidos mapas e histogramas. 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 aos centros urbanos.

Além desses fatores, a ocorrência de fenômenos naturais como El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e La Niña podem ter motivado o aumento e, em certos casos, a diminuição na frequência de ocorrência e intensidade (IPCC, 2013). Conforme argumentam Guimarães e Reis (2012), os eventos de El Niño contribuem para os aumentos das temperaturas máximas e mínimas em 265 cidades (em estações medidoras convencionais do INMET, observadas entre 1961-2017) espalhadas pelo Brasil. Neste sentido, conforme relatam esses autores, o impacto do fenômeno ENOS no país se faz mais presente nos meses de inverno e primavera. No entanto, o inverso ocorre em eventos de La Niña para essas mesmas localidades, exceto para a Amazônia. Em anos de existência do evento La Niña ocorrem diminuições das temperaturas do ar em quase todas as regiões do Brasil.

Em relação aos dados tratados nesse levantamento, como comentado na seção introdutória deste trabalho, julga-se que as tendências ocorridas estejam relacionadas aos eventos El Niño e La Niña, pois tanto para *Insol.* como para *T-Méd.* os períodos dos aumentos de tendências registradas na década de 1990 para as estações do inverno (em 1997) e verão (em 1993) e as diminuições de tendências observa-se que nas décadas de 1980 a 2000, estão em consonância com os períodos relatados por Firpo, Sansigolo e Assis (2012), para os referidos eventos climáticos globais. Também pode-se presumir que, além dos eventos naturais como é o caso da influência da atividade solar (relacionado à *Insol.*), as tendências aqui registradas para *T-Méd.* e *Prec.* possam estar relacionadas às oscilações registradas que possuem caráter regional de algumas localidades, devido ação antropogênica (ZANQUIM JR. et al., 2015).

Nesse sentido, presume-se que todos os fatores envolvendo aspectos naturais e antropogênicos, precisam ser melhores conhecidos e devidamente estudados não só para analisar efeito de previsão do tempo, mas, especialmente, para o entendimento das alterações climáticas naturais e, conseqüentemente, para que, à luz do conhecimento, se saiba exatamente onde há ocorrência de impacto da ação do ser humano e, com isso, separar seus efeitos nas mudanças do clima no país e no mundo.

## CONCLUSÕES

As análises exploratórias realizadas nos três diferentes tipos de séries temporais (*Insol.*, *T-Méd.* e *Prec.*) observadas em estações meteorológicas de cidades espalhadas pelos biomas do Brasil indicaram que:

1. Ocorreram ausências de tendências significativas em: 91,96% para *Prec.*, 65,62% para *T-Méd.* e 76,34% para *Insol.* no auge do inverno e 96,43% para *Prec.*, 62,50% para *T-Méd.* e 74,11% para *Insol.* no auge do verão, para as 224 localidades tratadas nesse levantamento.
2. A *Insol.* foi a variável que registrou mais locais com diminuições de tendências (9,82% em JUN. e 7,59% em DEZ.), sendo as décadas de 1980, 1990 e 2000 as evidências registradas nos biomas Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga. Foi na década de 1990, nessas regiões, que se identificaram as maiores quantidades de aumentos de tendências (13,84% em JUN. e 18,30% em DEZ.).
3. Para a *T-Méd.*, as maiores quantidades de locais com aumento de tendência ocorreram na década de 1990, quando foi identificado o maior número de localidades tanto no inverno quanto no verão (31,70% em JUN. e 34,82% em DEZ.). Neste aspecto, os biomas com maiores números de locais foram: Cerrado, Amazônia e Mata Atlântica. Poucas diminuições de tendências foram registradas, sendo que a maioria se encontra na Caatinga.
4. Com relação a *Prec.*, que foi a variável que acusou menos tendências, a maior quantidade de diminuição foi inferida na Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pampa, durante a década de 2000 no inverno, enquanto que no verão, prevaleceram todos os biomas, exceto o Pantanal, nas décadas de 1980, 1990 e 2000 (1,79% em JUN. e 3,12% em DEZ.). Os poucos aumentos de tendência se mostraram mais presentes nas décadas 1980, 1990 e 2000, na Amazônia, Caatinga e Cerrado, durante o Inverno, ao passo somente na Amazônia foi registrado um local de aumento (6,25% em JUN. e 0,45% em DEZ.).

As identificações de alterações, como realizado neste levantamento, nos comportamentos da insolação, temperatura média do ar e da precipitação pluviométrica medidas em séries temporais, por meio das análises dos testes de Mann-Kendall e de Pettitt, podem ser um instrumento eficiente nos estudos que visam análises de alterações climáticas.

Os resultados aqui apresentados alertam para o cuidado que se deve ter ao apontar as possíveis causas de mudanças observadas nas séries temporais, tendo em vista a complexidade em associar essas alterações com as variações naturais do clima, seja devido aos eventos El Niño, La Niña, atividade solar, dentre outros, assim como as influências antropogênicas devido a desmatamentos, queimadas, emissão de gases de efeito estufa, crescimento sem adequado planejamento de cidades, entre outros fatores.

Os testes estatísticos aqui trabalhados, adicionados aos estudos de modelagem numérica, podem auxiliar a diminuir níveis de incertezas, permitindo um melhor conhecimento da dinâmica climática existente no Brasil, ou em qualquer outra parte do mundo, desde que se tenham bons dados observados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - Agência Nacional de Águas. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil - INFORME*, 2013. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite\\_relatorioConjuntura/projeto/index.html](http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html)> Acesso em: 4 fev. 2018.

FIRPO, M. A. F.; SANSIGOLO, C. A.; ASSIS, S. V. de. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 27, n. 1, p. 95-106, 2012.

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*, Rio Claro, v. 24, n. 2, p. 181-193, 2005.

GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. dos. Impactos do fenômeno Enos sobre a temperatura no Brasil. *Revista Espinhaço*, Diamantina, v. 1, n. 1, p. 34-40, 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo demográfico de 2010*. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em: 14 fevereiro 2018.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. *Banco de Dados Meteorológicos para Pesquisa e Ensino (BDMEP)*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 26 jan. 2018.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p. 2013.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. *Conheça os biomas brasileiros – diversidade biológica*. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2009/10/biomas-brasileiros>>. Acesso em: 04 abr. 2018.

PENEREIRO, J. C.; MARTINS, L. L.; BERETTA, V. Z. Identificação de variabilidades e tendências interanuais em medidas hidro-climáticas na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v. 18, n. 1, p. 219-241, 2016.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, Londres, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.

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*, Granada, v. 101, n. 1-2, p. 209-216, 2010.

SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des séries d'observations. *Organisation Météorologique Mondiale*, Geneva, 192 p., 1975.

TOLEDO, K. Quinto relatório do IPCC mostra intensificação das mudanças climáticas. Agência FAPESP. 2013. <<http://agencia.fapesp.br/17944>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

ZANQUIM JUNIOR, J. W.; MORAES, A. P. H.; MORAES, F. T.; MELNICKY, E. C. C. Danos ambientais urbanos e instrumentos de solução dos conflitos. In: Congresso Novos Direitos – Cidades em Crise? 2015. *Anais...* São Carlos: Editora RiMa, p. 175-188, 2015.

ZHENMEI, M.; SHAOZHONG, K.; LU, Z.; LING, T.; XIAOLING, S. *Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in arid region of northwest China*. New York, v. 352, n. 3-4, p. 239-249, 2008.