

IDENTIFICAÇÃO DE TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS NO ESTADO DA BAHIA

Jeane Rafaela Araújo Lima¹; Danielson Jorge Delgado Neves¹; Lincoln Eloi de Araújo²; Pedro Vieira de Azevedo³

¹Graduanda (o) em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas. Universidade Federal de Campina Grande, Aprígio Veloso 882 CEP - 58.109 - 970- Campina Grande - PB, Brasil. E-mail: jeanerafaele@yahoo.com.br; danielsondelgado@hotmail.com;

²Professor Doutor, Centro de Ciências Aplicadas e Educação - Campus IV - DEMA, Universidade Federal da Paraíba, e-mail: lincolneloi@yahoo.com.br

³Professor Doutor, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas. E-mail: pvieira@dca.ufcg.edu.br.

Artigo recebido em 20/05/2011 e aceito em 20/09/2011

RESUMO

O presente trabalho objetivou a identificação de tendências climáticas da precipitação pluviométrica e da temperatura do ar no Estado da Bahia. Para tal, foram utilizadas séries históricas correspondentes ao período de 1961 a 2009 da precipitação pluvial e temperatura média do ar à superfície de 16 localidades. Foi aplicado o teste não paramétrico de Mann-Kendall com intuito de avaliar o nível de significância das tendências das séries temporais das variáveis estudadas. Os resultados obtidos indicaram que para a localidade de Caravelas houve uma tendência crescente e significativa (2,301), indicando um aumento considerável da precipitação pluviométrica nessa região, o que pode ser justificada pela sua posição geográfica no litoral sul do estado da Bahia, numa região sujeita a atuação de fenômenos meteorológicos de escala sinótica tais como sistemas frontais e de micro escala tais como brisas e ainda resultante da interação desses dois sistemas. Enquanto que, na localidade de Cipó identificou-se uma tendência decrescente significativa (-2,05), que pode ser justificada também em virtude da sua localização mais a norte do estado da Bahia inserida na região de clima semi-árido. Nas demais localidades foram observadas tendências crescentes não significativas ou tendências decrescentes não significativas. Já a temperatura do ar mostrou-se crescente e significativa para grande maioria das localidades, com exceção de Canavieiras que apresentou uma tendência crescente, porém não significativa (1,32). Com esses resultados pode se confirmar a real tendência de aquecimento observado nessas últimas décadas com os dados analisados para o estado da Bahia e subsidiar estudos que promovam a investigação dos cenários futuros para o aquecimento e ou resfriamento da atmosfera.

Palavras-Chaves: precipitação pluviométrica, temperatura do ar, teste de Mann-Kendall

IDENTIFICATION OF CLIMATE TRENDS IN THE STATE OF BAHIA

ABSTRACT

This study had the objective of identifying climatic trends in the annual rainfall and air temperature for the period from 1961 to 2009 for 16 meteorological stations of the Bahia state. For that, time series of rainfall and air temperature were used. The non-parametric Mann-Kendall test was applied for evaluating the significance level of the time series trends. The results obtained suggest that only for locality of Caravelas there was a significant increasing trend (2.301) indicating a considerable increase of the annual rainfall in the region what can be justified by its geographical position in the sought coast of the Bahia state under the effects of meteorological phenomenon of large scales such as frontal systems and of micro scales such as breezes and also the interaction of these two systems. Otherwise, an increasing trend (-2.05) was identified in the locality of Cipó which can be justified by its position in the semiarid region of the state. In the other localities the annual rainfall showed not significant increasing trends or not significant decreasing trends. These results may suggest that there is a real trend to warming in the last decades in the Bahia state and may be used as a support to studies on future scenarios of warming or cooling of the atmosphere.

Keywords: rainfall, air temperature, Mann-Kendall test.

INTRODUÇÃO

O Estado da Bahia está localizado no sul do Nordeste do Brasil, aproximadamente 69% do território está inserido no semi-árido, com uma área de 564.092,669 km², na qual se encontram distribuídos 417 municípios. Essa região apresenta escassez de água, com chuvas irregulares e concentradas em um curto período do ano, solos rasos e/ou de baixa fertilidade agrícola e, em muitas áreas, a exploração ambiental é marcada pela insustentabilidade, o que amplia o risco de tornarem-se desertificadas. Diante desses fatores a Bahia torna-se um estado de características bem marcantes para se conduzir estudos sobre variabilidade e mudanças climáticas.

O conhecimento da variabilidade climática é de grande importância, uma vez que dependendo de sua magnitude ela pode trazer consequências para a humanidade e a biodiversidades dos sistemas naturais. Uma avaliação da variabilidade climática, ao longo do tempo no Brasil, mostra que, dependendo da região analisada, podem ocorrer alterações contínuas ou ciclos bem demarcados dos elementos meteorológicos, como a temperatura e a precipitação (Pinto et al., 2003).

Tem sido observado na América Latina (IPCC, 2007) que a grande variedade de alterações no clima, pode ser o resultado de interferências antrópicas como também do clima natural. Observaram-se também alterações de variações no ciclo hidrológico e na temperatura média do ar. As regiões semi-áridas e áridas são as mais vulneráveis, sendo, portanto, imprescindível que essa vulnerabilidade seja quantificada assim como estudadas as possibilidades de mitigação e adaptação. Fatores que alteram o clima regional como desmatamento do bioma e mau uso dos ecossistemas, contribuem para mudanças no clima global. Santos e Brito (2007), afirmam que em áreas de ecossistemas frágeis, tais como o Nordeste Brasileiro (NEB) os impactos das mudanças climáticas devem ser mais intensos, devido à soma das ações antrópicas. Haylock et al. (2006) observaram uma tendência de aumento do total anual de chuva sobre o NEB. Estudos recentes indicam que esta região vem sofrendo com fortes variabilidades climáticas (Pimenta et al., 1998; Silva, 2004; Sousa Júnior, 2006) Segundo o Relatório do IPCC (2007), durante os últimos 100 anos a atmosfera vem aumentando gradualmente a concentração dos gases do efeito estufa, tais como o dióxido de carbono (CO₂),

sendo provocado, principalmente pelas atividades antrópicas. Projeta-se para as próximas duas décadas um aquecimento de cerca de 0,2°C por década para uma faixa de cenários de emissões do Relatório Especial sobre Cenários de Emissões.

Impactos das alterações climáticas provocam uma mudança do regime de precipitações que conduz a variações do volume e da distribuição temporal das disponibilidades de água, quer superficial quer subterrânea. A estes impactos sobre a quantidade da água há que acrescentar os impactos sobre a qualidade, devidos a variações das disponibilidades de água, ao aumento da temperatura e à subida do nível médio do mar. A intensidade e frequência de situações de cheia e secas é outra área em que os impactos das alterações climáticas poderão vir a fazer-se sentir. (Cunha et al., 2002)

Os pesquisadores Hastenrath e Greischar (1993) examinaram séries históricas de precipitação em uma rede de estações bem distribuídas sobre o Nordeste brasileiro e não encontraram tendências significativas para condições úmidas ou secas na região. No entanto, a precipitação nessa região é bastante sensível a valores extremos de temperatura da superfície do mar no Pacífico equatorial associado ao ENOS,

assim como às anomalias de temperatura da superfície do Atlântico, associadas ao dipolo de anomalias de temperatura da superfície do mar do Atlântico (Moura e Shukla, 1981). A incerteza em relação ao sinal de tendência da precipitação torna difícil estabelecer os efeitos das mudanças climáticas globais sobre os ecossistemas e sobre as atividades agrícolas, principalmente quando se considera que, estando à região fora do alcance de geadas e temperaturas muito baixas, o fator climático determinante é o regime de chuvas.

O aumento da temperatura altera o ciclo das chuvas em diversos continentes, uma vez que o ciclo de evapotranspiração (evaporação da água mais a transpiração das plantas) torna-se mais acelerado. O aumento da temperatura do ar em determinada região pode acarretar um aumento das chuvas, agravando a intensidade da temporada de enchentes, furacões, tufões e nevascas. Ao mesmo tempo, outras regiões podem estar submetidas a intensas e prolongadas secas, com índices pluviométricos inferiores ao que seria normal na mesma época e estação do ano. Segundo Nobre et al. (1991), ainda com respeito ao aumento de temperatura, imagina-se que a linha que demarca áreas atingidas por geadas

migraria para o sul. Apesar de ser hipótese razoável para a temperatura média, não se pode afirmar categoricamente que isto irá ocorrer. Mesmo que a temperatura média se eleve, não se descarta a hipótese de que extremos do tempo e do clima, como frentes frias muito intensas, tornem-se até mais freqüentes devido à “aceleração” do ciclo hidrológico em escala planetária. Entretanto, a confiabilidade é baixa sobre as previsões de mudanças da freqüência de ocorrência de extremos do tempo e do clima. Espera-se que a incerteza na estimativa regional das alterações da precipitação e na estimativa do comportamento dos extremos seja reduzida substancialmente nesta próxima década, através do uso de modelos climáticos mais complexos, que levem em conta explicitamente o clima regional.

De forma geral, com o aquecimento global, em um futuro próximo espera-se cenário de clima mais extremo, com secas, inundações e ondas de calor mais freqüentes. A elevação na temperatura aumenta a capacidade do ar em reter vapor d’água e conseqüentemente há maior demanda hídrica. Em resposta a essas alterações, os ecossistemas de plantas poderão aumentar sua biodiversidade ou sofrer influências

negativas. Impactos como a elevação do nível dos oceanos e furacões mais intensos e mais freqüentes também poderão ser sentidos.

O tratamento estatístico das variáveis meteorológicas observadas ao longo do tempo, como forma de se compreender os fenômenos atmosféricos, determinando os seus padrões de ocorrência e propiciando uma adequada previsibilidade do comportamento do tempo e clima de uma região é um instrumento de grande valia no planejamento e na gestão de inúmeras atividades agrícolas, agropecuárias e humanas (BAPTISTA DA SILVA, et al., 2005)

Diante deste contexto, este trabalho teve como objetivo através do uso do teste não-paramétrico de Man-Kendall que é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas (Goossens & Berger, 1986), analisar tendências climáticas anuais da precipitação pluviométrica e temperatura do ar em algumas cidades do Estado da Bahia.

METODOLOGIA

Foram utilizados dados totais mensais e anuais da precipitação pluviométrica e médias mensais e anuais da temperatura do ar de 16 estações meteorológicas

distribuídas no estado da Bahia, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. O período de estudo foi de aproximadamente 49 anos de dados (1961-2009).

A Figura 1 apresenta a espacialização das estações meteorológicas no estado da Bahia, enumerados de acordo com a respectiva localização norte-sul. A Tabela 1 informa os municípios e as coordenadas geográficas onde se localiza cada estação.

Teste de Mann-Kendall

A tendência temporal dos totais anuais e das estações seca e úmida da precipitação pluviométrica e temperatura do ar foi

analisada através do teste de Mann-Kendall. Esse teste consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem seqüencial. É contado o número de vezes que os termos restantes são maiores do que o valor analisado. A estatística S é obtida pela soma de todas as contagens, como segue:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sin al}(x_i - x_j) \quad (1)$$

em que o $\text{sin al}(x_i - x_j)$ é obtido da seguinte forma:

-1 para $x_i - x_j < 0$,

0 para $x_i - x_j = 0$,

1 para $x_i - x_j > 0$.

Figura 1 – Distribuição espacial das 16 estações na área de estudo

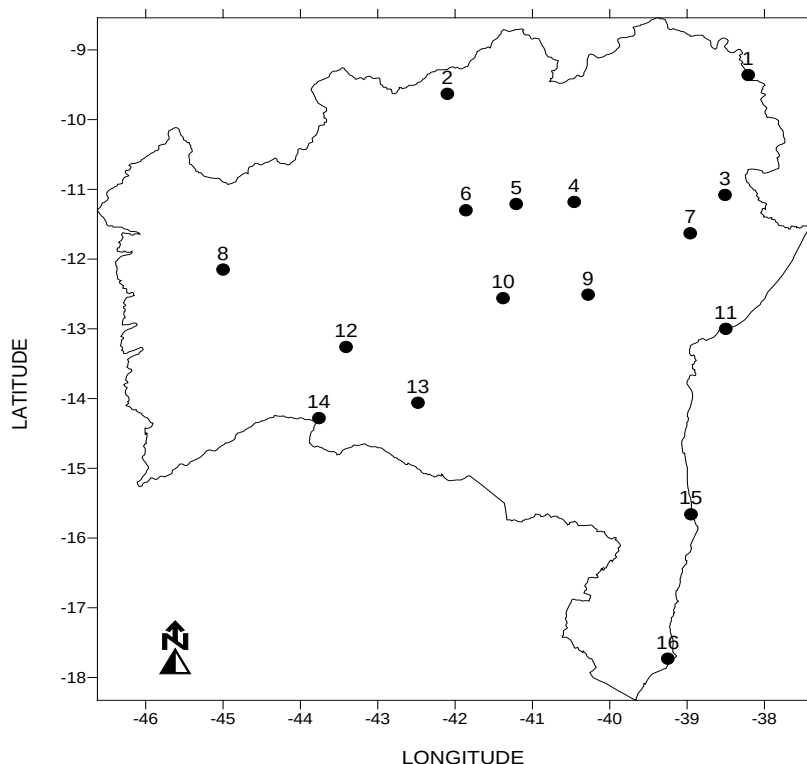


Tabela 1 – Relação dos municípios e suas respectivas coordenadas geográficas

Nº	MUNICIPIOS	LATITUDE(°)	LONGITUDE(°)	ALTITUDE (m)
1	PAULO AFONSO	-9,36	-38,21	253
2	REMANSO	-9,63	-42,1	401
3	CIPÓ	-11,08	-38,51	132
4	JACOBINA	-11,18	-40,46	453
5	MORRO DO CHAPEU	-11,21	-41,21	1011
6	IRECÊ	-11,3	-41,86	755
7	SERRINHA	-11,63	-38,96	339
8	BARREIRAS	-12,15	-45	470
9	ITABERABA	-12,51	-40,28	250
10	LENÇÓIS	-12,56	-41,38	439
11	SALVADOR OLINDA	-13	-38,5	51
12	BOM JESUS DA LAPA	-13,26	-43,41	440
13	CAETITE	-14,06	-42,48	826
14	CARINHANHA	-14,28	-43,76	440
15	CANAVIEIRAS	-15,66	-38,95	6
16	CARAVELAS	-17,73	-39,25	3

A estatística S tende a normalidade para n grande, com média e variância definidas como se segue:

$$E[S] = 0, \quad (2)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5)], \quad (3)$$

em que n é o tamanho da série temporal, t_p é o número de passos até o valor p e q é o número de valores iguais. O teste estatístico Z é dado por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0, \\ 0 & \text{se } S = 0, \\ \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S < 0. \end{cases} \quad (4)$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa na série temporal foi avaliada usando-se o valor de Z . Essa estatística é usada para testar a hipótese nula de que nenhuma tendência existe. O valor positivo de Z indica uma tendência crescente. Para testar qualquer tendência constante

crescente ou decrescente para um nível significante de p , é rejeitada a hipótese nula se o valor absoluto de Z é maior que $Z_{1-p/2}$, o qual é obtido na tabela da distribuição normal. Neste trabalho serão aplicados os níveis de significância de $p = 0,01$ e $0,05$. Por outro lado, se t estiver entre $1,96$ e $2,57$ ou maior do que $2,57$, rejeita-se a hipótese nula aos níveis de 5% e 1% , respectivamente. Assim, as médias são estatisticamente diferentes nesses níveis de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da tendência temporal para precipitação pluviométrica para as 16 localidades situadas no estado da Bahia (Fig. 2 e Tabela 2) evidencia que, para a cidade de Caravelas houve uma tendência crescente e significativa ($2,301$), indicando um aumento considerável na precipitação anual observada nessa região que pode ser justificado pela sua posição geográfica no Litoral-Sul do estado da Bahia, numa região sujeita a atuação de fenômenos meteorológicos de escala sinótica tais como sistemas frontais e de micro escala tais como brisas e ainda a resultante da interação desses dois sistemas. Enquanto que, na localidade de Cipó identificou-se tendência

negativa significativa ($-2,05$), que pode ser justificada também em virtude da sua localização mais a Norte do estado da Bahia, na região de clima semi-árido. Nas localidades de Canavieiras, Caririnha, Irecê, foram encontrados tendência positiva, mas não significativa ($1,405$; $0,241$; $0,293$), respectivamente. Já em Barreiras, Bom Jesus da Lapa, Catite, Itaberaba, Jacobina, Lençóis e Morro do Chapéu houve uma tendência negativa, mas não significativa.

Na Fig. 3 e Tabela 3, a temperatura do ar mostrou-se crescente e significativa para a grande maioria das localidades do estado da Bahia, com exceção de Canavieiras que apresentou uma tendência crescente, porém não significativa ($1,32$). Santos et al. (2010), estudando cenários climáticos para o nordeste do Brasil, também encontrou tendências positivas da temperatura do ar estatisticamente significativas em localidades do Estado da Bahia. Esses resultados evidenciam uma real tendência de aquecimento observado nessas ultimas décadas para o estado da Bahia e podem subsidiar estudos que promovam a investigação de cenários futuros de aquecimento e ou resfriamento da atmosfera.

Figura 2 – Tendência temporal da precipitação pluviométrica anual (mm) para as 16 localidades do estado da Bahia-BA no período de 1961-2009.

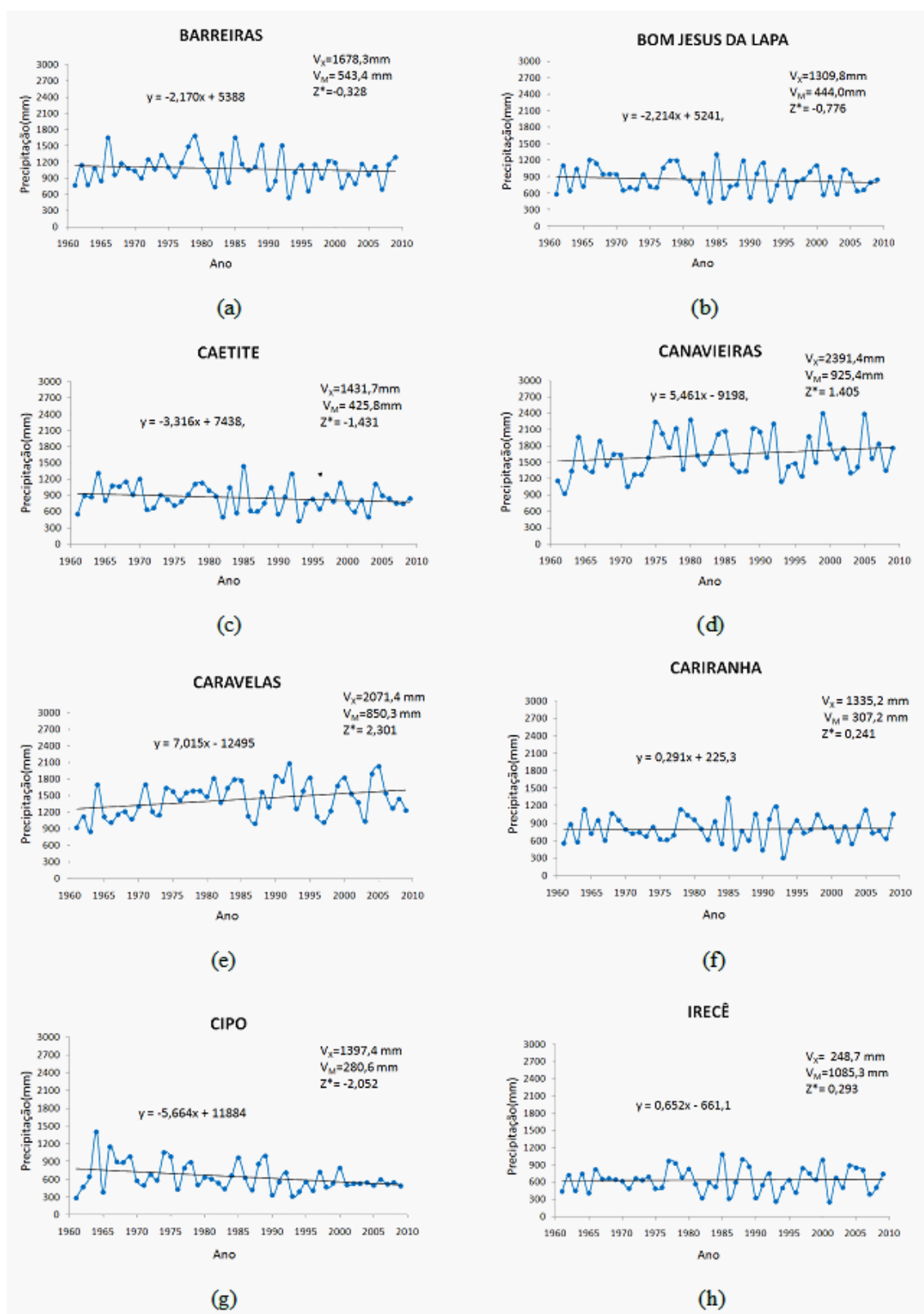




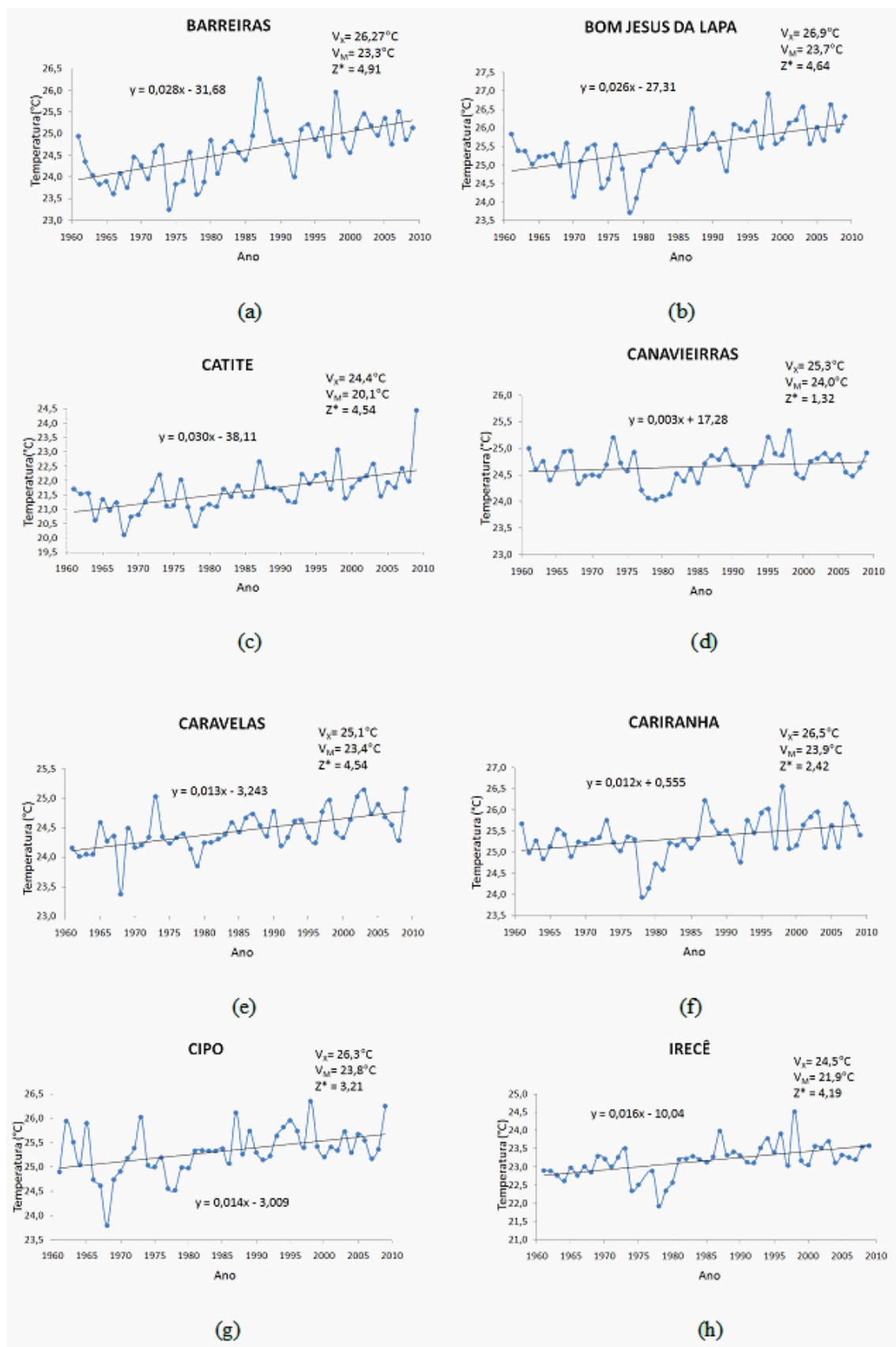
Tabela 2. Relação dos valores do teste de Mann-Kendall para precipitação em cada município

Nº	MUNICÍPIOS	VALORES DO Z*
1	PAULO AFONSO	-1,034
2	REMANSO	-1,327
3	CIPÓ	-2,052
4	JACOBINA	-1,327
5	MORRO DO CHAPÉU	-0,828
6	IRECÊ	0,172
7	SERRINHA	-1,396
8	BARREIRAS	-0,328
9	ITABERABA	-1,138
10	LENÇÓIS	-1,569
11	SALVADOR OLINDA	-0,793
12	BOM JESUS DA LAPA	-0,776
13	CAETITE	-1,431
14	CARINHANHA	0,241
15	CANAVIEIRAS	1,405
16	CARAVELAS	2,301

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial da estatística do teste de Mann-Kendall para precipitação pluvial anual, a qual evidencia um núcleo de decréscimo estatisticamente significativo da precipitação pluviométrica anual ao nível de 5% na região Nordeste do estado da Bahia,

enquanto que na região Sul foi observado valores positivos significativos dessa estatística ao nível de 5%. Nas demais regiões, as tendências, tanto negativas quanto positivas, apresentaram valores não significativos.

Figura 3 – Tendência temporal da temperatura do ar total anual (°C) para as 16 localidades do estado da Bahia no período de 1961-2009.



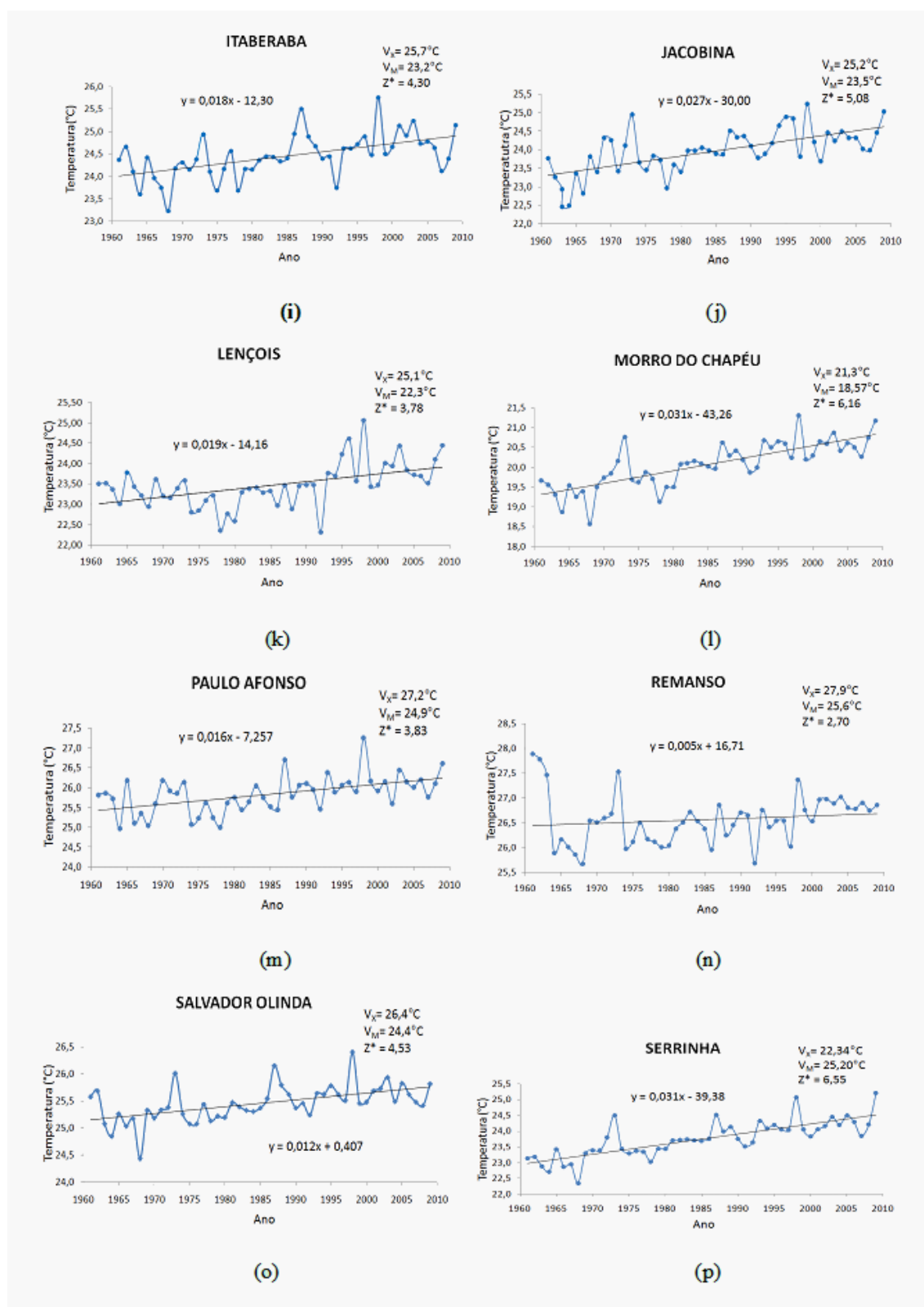


Tabela 3: Relação dos valores do teste de Mann-Kendall para temperatura em cada município

Nº	MUNICIPIOS	VALORES DO Z*
1	PAULO AFONSO	3,8272
2	REMANSO	2,6980
3	CIPÓ	3,2066
4	JACOBINA	5,0771
5	MORRO DO CHAPÉU	6,1632
6	IRECÊ	4,1952
7	SERRINHA	6,5511
8	BARREIRAS	4,9133
9	ITABERABA	4,3013
10	LENÇÓIS	3,7755
11	SALVADOR OLINDA	4,5254
12	BOM JESUS DA LAPA	4,6461
13	CAETITE	4,5427
14	CARINHANHA	2,4222
15	CANAVIEIRAS	1,3275
16	CARAVELAS	4,5427

De acordo com a Figura 5, a maior parte do estado da Bahia, apresentou um acréscimo significativo, ao nível de 1% de probabilidade, da temperatura ao longo do período analisado, de acordo com a estatística do teste de Mann-Kendall. Apenas um pequeno núcleo situado na região mais ao Sul e um outro ao Sudoeste, foram observados acréscimos estatisticamente significativo ao nível de 5% de

probabilidade. Numa pequena área ao Sul do estado o aumento da temperatura do ar foi não significativo para ambos os níveis de significância (1% e 5%).

Os valores positivos ou negativos de $1,96 < Z < 2,57$ são estatisticamente significativos ao nível de 5% de probabilidade enquanto que os valores positivos ou negativos de $Z > 2,57$ são estatisticamente significativos ao nível de 1% de probabilidade.

Figura 4 – Distribuição espacial da estatística Z do teste de Mann-Kendall para a precipitação pluviométrica anual no Estado da Bahia.

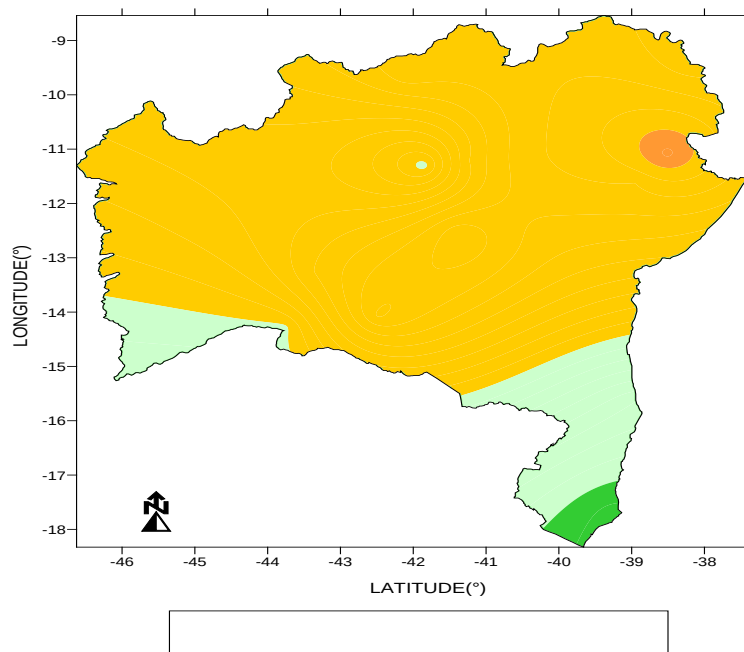
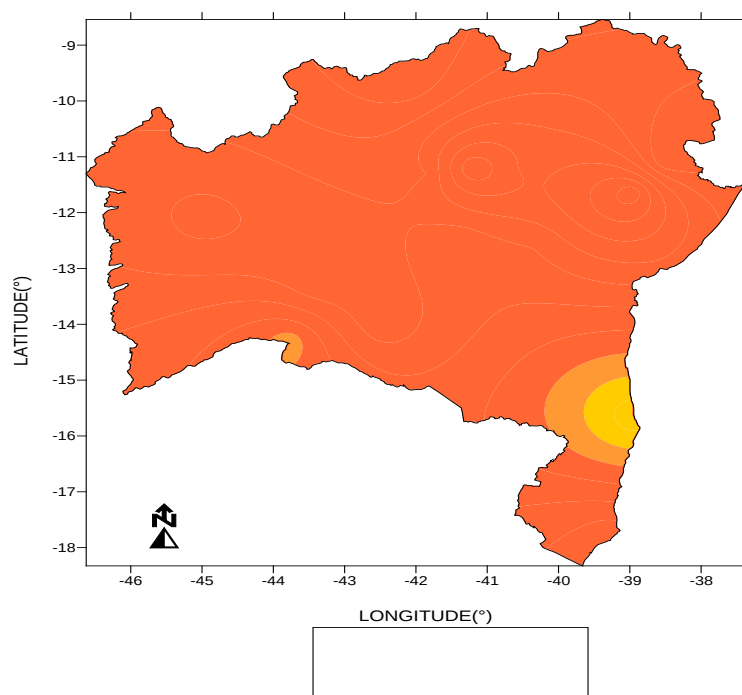


Figura 5 – Distribuição espacial da estatística Z do teste de Mann-Kendall para a temperatura do ar anual no Estado da Bahia. Os valores positivos ou negativos de $1,96 < Z < 2,57$ são estatisticamente significativos ao nível de 5% de probabilidade enquanto que os valores positivos ou negativos de $Z > 2,57$ são estatisticamente significativos ao nível de 1% de probabilidade.



CONCLUSÕES

A análise da tendência climática do estado da Bahia permitiu chegar às seguintes conclusões:

Nas últimas cinco décadas, a precipitação pluviométrica anual no estado da Bahia apresentou tendência de aumento significativo apenas nas localidades de Caravelas e Cipó;

Com relação à temperatura do ar, análise evidenciou uma tendência de aumento significativo para todas as regiões do estado, exceto a localidade de Canavieiras que apresentou uma tendência de aumento não significativo.

REFERÊNCIAS

- BAPTISTA DA SILVA, J. et al. Temperatura máxima do ar em Pelotas, RS - tabelas e probabilidade em escala de tempo pentadal. *Revista Brasileira de Meteorologia*. São José dos Campos, v. 20, n. 2, p. 267-276, 2005.
- climática. In: HAMADA, E. (Ed.). *Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003.
- CUNHA, L. V.; OLIVEIRA, R.; Nunes, V. B. Impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos de Portugal. *Water Resources*. v.137, p.201-222, 2002.
- GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. *Annales Geophysicae*, Berlin, v. 4, n. B4, p. 385-400, 1986.
- HASTENRATH, S. & GREISCHAR, L. Further work of Northeast Brazil rainfall anomalies. *Journal of Climate*, n.6, p.743-758, 1993.
- HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T.; ABREU DE SOUSA, J. R.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; BAEZ, J.G.; BARBOSA DE BRITO, J. I.; BARROS, V. R.; BERLATO, M. A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GRIMM, A. M.; JAILDO DOS ANJOS, R.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.; MARINO, M. B.; MEIRA, P. R.; MIRANDA, G. C.; MOLION, L.; MONCUNIL, D. F.; NECHET, D.; ONTANEDA, G.; QUINTANA, J.; RAMIREZ, E.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; VARILLAS, I. T.; VILLANUEVA, J. G.; VINCENT, L.; YUMIKO, M. (2006). "Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature". *Journal of Climate*, v. 19, pp. 1490-1512.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC (2007). "Climate Change – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC". Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- MOURA, A.D., SHUKLA, J. On the dynamics of the droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of Atmospheric Science*, n.38 (12), p.2653-2673, 1981.
- NOBRE, C., SELLERS, P., SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*, n. 4, p. 957-988, 1991.
- PIMENTA, M. T.; SANTOS, M. J.; RODRIGUES, R. A. Susceptibilidade à

desertificação. Revista Florestal, v.11, n.1, p.27-33,1998.

PINTO, S.A.; ASSAD, E.D.; ZULLO JÚNIOR, J.; ÁVILA, A.M.H.
Variabilidade

SANTOS, C. A.; BRITO, J. I. B. (2007). “Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN”. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 22, n. 3, pp. 303-312.

SANTOS, D.; SILVA, V. de P.R;
SOUSA, F.A.S; SILVA, R.A. Estudo de

alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.15, p.492-500, 2010.

SILVA, V. DE P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. Journal of Arid Environments, v.58, n.4, p.575-596, 2004.

SOUSA JÚNIOR, I. F. A influência da urbanização no clima da cidade de Campina Grande, PB. Campina Grande: DCA, 2006.94p. Dissertação Mestrado.