

Tendências e distribuição espacial de variáveis climáticas no estado do Ceará

Trends and spatial distribution of the climate variables of the Ceará state

José Ricardo Ferreira Lopes¹
Djane Fonseca Da Silva^{2(*)}

Resumo

Existe uma grande preocupação de pesquisadores em analisar as variabilidades climáticas que estão acontecendo no planeta, enfatizando-se a detecção de tendências em séries de observações meteorológicas, seja em escala anual, decadal ou ao longo de toda uma série de dados. O intuito deste trabalho foi analisar, utilizando o teste de Mann-Kendall, as tendências e/ou variações nas séries pluviométricas (Total Anual, Média Anual, Média nas estações do ano – Outono, Inverno, Primavera e Verão) e nas séries de insolação (Média Anual, Média nas estações do ano – Outono, Inverno, Primavera e Verão) das oito macrorregiões cearenses: Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), Região do Litoral Oeste, Região de Sobral/Ibiapaba, Região do Maciço de Baturité, Região do Sertão dos Inhamuns, Região do Sertão Central, Região do Litoral Leste/Jaguaribe e Região do Cariri/Centro Sul. Os resultados mostraram que há uma tendência de diminuição de chuvas no estado do Ceará, tendo atenção especial para Noroeste e Centro-sul do Estado. A insolação apresentou diminuição na Região de Baturité e na RMF e aumento nas demais macrorregiões do estado. Com essas informações, os setores públicos e privados podem tomar decisões na implementação de ações de mitigação dos efeitos.

Palavras-chave: teste de Mann-Kendall; precipitação; insolação.

Abstract

There is a great concern among researchers in analyzing climate variability that is happening on the planet, with emphasis on the detection of trends in series of

-
- 1 Agrônomo; Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Unidade Acadêmica Ciências Atmosféricas; Endereço: Rua Aprígio Veloso - de 748/749 ao fim Universitário CEP: 58429-140, Campina Grande, Paraíba, Brasil; E-mail: jrfl_jua@hotmail.com
 - 2 Dra.; Meteorologista; Professora Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Instituto de Ciências Atmosféricas - ICAT, Campus A. C. Simões, Bairro Cidade Universitária, CEP: 57037,000, Maceió, Alagoas, Brasil; E-mail: djanejonseca.icat@gmail.com (*) Autora para correspondência.

Recebido para publicação em 09/02/2015 e aceito em 01/09/2015

Ambiência Guarapuava (PR) v.12 n.1 p. 127 - 145 Jan./Abr. 2016 ISSN 1808 - 0251
DOI:10.5935/ambiencia.2016.01.08

meteorological observations, either on an annual scale, decadal or throughout a series of data. The purpose of this study was to analyze, using the Mann-Kendall test, trends and/or variations in the rainfall series (Total Annual, Annual Average, Average in the seasons of the year - Fall, Winter, Spring and Summer) and in the insolation series (Annual Average, Average in the seasons of the year - Fall, Winter, Spring and Summer) of the eight macroregions in Ceará: Metropolitan Region of Fortaleza (RMF), the West Coast Region, Sobral/Ibiapaba Region, the Maciço de Baturite Region, Sertão dos Inhamuns Region, the Sertão Central Region, East Coast Region/Jaguaribe and Cariri Region/South Center. The results showed that there is a trend of declining rainfall in the state of Ceará, with special attention to the Northwest and South Central State. Insolation showed decrease in Baturite region and in Metropolitan Region of Fortaleza and increase in other geographical regions of the state. By having this information at hand, the public and private sectors can make decisions on the implementation of actions to mitigate the effects of the climate variability in the state.

Key words: Mann-Kendall test; rainfall; insolation.

Introdução

Nos últimos anos, há uma grande preocupação de pesquisadores em analisar as variabilidades climáticas que sempre ocorreram no planeta, principalmente no que se refere a um possível aumento de eventos de precipitação, aumento/diminuição de temperatura, incidência de raios solares, etc.

Kostopoulo e Jones (2005) afirmaram que o aumento nas perdas econômicas devido a extremos no tempo e, especialmente, o aumento nas perdas de vidas, tem sido regularmente notícias de jornais, despertando o interesse da comunidade científica em estudar os fenômenos climáticos, contudo o presente estudo não relaciona o social com tal questão.

Na região Nordeste, estudos que investigam a variabilidade de precipitações têm se mostrado importantes devido aos benefícios causados pelos resultados, os quais podem ser aplicados ao dia a dia. Por isso, torna-se necessário um estudo mais completo de identificação de características e/ou possíveis tendências em séries de precipitação e insolação no

estado do Ceará, importante estado da região Nordeste do Brasil (NEB).

O NEB é conhecido como uma região seca, em que a maioria da população sobrevive da agricultura de sequeiro. O sucesso das culturas implantadas depende da regularidade e da quantidade das chuvas. As variabilidades espacial e temporal da precipitação pluvial nas regiões áridas e semiáridas são fatores limitantes para a agricultura de sequeiro (GRAEF; HAIGIS, 2001). A precipitação pluvial pode variar consideravelmente, até mesmo dentro de alguns quilômetros de distância e em escalas de tempo diferentes, tornando as colheitas das culturas imprevisíveis, em alguns casos. A maior parte do NEB se situa dentro da zona semiárida, com grandes problemas para a sociedade e para os ecossistemas naturais, decorrentes das secas que ocorrem com frequência.

Existem diferentes técnicas sendo usadas para diagnosticar tendências e/ou variações climáticas, entre elas, o teste de tendências de Mann-Kendall, indicado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Pinheiro et al. (2013) utilizaram testes estatísticos para identificar tendências

anuais de evapotranspiração, velocidade do vento, insolação, umidade relativa e temperatura média no município de Crateús – CE. As séries anuais de temperatura máxima, mínima e velocidade do vento apresentam tendências significativas de aumento, já as séries anuais de umidade relativa, insolação e evapotranspiração apresentaram tendência não significativa.

Estudos como Minetti (1998), Minetti et al. (2003), Rusticucci e Penalba (2000), Haylock et al. (2006), Santos e Brito (2007), Santos et al. (2009), Santos e Manzi (2011), Da Silva e Silva (2011), Campos e Ruivo (2009), Lopes e Da Silva (2013), entre outros, empregaram teste de Mann-Kendall, aplicado aqui, a dados de precipitação.

Já, para estudos de tendências em insolação tem-se Kaiser e Qian (2002), Pallé e Butler (2001), Minuzzi et al. (2010) e Da Silva (2014).

Kaiser e Qian (2002) analisaram dados de insolação obtidos de 200 estações na China durante o período de 1954 a 1998 e encontraram uma tendência de decréscimo na insolação de 1,2% por década que, segundo os autores, pode ser atribuída à rápida atividade de emissões de aerossóis de origem antropogênica, que vêm ocorrendo naquele país nas últimas décadas.

Já Pallé e Butler (2001) relataram que diminuição gradual em horas de brilho solar na Irlanda ocorreu desde que os registros começaram. Os autores sugerem que aumento de nebulosidade, é uma possível explicação para o declínio da insolação.

Minuzzi et al. (2010) analisando insolação, entre outras variáveis, pelo teste de Mann-Kendall, encontraram que insolação para Minas Gerais foi a variável com o menor número de tendências significativas e de maior oscilação de sinais. Uberaba, por

exemplo, mostrou decréscimo em janeiro e novembro, de 1961 a 2004, e tendências positivas, em agosto, de 1961 a 1975 e em março, a partir de 1990. O resultado mais importante foi o decréscimo observado na década de 1960 até meados da década de 1990. O mesmo foi citado por Da Silva (2014) que encontrou diminuição da insolação entre 1960 a 1990 e aumento após a década de 90, para a cidade de Maceió (AL), cidade também situada no Nordeste do Brasil, como em nossa área de estudo.

Utilizando o teste de Mann-Kendall, objetivou-se, neste trabalho, analisar as tendências e/ou variações nas séries pluviométricas (Total Anual, Média Anual, Média nas estações do ano – Outono, Inverno, Primavera e Verão) e nas séries de insolação (Média Anual, Média nas estações do ano – Outono, Inverno, Primavera e Verão) das oito macrorregiões cearenses: Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), Região do Litoral Oeste, Região de Sobral/Ibiapaba, Região do Maciço de Baturité, Região do Sertão dos Inhamuns, Região do Sertão Central, Região do Litoral Leste/Jaguaribe e Região do Cariri/Centro Sul.

Para entender melhor os efeitos dessas tendências, pretende-se, também, distribuir, espacialmente e temporalmente, as médias temporais das variáveis para o período de estudo.

Dados e Metodologia

Área de estudo

Neste trabalho, foram escolhidas as macrorregiões cearenses (Figura 1): Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), Litoral Oeste, Sobral/Ibiapaba, Maciço de Baturité, Sertão dos Inhamuns, Sertão Central, Litoral Leste/Jaguaribe e Cariri/

Centro Sul de acordo com a divisão das macrorregiões de planejamento do Ceará da Secretaria do Planejamento e Gestão (SEPLAN). Seguem abaixo, os municípios que compõem cada macrorregião:

•**Região Metropolitana de Fortaleza (RMF)** – Fortaleza, Aquiraz, Caucaia, Chorozinho, Eusébio, Guaiúba, Horizonte, Itaitinga, Maracanaú, Maranguape, Pacajus, Pacatuba, São Gonçalo do Amarante.

•**Litoral Oeste** – Amontada, Apuiarés, Itapajé, Itapipoca, Miraíma, Paracuru, Paraipaba, Pentecoste, São Luís do Curu, Tejuçuoca, Trairi, Tururu, Umirim, Uruburetama, Acaraú, Bela Cruz, Cruz, Itarema, Jijoca de Jericoacoara, Marco, Morrinhos, Barroquinha, Camocim, Chaval, Granja, Martinópolis, Uruoca.

•**Sobral/Ibiapaba** – Carnaubal, Croatá, G. do Norte, Ibiapina, Ipu, São Benedito, Tianguá, Ubajara, Viçosa do Ceará, Alcântaras, Cariré, Coreaú, Forquilha, Frecheirinha, Graça, Groaíras, Hidrolândia, Irauçuba, Massapé, Meruoca, Moraújo, Mucambo, Pacujá, Pires Ferreira, Reriutaba, Santana do Acaraú, Senador Sá, Sobral, Varjota.

•**Sertão Central**- Canindé, Caridade, General Sampaio, Itatira, Paramoti, Santa Quitéria, Banabuiú, Boa Viagem, Choro, Ibaretama, Ibicuitinga, Madalena, Quixadá, Quixeramobim, D.Irapuan Pinheiro, Milha, Mombaça, Pedra Branca, Piquet Carneiro, Senador Pompeu, Solonopole.

•**Litoral Leste/Vale do Jaguaribe** – Aracati, Beberibe, Cascavel, Fortim, Icapuí, Itaiçaba, Pindoretama, Alto Santo, Jaguaruana, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Palhano, Quixeré, Russas, S. João do Jaguaribe, Tabuleiro do Norte, Ererê, Iracema, Jaguaretama, Jaguaribara, Jaguaribe, Pereiro, Potiretama.

•**Sertão Inhamuns** – Ararendá, Catunda, Crateús, Independência, Ipaoranga, Ipueiras, Monsenhor Tabosa, Nova Russas, Novo Oriente, Poranga, Tamboril, Aiuaba, Arneiróz, Parambu, Quiterianópolis, Tauá.

•**Cariri/Centro Sul** – Acopiara, Cariús, Catarina, Iguatu, Jucás, Orós, Quixelô, Baixio, Cedro, Icó, Ipaumirim, Lavras da Mangabeira, Umari, Várzea Alegre, Altaneira, Antonina do Norte, Araripe, Assaré, Campos Sales, Crato, Nova Olinda, Potengi, Saboeiro, Salitre, Santana do Cariri, Tarrafas, Barbalha, Caririçu, Farias Brito, Granjeiro, Jardim, Juazeiro do Norte, Abaiara, Aurora, Barro, Brejo Santo, Jati, Mauriti, Milagres, Missão Velha, Penaforte, Porteiras.

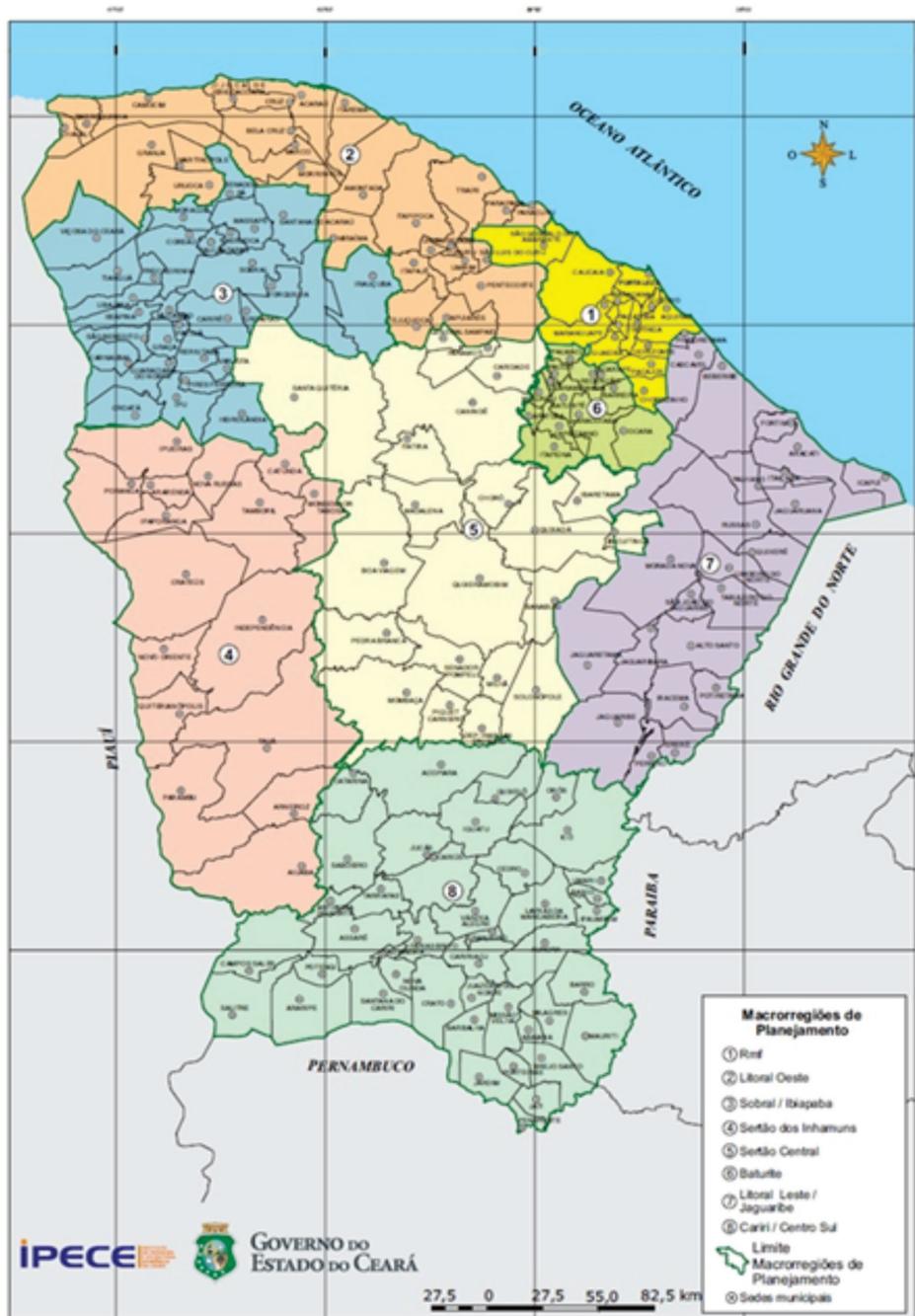
•**Maciço De Baturité** – Acarape, Aracoiaba, Aratuba, Barreira, Baturité, Capistrano, Guaramiranga, Itapiúna, Mulungu, Ocara, Pacoti, Palmácia, Redenção.

Dados

Os dados diários e mensais de precipitação e insolação foram provenientes da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos do estado do Ceará (FUNCEME) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), respectivamente, para série histórica que compreende o período de 1963 a 2010 (48 anos). Esse período de dados foi escolhido devido à sua disponibilidade gratuita.

Esses dados foram obtidos no formato de arquivos binários, posteriormente convertidos em arquivos *.txt*, para serem utilizados em planilha eletrônica Microsoft Excel®. Foram geradas médias mensais para cada localidade e, em seguida, utilizando os mesmos valores, foram geradas as médias anuais e fez-se a divisão anual conforme as estações do ano para

Figura 1- Estado do Ceará e suas oito macrorregiões



Fonte: SEPLAN (2010).

o Hemisfério Sul. Por fim, foram realizadas médias para cada macrorregião.

O preenchimento das falhas das séries temporais de precipitação e insolação foi feito com base das médias climatológicas e por correlação com as estações meteorológicas vizinhas, utilizando os dados das estações que apresentaram as melhores e significativas correlações com a estação de dado faltoso, conforme descrito e utilizado por outros autores (FILL, 1987; BERTONI e TUCCI, 2007; DA SILVA, 2009; STRECK et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2010; DA SILVA, 2012; LOPES, 2013).

Justifica-se a utilização desse método, com frequência, em pesquisas na área de meteorologia, como em Kousky e Chu (1978), Da Silva (2003), Andreoli (2004), Da Silva (2009), Da Silva et al. (2010), Lopes (2013).

As estações meteorológicas utilizadas estão dispostas na Tabela 1, descrevendo suas coordenadas geográficas, nome do posto e Macrorregião do Estado a que pertence.

Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall, sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais, é um teste não paramétrico proposto por Mann (1945) e melhorado por Kendall (1975). É amplamente usado para testar tendências em séries temporais hidrológicas e climatológicas, principalmente porque ele é simples e robusto (XU et al., 2005; BI et al., 2009).

A estatística do teste é a seguinte (SILVA et al., 2010):

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

Em que: x_j são os dados estimados da sequência de valores, n é o comprimento

da série temporal e o sinal $(x_i - x_j)$ é igual a -1 para $(x_i - x_j) < 0$, 0 para $(x_i - x_j) = 0$, e 1 para $(x_i - x_j) > 0$.

Kendall (1975) mostrou que S é normalmente distribuída com média $E(S)$ e variância $\text{Var}(S)$, para uma situação na qual pode haver valores iguais de x , são calculadas pelas equações:

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

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (3)$$

Em que: (t_p) é número de dados com valores iguais num certo grupo (p th) e q é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo p . O segundo termo representa um ajuste para dados censurados.

O teste estatístico parametrizado (Z_{MK}) é computado pela seguinte equação:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{para } S > 0; \\ 0 & \text{para } S = 0; \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{para } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

A presença de uma tendência estatisticamente significativa é avaliada usando o valor de Z . Essa estatística e usada para testar a hipótese nula, ou seja, que nenhuma tendência existe. Um valor positivo de Z_{MK} indica um aumento da tendência, quando negativa indica uma tendência decrescente. Para testar a tendência crescente ou decrescente no nível de significância de p , a hipótese nula é rejeitada se o valor absoluto de Z for maior que $Z_{1-p/2}$, utilizando-se a tabela da distribuição normal cumulativa padrão (Silva et al., 2010).

Os níveis de significância de $P = 0,01$ e $0,05$ foram aplicados neste estudo. Uma estimativa não paramétrica para o valor da

inclinação da tendência é obtida de acordo com Silva *et al.*, (2010):

$$\beta = \text{Median} \left[\frac{x_j - x_i}{j - i} \right] \text{ para } i < j \quad (5)$$

Em que: x_j e x_i são os pontos dados medidos no tempo j e i , respectivamente.

Teste de significância de T-Student

Tal teste foi usado neste trabalho para considerar significativos ou não, os valores das tendências adquiridas com o teste de Mann-Kendall.

Para amostras de tamanho $N > 30$, denominadas grandes amostras, as distribuições amostrais de várias estatísticas são aproximadamente normais e melhores como o crescimento de N . Para amostras de tamanho $N < 30$, denominadas pequenas amostras, essa aproximação não é boa e torna-se pior com o decréscimo de N , de modo que devem ser introduzidas as modificações convenientes. Um dos testes de significância mais utilizados é a “T-Student”, o qual é bastante utilizado nos estudos de meteorologia (KOUSKY; KAYANO, 1994; KAYANO; KOUSKY, 1996; FIGUEROA, 1997; CASTRO, 2002; DA SILVA, 2009), e pode ser calculado da seguinte forma:

$$tc = \frac{t}{\sqrt{n-2}} + t^2 \quad (6)$$

Sendo: t_c = valor do percentil e c é o grau de liberdade. Foi usado $p = 0,95$ ou 95%; t igual ao valor do percentil tabelado de acordo com $v (n-1)$; n é o número de dados.

Uma planilha eletrônica usando o software Excel® foi criada com as fórmulas para se obterem os cálculos das tendências e suas significâncias.

Metodologia utilizada para a Distribuição Espacial

No sentido de ilustrar os resultados obtidos com as séries, representou-se a distribuição espacial dos valores de tendências das séries no estado do Ceará, tanto para precipitação como para insolação a partir de mapas gerados com o software Sufer 9.0, utilizando o método de Kriging.

Resultados

Precipitação

A Tabela 1 mostra as tendências obtidas pelo teste de Mann-Kendall para precipitação aplicada às oito macrorregiões cearenses. As tendências indicaram diminuição com significância estatística para as precipitações em todas as séries analisadas para a RMF. Na região do Litoral Oeste, houve diminuição somente no período da primavera, havendo aumento nos demais períodos. Em Sobral/Ibiapaba, houve diminuição de precipitação em todas as séries analisadas. Em Baturité, só houve diminuição dos totais pluviométricos no período das estações da primavera e verão e aumento nas outras séries analisadas.

Para as precipitações analisadas na região Litoral Leste/Jaguaribe, foram observadas tendências de aumento com significância estatística para o período da estação da primavera, ocorrendo aumento nas demais séries. Entretanto, na Região do Sertão Central, as tendências indicaram uma diminuição bem significativa.

Na região do Cariri/Centro Sul houve aumento nos valores pluviométricos dos períodos das estações do outono e verão, havendo diminuição nas outras séries. Na

região do Sertão dos Inhamuns houve diminuição em todas as séries, exceto no período da estação do Verão.

Os resultados de tendências de diminuição e/ou aumento em séries de precipitação encontrados neste estudo, também foram encontrados por outros autores. Campos e Ruivo (2009), utilizando o teste de Mann-Kendall, encontraram uma tendência para a precipitação em Corumbá (MS) com aumento de 0,88 mm por mês. Como o aumento da precipitação ocorre simultaneamente ao aumento das temperaturas mínimas e médias. Esse padrão pode estar ocorrendo em função da urbanização de Corumbá, pois 90% da cidade é urbanizada e isso acarreta uma mudança no fluxo de calor, fazendo com que o ar se aqueça. Nos resultados encontrados aqui, mesmo com o grande crescimento e urbanização, a RMF mostrou tendência de diminuição na série de precipitação. Nesse caso, a diminuição dos recursos hídricos superficiais locais da vegetação local tem contribuição na diminuição da evapotranspiração e precipitação.

Haylock et al. (2006) observaram uma tendência de aumento do total anual de chuva sobre o Nordeste do Brasil. Santos e Brito (2007) encontraram tendências de aumento da precipitação total anual nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Santos et al. (2009) identificaram, para o estado do Ceará, que ocorreram mudanças locais na precipitação e aumento nas condições de umidade sobre a região. Por fim, Santos e Manzi (2011) observaram que apenas a região norte do Ceará apresenta tendências com alta significância estatística para índices de eventos extremos utilizados em seu estudo.

No sentido Norte/Sul do estado, foram observadas diminuições nas precipitações da

série total anual. Diminuição de precipitação ocorreu no norte do Estado (RMF) até o as Regiões do Sertão Central e do Maciço de Baturité. No entanto, segundo Xavier et al. (1996), o efeito da urbanização na produção de chuvas intensas não está descartado.

Os resultados encontrados aqui são coerentes com os encontrados por Minetti (1998) e Minetti et al. (2003), Rusticucci e Penalba (2000), Haylock et al. (2006) Santos e Brito (2007) e Santos e Manzi (2011).

Insolação

As tendências indicaram diminuição sem significância estatística para as séries de insolação em todas as séries analisadas para a RMF, exceto para a estação da Primavera. Na Região do Litoral Oeste, houve diminuição sem significância estatística somente no período da estação do outono, havendo aumento sem significância estatística nos demais períodos. Na Região de Sobral/Ibiapaba houve aumento sem significância estatística de insolação em todas as séries analisadas, com destaque para o período da estação da primavera. Na Região do Maciço de Baturité, houve diminuição sem significância estatística da insolação em todas as séries estudadas.

Para a insolação analisada na Região do Litoral Leste/Jaguaribe, foram observadas tendências de aumento, sem significância estatística, para todas as séries analisadas. O mesmo padrão das tendências para a insolação foi observada para a Região do Sertão Central, onde as tendências indicaram aumento, sem significância estatística.

Na Região do Cariri/Centro Sul, houve aumento sem significância estatística para as séries de insolação em todas as séries analisadas, exceto para a estação do inverno. Na Região do Sertão dos Inhamuns, houve diminuição sem significância estatística somente nas séries

das estações do inverno e do verão e aumento sem significância estatística nas demais séries analisadas (Tabela 2).

Para as regiões que apresentaram menores horas de brilho solar há um indicativo de uma maior taxa de nebulosidade, pois as nuvens bloqueiam os raios solares e, assim, a insolação é menor à superfície, corroborando com os resultados de Pallé e Butler (2001), Zhang et al. (2004) e Minuzzi et al. (2010).

Distribuição espacial da precipitação no estado do Ceará (1963-2010)

Espacialmente, precipitação na série total anual diminuem no sentido Norte/Sul. Diminuição de precipitação ocorreu no norte do estado (RMF) até as Regiões do Sertão Central e do Maciço de Baturité (Figura 2).

Segundo Xavier et al. (1996), o efeito da urbanização na produção de chuvas intensas não está descartado. No presente

Tabela 1 – Tendências obtidas pelo teste de Mann-Kendall para precipitação aplicada às oito macrorregiões cearenses (1963-2010)

Macrorregiões Cearenses	Tendências (mm)	Total anual	Média anual	Outono	Inverno	Primavera	Verão
Região Metropolitana de Fortaleza	Observada	-9,05	-0,73	-3,79	-0,89	-1,30	-2,70
	Período de 48 anos	-434,40	-35,04	-181,92	-42,72	-62,40	-129,60
Litoral-Oeste	Observada	3,19	0,26*	2,12	0,10*	-0,56	1,55
	Período de 48 anos	153,12	12,48*	101,76	4,80*	-26,88	74,40
Sobral/Ibiapaba	Observada	-4,18	-0,40	-3,98	-0,34	-0,32	-0,20
	Período de 48 anos	-200,64	-19,20*	-191,04	-16,32	-15,36	-9,60
Sertão dos Inhamuns	Observada	-3,22	-0,25	-3,78	-0,04*	-0,2*	0,74
	Período de 48 anos	-154,53	-12,00	-181,44	-1,92*	-9,6*	35,52
Sertão Central	Observada	-7,96	-0,66	-4,03	-0,30*	-0,42*	-3,02
	Período de 48 anos	-382,08	-31,68	-193,44	-14,4*	-20,16*	-144,96
Maciço de Baturité	Observada	1,40	0,11*	0,81	1,64	-0,61	-0,22
	Período de 48 anos	67,20	5,28*	38,88	78,72	-29,28	10,56
Litoral-Leste/Jaguaribe	Observada	-2,52	-0,21*	-2,72	-0,17*	0,58	-0,04*
	Período de 48 anos	-120,96	-10,80*	-130,56	-8,16*	27,84	-1,92*
Cariri/Centro Sul	Observada	-0,10*	-0,01*	0,24	-0,14*	-0,52	0,24*
	Período de 48 anos	-4,80*	-0,48*	11,52	-6,72*	-24,96	11,52*

Fonte: Lopes, J. R. F.; Da Silva, D. F. (2014).

Nota: (*) Sem significância estatística pelo Teste t-Student dentro das macrorregiões cearenses (linhas).

Tabela 2 – Tendências obtidas pelo teste de Mann-Kendall para insolação aplicada às oito macrorregiões cearenses (1963-2010)

Macrorregiões Cearenses	Tendências (h)	Média anual	Outono	Inverno	Primavera	Verão
Região Metropolitana de Fortaleza	Observada	-0,00306*	-0,00149*	-0,01696*	0,00606*	-0,0019*
	Período de 48 anos	-0,14688*	-0,07152*	-0,81408*	0,29107*	-0,0936*
Litoral-Oeste	Observada	0,00135*	-0,00221*	0,00205*	0,00409*	0,00148*
	Período de 48 anos	0,06518*	-0,10608*	0,09840*	0,19651*	0,07147*
Sobral/Ibiapaba	Observada	0,01759*	0,02317*	0,00516*	0,02583*	0,01427*
	Período de 48 anos	0,84475*	1,11316*	0,24796*	1,23980*	0,68496*
Sertão dos Inhamuns	Observada	0,00320*	0,00317*	-0,00098*	0,01318*	-0,00313*
	Período de 48 anos	0,15369*	0,15250*	-0,04704*	0,63264*	-0,15024*
Sertão Central	Observada	0,01104*	0,01107*	0,00770*	0,01897*	0,003573*
	Período de 48 anos	0,52819*	0,53126*	0,36960*	0,91094*	0,171504*
Maçico de Baturité	Observada	-0,01905*	-0,02109*	-0,02786*	-0,01333*	-0,01720*
	Período de 48 anos	-0,91440*	-1,01232*	-1,33728*	-0,63984*	-0,82560*
Litoral-Leste/Jaguaribe	Observada	0,00747*	0,00078*	0,00175*	0,01215*	0,00827*
	Período de 48 anos	0,35700*	0,00313*	0,84187*	0,58330*	0,39740*
Cariri/Centro Sul	Observada	0,00335*	0,00062*	-0,00075*	0,00824*	0,00567*
	Período de 48 anos	0,16072*	0,02959*	-0,03588*	0,39577*	0,27250*

Fonte: Lopes, J. R. F.; Da Silva, D. F. (2014).

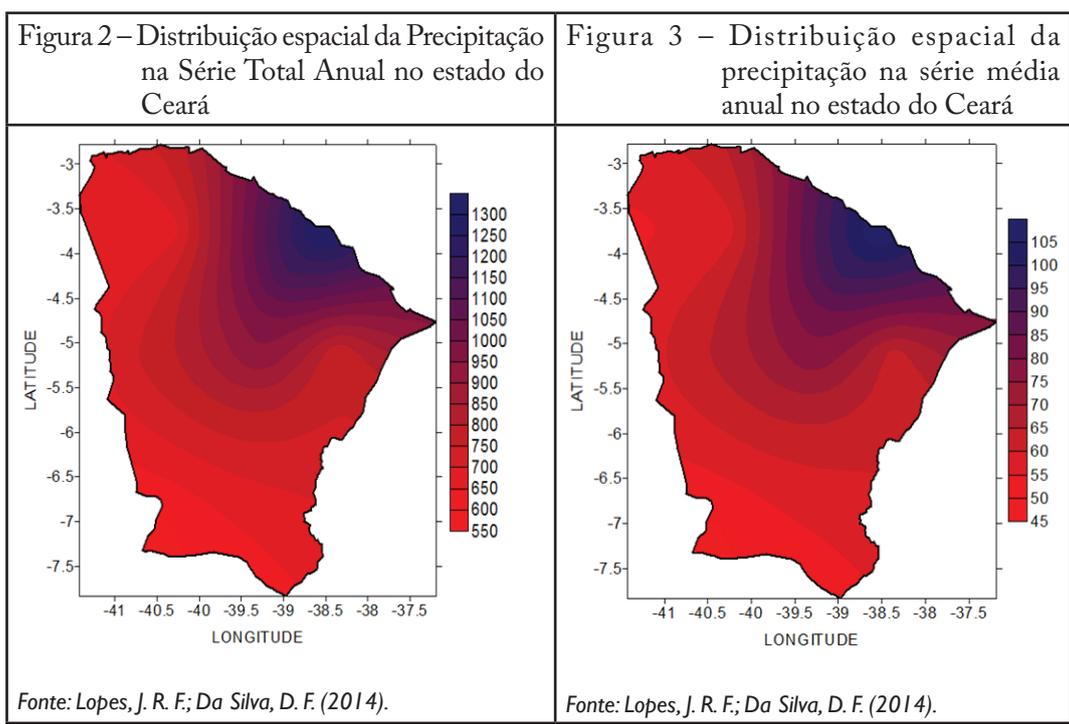
Nota: (*) Sem significância estatística pelo teste t- Student dentro das macrorregiões cearenses (linhas).

estudo, apesar de ter havido um tendência de diminuição de chuvas na RMF, os efeitos urbanos podem estar associados a uma maior ocorrência de chuvas convectivas (pancadas em curto espaço de tempo).

O mesmo padrão foi observado para os dados de precipitação na série média anual, menores valores em direção ao Sul, maiores no Norte e no litoral leste do estado, conforme figura 3.

Para a distribuição espacial na estação do outono, o padrão das precipitações é semelhante ao das séries total anual e média anual; também ocorrem no sentido Norte/Sul. No entanto, há uma melhor dispersão dos totais pluviométricos, atingindo também a porção central (Região do Maçico de Baturité) do estado do Ceará (Figura 4).

A figura 5 mostra a distribuição espacial das tendências das séries na



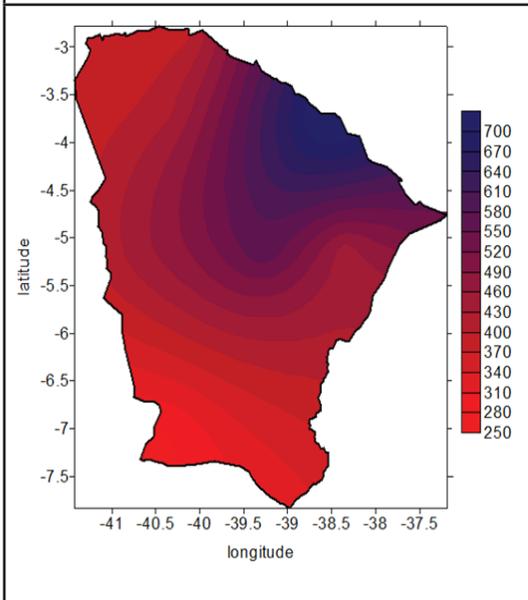
precipitação na estação do inverno, na qual há uma maior concentração dos totais pluviométricos no litoral Leste e ao Sul do estado possuindo os menores valores de precipitação. Essa configuração explica-se pelo fato de o litoral ainda ser influenciado pela ocorrência no período das Ondas de Leste (NEIVA, 1975; DIEDHIOU et al., 1998; KAYANO, 1979; entre outros).

Sousa et al. (2011) apresentaram resultados mostrando que apenas a região Norte do Ceará apresenta tendências com alta significância estatística para os índices de eventos extremos. Existem características de aumento nas intensidades das secas e diminuição dos episódios de precipitação forte. Mostraram, também, que os índices extremos de precipitação, para a região Sul do Ceará, apresentam características semelhantes às apresentadas para a região Norte do Estado.

Na distribuição espacial da precipitação, na estação da primavera, verifica-se aumento nos valores dos totais pluviométricos em uma porção do litoral (RMF) e no extremo sul do estado do Ceará (Região do Sertão dos Inhamuns e Região do Cariri/Centro Sul). Os menores valores foram mostrados em dois núcleos: um na porção noroeste (regiões do Litoral Oeste e Sobral/Ibiapaba) e o outro na porção sudeste do estado, na região Litoral Leste/Jaguaribe (Figura 6).

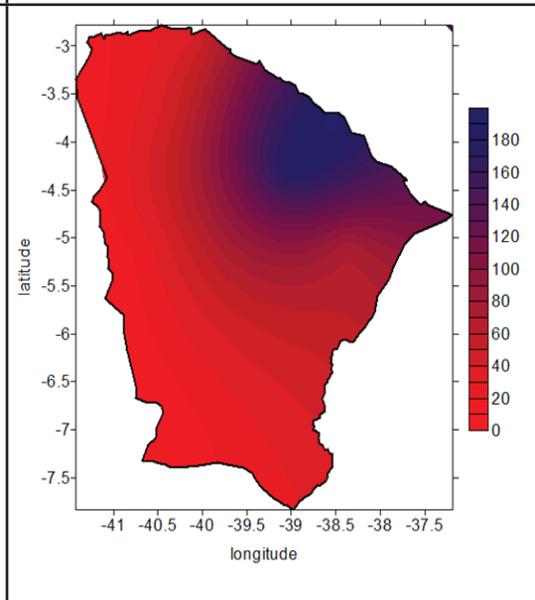
Na estação do verão, houve melhor distribuição das chuvas em todo estado, haja vista que essa estação compreende o período da estação chuvosa em maior parte do estado. Em todo o litoral, houve uma maior concentração de chuvas e os menores valores foram identificados na Região de Sobral/Ibiapaba, verificando-se, também, um pequeno núcleo de menores valores na região do Litoral Leste/Jaguaribe (Figura 7).

Figura 4 – Distribuição espacial da precipitação na estação do outono no estado do Ceará



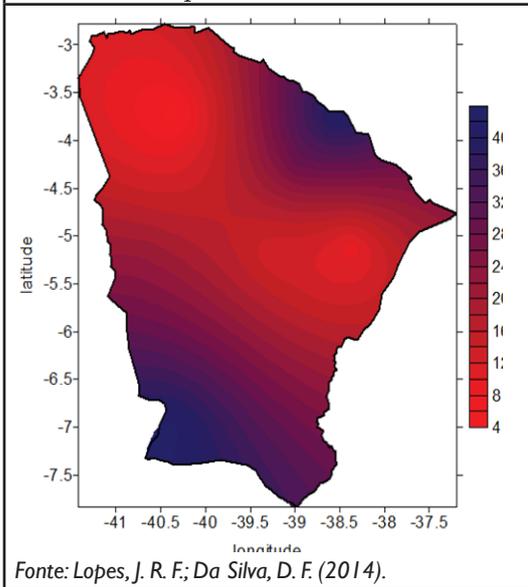
Fonte: Lopes, J. R. F.; Da Silva, D. F. (2014).

Figura 5 – Distribuição espacial da precipitação na estação do inverno no estado do Ceará



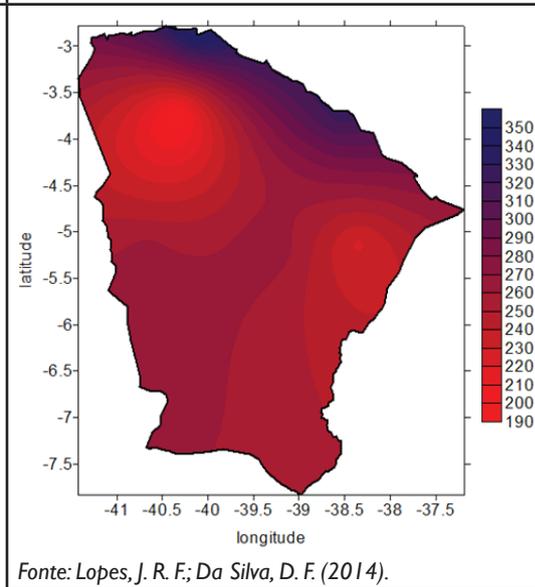
Fonte: Lopes, J. R. F.; Da Silva, D. F. (2014).

Figura 6 – Distribuição espacial da precipitação na estação da primavera no estado do Ceará



Fonte: Lopes, J. R. F.; Da Silva, D. F. (2014).

Figura 7 – Distribuição espacial da precipitação na estação do verão no estado do Ceará



Fonte: Lopes, J. R. F.; Da Silva, D. F. (2014).

Distribuição Espacial da Insolação no estado do Ceará

Espacialmente, a série de insolação média anual aumenta no sentido Norte/Sul, formando um núcleo com menores horas de brilho solar sob a Região do Maciço de Baturité. Os maiores valores foram observados no extremo Sul do estado do Ceará (Figura 08). O mesmo padrão foi observado para a série de insolação na estação do outono, porém os menores valores foram direcionados ao noroeste do estado e os maiores valores também foram observados no extremo sul do estado, conforme figura 9.

Para a distribuição espacial da insolação na estação do inverno, o padrão é semelhante ao da série média anual e estação do outono. No entanto, há uma melhor dispersão dos raios solares, atingindo também a porção

central (Região do Sertão Central) do estado do Ceará. E o extremo sul do estado, mais uma vez, possui os maiores valores de insolação, ou seja, os dias possuem, em média, nove horas de brilho solar, conforme figura 10.

A figura 11 mostra a distribuição espacial da insolação na estação da primavera, na qual há uma melhor distribuição dos totais de insolação, com menores valores na Região do Maciço de Baturité, partindo em sentido ao sul do estado, onde verificamos os maiores valores de insolação.

Isso é evidente nas séries analisadas para a Região do Maciço de Baturité que é favorecida por um microclima devido à grande quantidade de vegetação, existindo, ali uma APA (Área de Proteção Ambiental); o relevo em sua grande parte montanhoso e formado de maciços residuais e depressões sertanejas, registraram-se dias, assim, com uma alta taxa de nebulosidade.

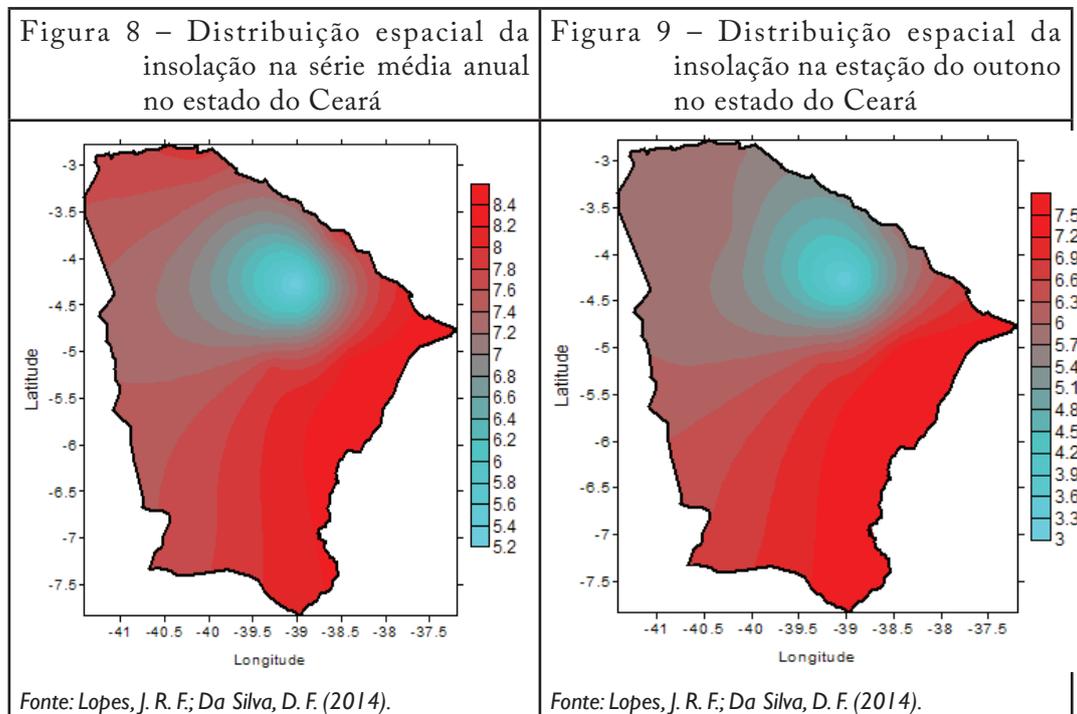
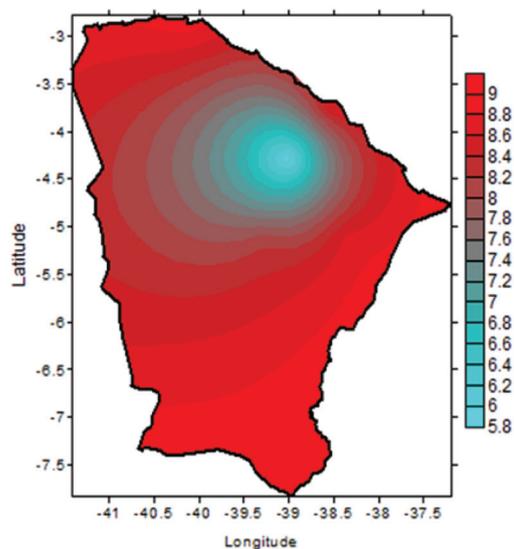
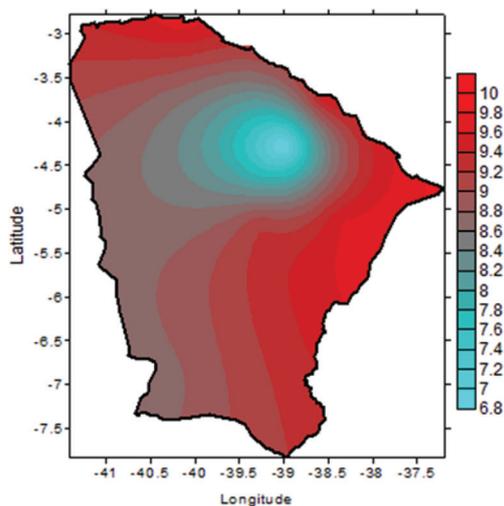


Figura 10 – Distribuição espacial da insolação na estação do inverno no estado do Ceará



Fonte: Lopes, J. R. F.; Da Silva, D. F. (2014).

Figura 11 – Distribuição espacial da insolação na estação da primavera no estado do Ceará

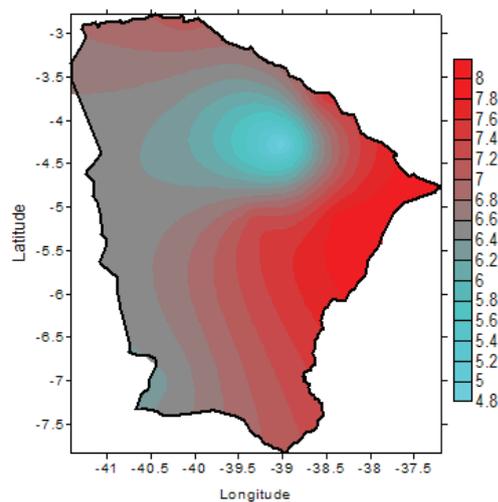


Fonte: Lopes, J. R. F.; Da Silva, D. F. (2014).

Na estação do verão, houve maiores valores de insolação no nordeste do estado do Ceará (Região do Litoral Leste/Jaguaribe). Na porção Oeste do estado e na Região do Sertão Central, foram identificados os menores valores (Figura 12).

Os menores valores de horas de brilho solar ocorrem devido à maior nebulosidade na Região de Baturité, pois as nuvens bloqueiam os raios solares e, assim, a insolação é menor à superfície, corroborando com os resultados de Pallé e Butler (2001), Zhang et al. (2004) e Minuzzi et al. (2010). A região de Baturité tem essa característica devido a sua altitude, microclima próprio, e alta evapotranspiração e vegetação locais.

Figura 12 - Distribuição espacial da insolação na estação do verão no estado do Ceará



Fonte: Lopes, J. R. F.; Da Silva, D. F. (2014).

Conclusões

As informações geradas por este estudo mostraram uma tendência de diminuição de chuvas no estado do Ceará nas séries históricas, tendo atenção especial para o Noroeste e para o Centro-sul do estado. Isso pode ter interferido no desempenho da produção agrícola, na escolha da área para plantio de determinadas culturas e na opção do uso da irrigação e, conseqüentemente, no uso de energia elétrica e setores ligados aos recursos hídricos.

Assim, a diminuição de precipitação no estado, indicada pelas séries em si, podem afetar vários setores da sociedade e da economia, de forma direta e/ou indireta, dentre elas a agricultura, visto que ocorrências extremas, como chuvas frequentes ou muito intensas, podem provocar erosão/degradação do solo,

inviabilização de safras, atraso de colheitas e, até mesmo, ocasionar problemas nas culturas, acarretando redução da produtividade agrícola e aumento do custo de produção.

A insolação apresentou diminuição na Região de Baturité e na RMF e aumento nas demais macrorregiões do estado. Já para Baturité, o microclima, vegetação local e evapotranspiração influenciam para o aumento de nebulosidade e diminuição da insolação local.

Com a diminuição da insolação em algumas áreas e aumento em outras, os cultivos de dia longo e de dia curto poderão apresentar alguma dissonância a esse novo padrão, podendo gerar perdas agrícolas.

Com essas informações, os setores públicos e privados podem se orientar para a tomada de decisões e implementar políticas públicas.

Referências

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; GUEDES, R. L.; OYAMA, M. D.; ALVES, M. A. S. A influência da temperatura da superfície do mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.3, p.337-344, 2004.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2007. p.177 -214.

BI, H. X.; LIU, B.; WU, J.; YUN, L.; CHEN, Z. H.; CUI, Z. W. Effects of precipitation and land use on runoff during the past 50 yr in a typical watershed in Loess Plateau, China. **International Journal of Sediment Research**, n. 24, v. 3, 352-364, 2009.

CAMPOS, I. B. P.; RUIVO, B. C. Análise da tendência climática para a cidade de Corumbá, Mato Grosso do Sul. SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2., 2009, Corumbá. **Anais...** Corumbá/São José dos Campos: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2009. p.90-98.

CASTRO, C. A. C. **Interações Trópicos-Extratrópicos na escala de tempo intra-sazonal durante o verão austral e seus efeitos na América do Sul**. 2002. 162 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo, 2002.

DA SILVA, D. F. **Influência da variabilidade climática interanual na hidrologia da bacia do rio São Francisco**. 2003. [s. f.]. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Meteorologia) - Universidade Federal de Alagoas, UFAL, 2003.

DA SILVA, D. F. **Análise de aspectos climatológicos, ambientais, agroeconômicos e de seus efeitos sobre a bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE)**. 2009. 174 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande, 2009.

DA SILVA, D. F.; SOUSA, F. A. S.; KAYANO, M. T. Escalas temporais da variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mundaú. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 3, p. 324-332, 2010.

DA SILVA, D. F.; SILVA, R. A. Uso do teste de Mann-Kendall para detecção de tendências climáticas comparativas entre regiões cearenses. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 4., 2011, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SIC, 2011.

DA SILVA, D. F. O uso de estatística em climatologia. In: GALVÍNIO, Josiclêda Domiciano. (Org.). **Mudanças climáticas e biodiversidade**. 1.ed. Recife: Editora Universitária UFPE, 2012. v. 1, p. 263-314.

DA SILVA, D. F. Tendências e periodicidades da insolação em Maceió (AL): efeitos do global dimming? In: GALVÍNIO, J. D.; MEIRA, W. S. (Org.). **Mudanças climáticas e biodiversidade**. 1. ed. Recife: Editora Universitária UFPE, 2014. v. 1, p. 55-87. (ISBN 978-85-415-0356-3).

DIEDHIOU, A.; JANICOT, S.; VILTARD, A.; DE FÉLICE, P. ; LAURENT, H. A fast eastern waves in West Africa troposphere. **Meteor. Atmos. Physics**, v. 69, p.39-47, 1998.

FIGUEROA, S. N. **Estudo dos sistemas de circulação de verão sobre a América do Sul e suas simulações com modelos numéricos**. 1997. 190 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 1997. (INPE-7121-TDI/672).

FILL, H. D. Informações hidrológicas. In: BARTH, F. T.; POMPEU, C. T.; TUCCI, C. E. M.; KELMAN, J.; BRAGA JÚNIOR, B. P. F. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel – ABRH, 1987. p. 95-202.

GRAEF, F.; HAIGIS, J. Spatial and temporal rainfall variability in the sahel and it's effects on formen management strategies. **Journal of Arid Environments**, v.48, p.221-231, 2001.

HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIÇÃO, Y. M. T.; BAEZ, J. ; BARROS, V. R.; BERLATO, M. A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIA, V. J.; GRIMM, A. M.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.; MARINO, M. B.; MONCUNILL, D. F.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; TREBEJO, I.; VICENT, L. A. Trends in total and extreme South America rainfall in 1960-2000 and links with sea-surface temperatures. **Journal of Climate**, v.19, p.1490-1512, 2006.

- KAISER, D. P.; QIAN, Y. Decreasing trends in sunshine duration over China for 1954-1998: indication of increased haze pollution? **Geophys. Res. Lett.**, v.29, n.21, p.2042, 2002.
- KAYANO, M. T.; KOUSKY, V. E. Tropical circulation variability with emphasis on interannual and intraseasonal time scales. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 11, n. 1 e 2, p. 06 -17, Jun. 1996.
- KAYANO, M. T. **Um estudo climatológico e sinótico utilizando dados de radiossondagem (1968-1976) de Manaus e Belém.** 1979. 111 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 1979.
- KENDALL, M. G. **Rank correlation measures.** London: Charles Griffin, U.K, 1975. p.220.
- KOSTOPOULOU, E.; JONES, P. D. Assesment of climate extremes in the Eastern Meditterreanean. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 89, p. 69-85, 2005.
- KOUSKY, V. E.; CHU, P. S. Fluctuations in annual rainfall for northeast Brazil, **Journal of Meteorological Society of Japan**, v.56, p.457-466, 1978.
- KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. **Journal of Climate**, v.7, p.1131-1143, 1994.
- LOPES, J. R. F. **Análise de tendências climáticas em variáveis meteorológicas no estado do Ceará.** 2013. [s.f.]. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, UFC, *Campus Cariri*, 2013.
- LOPES, J. R. P.; DA SILVA, D. F. Aplicação do teste de Mann-Kendall para análise de tendência pluviométrica no Estado do Ceará. **Revista de Geografia**, Recife, v. 30, n.3, p. 192-208, 2013.
- MANN, H. B. Econometrica. **The econometric society**, v.13, n.3, p.245-259, 1945.
- MINETTI, J. L. Trends and jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15 degrees S. **Atmosfera**, v.11, p.205-221, 1998.
- MINETTI, J. L.; VARGAS, W. M.; POBLETE, A. G.; ACUNA, L. R.; CASAGRANDE, G. Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. **Atmosfera**, v.16, p.119-135, 2003.
- MINUZZI, R. B.; VIANELLO, R. L.; SEDIYAMA, G. C. Oscilações climáticas em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 227-236, 2010.
- NEIVA, E. J. F. **An investigation of wave-type disturbances over the Tropical South-Atlantic.** 1975. [s.f.]. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Naval Post Graduate School, Monterrey, California, USA, 1975.

PINHEIRO, A. G.; ARRES, F. D. D.; NASCIMENTO, F. A. L.; MECEDO, K. G. LIMA JUNIOR, J. C. Aplicação da análise estatística para identificação de tendências climáticas no município de Crateús-Ceará, Brasil. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO – SBRNS, 1., 2013. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, 2013. p. 1-6.

OLIVEIRA, L. F. C.; FIOREZE, A. P.; MEDEIROS, A. M. M.; SILVA, M. A. S. Comparação de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 11, p. 1186-1192, 2010.

PALLÉ, E.; BUTLER, C. J. Sunshine records from Ireland: Cloud factors and possible link to solar activity and cosmic rays. **International Journal of Climatology**, v.21, n.6, p.709-729, 2001.

RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O. Interdecadal changes in the precipitation seasonal cycle over Southern South America and their relationship with surface temperature. **Climate Research**, v.16, p.1-15, 2000.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semiárido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.3, p. 303-312, 2007.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B.; RAMANA RAO, T. V.; MENEZES, H. E. A. Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 39-47, 2009.

SANTOS, C. A. C.; MANZI, A. O. Eventos extremos de precipitação no estado do Ceará e suas relações com a temperatura dos oceanos Tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.1, p.157-165, 2011.

SILVA, R. A.; SILVA, V. P. R.; CAVALCANTI, E. P.; SANTOS, D. N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n.5, p. 501-509, 2010.

SOUSA, L. H. G.; BORGES, C. K.; RAMOS, A. R. D.; SANTOS, C. A. C.. Eventos extremos de precipitação no estado do Ceará. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 4., 2011, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: IV SIC, 2011. [s.p].

STRECK, N. A.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; GABRIEL, L. F.; PAULA, G. M. de. Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a oscilação decadal do Pacífico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p.1553-1561, 2009.

XU, Z. X.; TAKEUCHI, K.; ISHIDAIRA, H.; LI, J. Y. Long-term trend analysis for precipitation in Asian Pacific FRIEND river basins. **Hydrological Processes**, v.19, p.3517-3532, 2005.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, M. A. F. S. Evolução da precipitação diária num ambiente urbano: o caso da cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 9, n. 1, p. 44-53, 1996.

ZHANG, Y. L.; QIN, B. Q.; CHEN, W. M. Analysis of 40 years records of solar radiation data in Shanghai, Nanjing and Hangzhou in Eastern China. **Theoretical and Applied Climatology**, v.78, p.217-227, 2004