

NOVO MÉTODO PARA COMPREENDER TENDÊNCIAS NA TEMPERATURA DO AR: ESTUDO DE CASO PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

LOUISE PEREIRA DA SILVA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

SUSANE ETERNA LEITE MEDEIROS
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

PAULA ROSE DE ARAUJO SANTOS
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

RAPHAEL ABRAHÃO

Introdução

No Brasil, a temperatura média do ar tem apresentado aumentos significativos em diversas regiões. É um país vulnerável às mudanças climáticas atuais e ainda mais às mudanças climáticas futuras, especialmente quando se trata de eventos extremos (MARENGO et al., 2011). O clima é uma das características mais importantes de regiões semiáridas, sendo responsável pelo sucesso ou fracasso das atividades agrícolas (MOURA; SOBRINHO; SILVA, 2019).

Problema de Pesquisa e Objetivo

Os estudos relacionados ao clima da região semiárida do Brasil têm sido um grande desafio devido à ausência de séries completas e longas de dados climáticos. Este trabalho visa investigar possíveis alterações e mudanças na distribuição do parâmetro de temperatura média do ar, utilizando um novo método baseado na análise de cluster de modo complementar à já tradicional análise de tendências pelo método de Mann-Kendall.

Fundamentação Teórica

De acordo com o sexto relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), foram observados importantes aumentos na temperatura média anual do planeta (1850-2020) e a influência humana foi apontada como a principal causadora desse aquecimento (IPCC, 2021). Variações nas anomalias de temperatura ocorreram em todo o globo, destaque para uma área no norte da Eurásia onde a temperatura esteve mais de 5 °C acima da média (1981-2010) (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2021).

Metodologia

O seminário brasileiro abrange boa parte da região Nordeste do Brasil, além do norte de Minas Gerais. Os dados históricos de temperatura média do ar mensal foram solicitados ao Banco de Dados Meteorológicos (BDMT) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), desde o início da instalação das estações meteorológicas até o final do ano de 2020. A análise de cluster foi aplicada para avaliar o comportamento da temperatura média do ar ao longo dos anos. Além disso, o teste não-paramétrico de Mann-Kendall (MK), quantificado pelo declive de Sen.

Análise dos Resultados

Para cada estação, três ou dois grupos foram formados para analisar, identificar e comparar as mudanças de padrão. Para as estações do norte do semiárido, Quixeramobim-CE e Cruzeta-RN, o Grupo 1 representou a concentração dos anos iniciais das séries (ano mediano 1973 e 1976, respectivamente) e apresentou o menor valor anual de temperatura média do ar. Na comparação anual, 36 estações apresentaram tendências significativas de aumento na temperatura média do ar. Isso representa um aumento anual em média de 0,05 °C/ano na temperatura média do ar do semiárido.

Conclusão

Com o novo método baseado na análise de cluster, para cada estação meteorológica foram obtidos clusters de anos em que a distribuição sazonal de temperatura do ar era semelhante entre si. Desta forma, o comportamento da temperatura do ar pôde ser avaliado de forma mais específica. Na maioria das localidades na avaliação anual, trimestral e mensal o cluster com os anos mais recentes apresentou aumento da temperatura média do ar. Com o desenvolvimento do trabalho ficou clara a importância de aplicar os dois métodos em conjunto.

Referências Bibliográficas

ASADI ZARCH, M. A.; SIVAKUMAR, B.; SHARMA, A. Assessment of global aridity change. *Journal of Hydrology*, v. 520, p. 300–313, 2015. BABIKER, M. et al. Strengthening and implementing the global response. *Global Warming of 1.5 C an IPCC special report*, 2018. BRASIL, M. DA I. NACIONAL. Ministério da Integração Nacional. Resolução No 115, de 23 de Novembro de 2017., v. 73, p. 32–34, 2017.

Palavras Chave

Mudanças climáticas, Mann-Kendall, Cluster

Agradecimento a órgão de fomento

Os autores desejam agradecer a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ), Edital N° 16/2022 e Programa 22210.12.573.5011.1998. Agradecemos também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), projeto 306783/2018-5 e as bolsas 142451/2018-5 e 167824/2022-8.

NOVO MÉTODO PARA COMPREENDER TENDÊNCIAS NA TEMPERATURA DO AR: ESTUDO DE CASO PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Resumo: O aumento da temperatura do ar global é evidente. Esse aumento está relacionado com ações humanas, que tem um impacto direto na diversidade ambiental, nas atividades agrícolas, no setor energético, na saúde, no transporte, dentre outros. O aumento da temperatura do ar associado às mudanças climáticas vai impactar na sobrevivência de todo ecossistema local em regiões semiáridas. O tradicional teste de Mann-Kendall quantificado pelo declive de Sen foi aplicado em séries de dados históricos de temperatura média do ar fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para verificar a existência de tendências nos dados. Um novo método baseado na análise de cluster foi aplicado para um entendimento mais aprofundado das tendências. Foram observadas tendências significativas de crescimento da temperatura média do ar na comparação anual para 36 estações meteorológicas. Com o novo método baseado na análise de cluster foi observado que para a maioria das estações os anos mais recentes apresentaram aumento da temperatura média do ar, nas avaliações anual, trimestral e mensal.

Palavras-chaves: Mudanças climáticas, Mann-Kendall, Tendências, Cluster.

INTRODUÇÃO

De acordo com o sexto relatório do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), foram observados importantes aumentos na temperatura média anual do planeta (1850-2020) e a influência humana foi apontada como a principal causadora desse aquecimento (IPCC, 2021). Variações nas anomalias de temperatura ocorreram em todo o globo, destaque para uma área no norte da Eurásia onde a temperatura esteve mais de 5 °C acima da média (1981-2010) (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2021). A temperatura média global para 2020 foi de $1,2 \pm 0,1$ °C acima das condições observadas no período pré-industrial (1850–1900) (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2021). Devido às emissões antropogênicas de GEE, os aumentos de temperatura têm se tornado mais frequentes ou intensos, como exemplo, a Amazônia, Nordeste do Brasil, Mediterrâneo, Patagônia, grande parte da África e nordeste da China (JIA et al., 2019). Esses aumentos de temperatura do ar requerem ações complementares de adaptação e desenvolvimento em escala local e regional (BABIKER et al., 2018).

No Brasil, a temperatura média do ar tem apresentado aumentos significativos em diversas regiões. É um país vulnerável às mudanças climáticas atuais e ainda mais às mudanças climáticas futuras, especialmente quando se trata de eventos extremos (MARENGO et al., 2011). O clima é uma das características mais importantes de regiões semiáridas, sendo responsável pelo sucesso ou fracasso das atividades agrícolas

(MOURA; SOBRINHO; SILVA, 2019). O semiárido é uma região fragilizada, marcada por dificuldades econômicas. Apesar de possuir ecossistemas resistentes, as variações no clima nessas regiões podem ser extremamente danosas. Independente do regime de chuvas no semiárido brasileiro, o aumento da temperatura do ar associado às mudanças climáticas é suficiente para causar o aumento da evaporação de lagos, represas, reservatórios e o aumento da evapotranspiração da vegetação (MARENGO et al., 2011).

Os estudos relacionados ao clima da região semiárida do Brasil têm sido um grande desafio devido à ausência de séries completas e longas de dados climáticos. Este trabalho visa investigar possíveis alterações e mudanças na distribuição do parâmetro de temperatura média do ar, utilizando um novo método baseado na análise de cluster de modo complementar à já tradicional análise de tendências pelo método de Mann-Kendall.

MATERIAL E MÉTODOS

- **Descrição da área de estudo**

O seminário brasileiro abrange boa parte da região Nordeste do Brasil, além do norte de Minas Gerais (Figura 1). Dez estados possuem áreas inseridas no semiárido: Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais, totalizando 1.262 municípios (BRASIL, 2017). O semiárido brasileiro apresenta precipitação pluviométrica anual média igual ou inferior a 800 mm, índice de Aridez de *Thornthwaite* igual ou inferior a 0,50 e um percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (SUDENE (SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE), 2017).

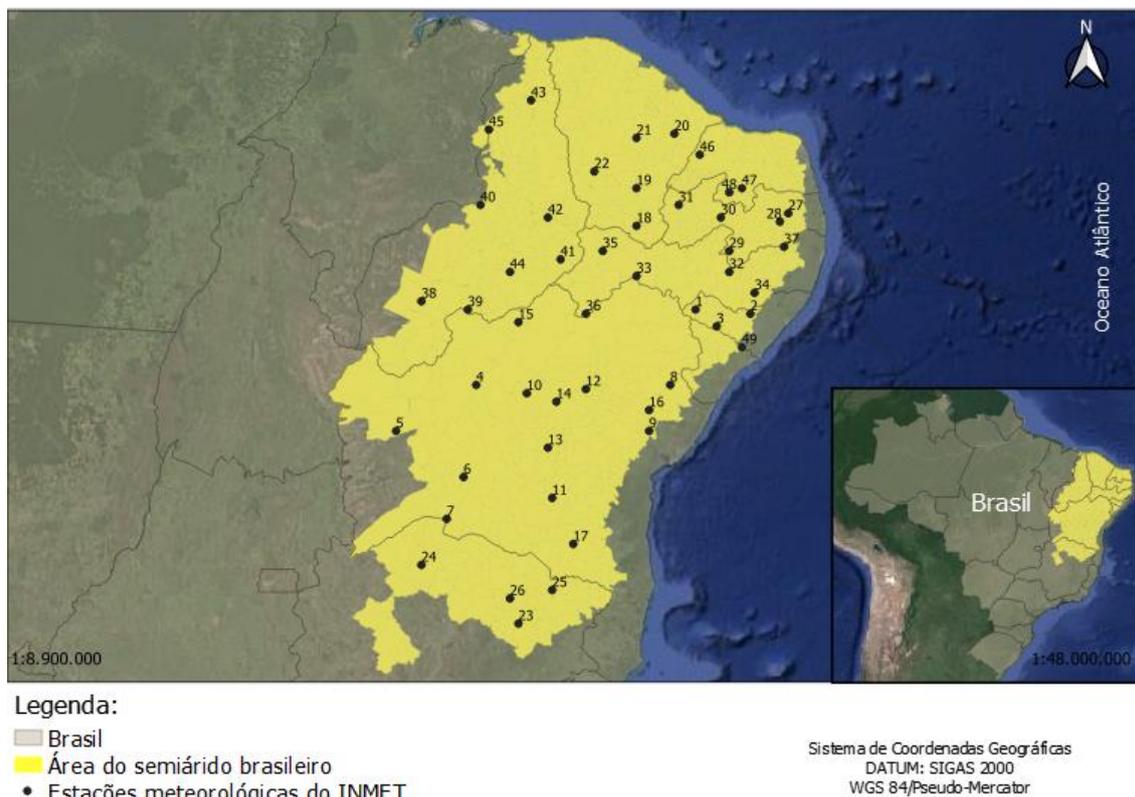


Figura 1- Limites do semiárido brasileiro e localização das estações meteorológicas do INMET.

Fonte: Adaptado de IBGE (2017) e Sudene (2017).

- **Dados meteorológicos**

Os dados históricos de temperatura média do ar mensal foram solicitados ao Banco de Dados Meteorológicos (BDMT) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), desde o início da instalação das estações meteorológicas até o final do ano de 2020. Foram utilizadas 49 estações do semiárido brasileiro. Inicialmente foi realizada uma limpeza na base de dados, eliminando os dados e os anos nulos nas estações selecionadas. Posteriormente, os dados foram separados por meses, para que fossem feitas as médias mensais, anuais e trimestrais (DJF – Dezembro, Janeiro e Fevereiro), (MAM – Março, Abril e Maio), (JJA – Junho, Julho e Agosto), (SON – Setembro, Outubro e Novembro). Na

Tabela 1 estão descritas as estações meteorológicas do INMET pertencentes ao semiárido com o nome das cidades, estado pertencente, localização geográfica, ano de início e final da série de dados e a numeração da estação para localização na Figura 1.

Tabela 1 – Relação das estações meteorológicas do INMET na região do semiárido do Brasil, informando cidade, estado, coordenadas geográficas, altitude, período de coleta de dados e numeração da estação para localização na Figura 1.

Cidade	Estado	Lat. (S)	Long.(W)	Alt.	Início	Final	Estação
Água Branca	AL	-9,3	-37,9	603,4	1978	2020	1
Palmeira dos Índios	AL	-9,4	-36,6	278,0	1978	2020	2
Pão de Açúcar	AL	-9,7	-37,4	20,9	1977	2020	3
Barra	BA	-11,1	-43,1	407,5	1978	2020	4
Barreiras	BA	-12,2	-45,0	447,5	1961	2020	5
Bom Jesus da Lapa	BA	-13,3	-43,4	447,8	1960	2020	6
Carinhanha	BA	-14,3	-43,8	455,3	1978	2020	7
Cipó	BA	-11,1	-38,5	143,5	1964	2020	8
Feira de Santana	BA	-12,2	-39,0	229,5	1966	2020	9
Irecê	BA	-11,3	-41,9	747,2	1974	2020	10
Ituaçu	BA	-13,8	-41,3	534,4	1977	2020	11
Jacobina	BA	-11,2	-40,5	486,4	1961	2020	12
Lençóis	BA	-12,6	-41,4	438,1	1969	2020	13
Morro do Chapéu	BA	-11,5	-41,2	1.001,7	1964	2020	14
Remanso	BA	-9,6	-42,1	397,4	1961	2020	15
Serrinha	BA	-11,7	-39,0	362,4	1966	2020	16
Vitória da Conquista	BA	-14,9	-40,8	879,5	1976	2020	17
Barbalha	CE	-7,3	-39,3	409,4	1974	2020	18
Iguatu	CE	-6,4	-39,3	221,6	1961	2020	19
Morada Nova	CE	-5,1	-38,4	45,0	1963	2020	20
Quixeramobim	CE	-5,2	-39,3	227,3	1961	2020	21
Tauá	CE	-6,0	-40,3	401,9	1968	2020	22
Araçuaí	MG	-16,8	-42,1	317,7	1970	2020	23
Januária	MG	-15,4	-44,4	480,0	1980	2020	24
Pedra azul	MG	-16,0	-41,3	648,0	1974	2020	25
Salinas	MG	-16,2	-42,3	476,1	1976	2020	26
Areia	PB	-7,0	-35,7	571,8	1996	2020	27
Campina Grande	PB	-7,2	-35,9	546,3	1974	2020	28
Monteiro	PB	-7,9	-37,1	606,4	1963	2020	29
Patos	PB	-7,1	-37,3	251,7	1984	2020	30
São Gonçalo	PB	-6,8	-38,3	237,0	1962	2020	31
Arcoverde	PE	-8,4	-37,1	683,9	1974	2020	32
Cabrobó	PE	-8,5	-39,3	342,8	1964	2020	33
Garanhuns	PE	-8,9	-36,5	827,8	1965	2020	34
Ouricuri	PE	-7,9	-40,1	462,0	1977	2020	35
Petrolina	PE	-9,4	-40,5	372,5	1973	2020	36
Surubim	PE	-7,8	-35,8	421,4	1962	2020	37
Bom Jesus do Piauí	PI	-9,1	-44,4	330,6	1974	2020	38
Caracol	PI	-9,3	-43,3	515,3	1995	2020	39
Floriano	PI	-6,8	-43,0	126,6	1973	2020	40
Paulistana	PI	-8,1	-41,1	376,0	1976	2020	41
Picos	PI	-7,1	-41,4	210,1	1967	2020	42
Piripiri	PI	-4,3	-41,8	157,9	1978	2020	43
São João do Piauí	PI	-8,4	-42,3	237,0	1982	2020	44
Teresina	PI	-5,0	-42,8	75,7	1961	2020	45
Apodi	RN	-5,6	-37,8	131,4	1964	2020	46
Cruzeta	RN	-6,4	-36,8	226,3	1969	2020	47
Seridó (Caicó)	RN	-6,5	-37,1	171,3	1997	2020	48
Propriá	SE	-10,2	-36,8	18,5	1969	2020	49

Foi realizada a caracterização da temperatura média do ar para visualizar seu comportamento no período anual e trimestral (DJF, MAM, JJA, SON) usando os dados

meteorológicos da região semiárida do Brasil. Através do *software* QGIS versão 3.18.2 foram criados mapas, com interpolação dos dados do INMET e tratamento da imagem para melhor visualização espacial.

- **Estatística aplicada**

A análise de cluster foi aplicada para avaliar o comportamento da temperatura média do ar ao longo dos anos. As estações selecionadas foram escolhidas levando em consideração o tamanho da série, a partir de 30 anos de coleta de dados. O critério se aplicou em 14 estações. Na análise de cluster os dados são organizados em uma coleção de padrões (geralmente representados como um vetor de medidas ou um ponto em um espaço multidimensional) em conjuntos em função de medidas de similaridade (JAIN; MURTY; FLYNN, 1999). O programa *Statgraphics Centurion VX* foi utilizado.

Além disso, o teste não-paramétrico de Mann-Kendall (MK), quantificado pelo declive de Sen, foi empregado para detectar possíveis tendências nos dados de temperatura média do ar. As estações meteorológicas do INMET selecionadas possuíam mais de 15 anos de dados completos. Esse método já consolidado para estudos com variáveis climáticas é pouco afetado pela presença de “*outliers*” e outras formas de não normalidade (LANZANTE, 1996). O declive de Sen usa um modelo linear para estimar a amplitude da tendência, sendo que a variância residual deve permanecer constante ao longo do tempo (SALMI et al., 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- **Análise de cluster para a temperatura média do ar**

Nas Figura 2 e 3 é possível observar os resultados obtidos para cada estação por meio do novo método baseado na análise de cluster. Para cada estação, três ou dois grupos foram formados para analisar, identificar e comparar as mudanças de padrão. Nas Figura 2 e 3 estão contidas as informações para cada grupo formado dos valores representativos mensais (a), anuais (b) e trimestrais (c), juntamente com os valores históricos correspondentes a todo o período disponível na base de dados fornecida pelo INMET.

Para as estações do norte do semiárido, Quixeramobim-CE e Cruzeta-RN, o Grupo 1 representou a concentração dos anos iniciais das séries (ano mediano 1973 e 1976, respetivamente) e apresentou o menor valor anual de temperatura média do ar. O Grupo 2 representa os anos intermediários em Quixeramobim-CE e em Cruzeta-RN e o Grupo 3 representa os anos mais recentes (ano mediano 2009 e 2007, respetivamente).

Comparando os grupos percebe-se que está ocorrendo um aumento da temperatura nos períodos mais recentes. Esse comportamento pode ser visto anualmente, em todos os trimestres e em todos os meses.

Nas estações de Picos-PI e Barbalha-CE foram obtidos dois agrupamentos, pode-se observar um comportamento semelhante das duas estações anteriores. No grupo com dados mais antigo em Picos-PI (ano mediano 1977) a temperatura média do ar foi de 27 °C enquanto no grupo com dados mais recentes (ano mediano 2006) a temperatura média do ar foi de 28,4 °C. Na estação de Barbalha-CE a diferença entre o Grupo 1 e o Grupo 2 foi maior de 1,7 °C. Também foram observados aumentos na temperatura anualmente, em todos os trimestres e em todos os meses.

Nas estações de Surubim-PE e Monteiro-PB foram observados aumentos gradativos entre os grupos antigos e recentes. Sendo que em Monteiro-PB as diferenças entre as médias das temperaturas dos clusters foram maiores.

Nas duas estações centrais do semiárido, Petrolina-PE e Remanso-BA, no leste em Cipó-BA, Jacobina-BA no noroeste, Barreiras-BA e Bom Jesus da Lapa-BA no oeste e no sul em Salinas-MG também foram observadas características de aumento da temperatura do ar para o grupo mais recente. Em Cipó-BA, apesar do Grupo 3 apresentar temperaturas anuais maiores do que os outros grupos, a diferença entre eles foi pequena e o Grupo 2 foi menor que o Grupo 1. Além disso, em Cipó-BA é possível observar reduções em alguns meses e trimestres, principalmente JJA, que possui os meses mais frios do ano.

Comparando o grupo mais antigo e o mais recente nos períodos trimestrais, no norte do seminário em Quixeramobim-CE e Cruzeta-RN os períodos de MAM e JJA tiveram os maiores aumentos de temperatura média do ar, período em que normalmente as temperaturas do ar são mais baixas. O mesmo ocorreu em Barbalha-CE, Monteiro-PB e Petrolina-PE, estações localizadas no centro do semiárido, assim como em Bom Jesus da Lapa-BA e Salinas-MG no sul do semiárido. Em Petrolina-PE o percentual de aumento na temperatura foi de 14% no trimestre de MAM entre o grupo mais antigo e o mais recente. As estações de Bom Jesus da Lapa-BA e Salinas-MG foram as que apresentaram maiores aumentos de temperatura média do ar entre o Grupo 1 o Grupo 3 em todos os trimestres analisados. Também foi possível observar a concentração dos dados em cada agrupamento.

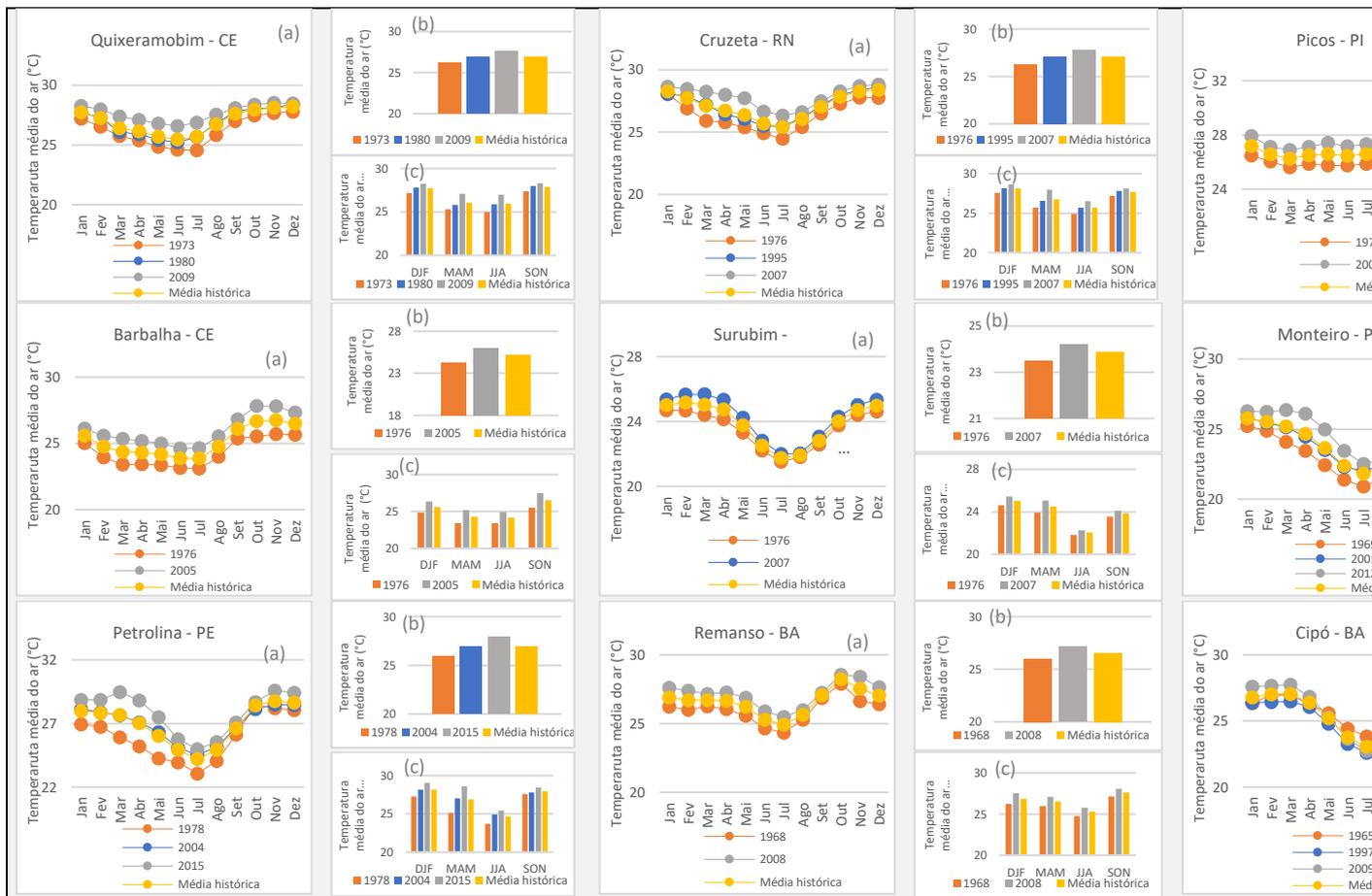


Figura 2- Valores representativos de cada grupo formado a partir do novo método baseado na análise de clus média do ar mensal (a), anual (b) e trimestrial (c) para Quixeramobim-CE, Cruzeta-RN, Picos-PI, Barbalha-CE, Petrolina-PE, Remanso-BA e Cipó-BA. Cada grupo é descrito pela mediana dos anos que o compõem.

Fonte: Autor

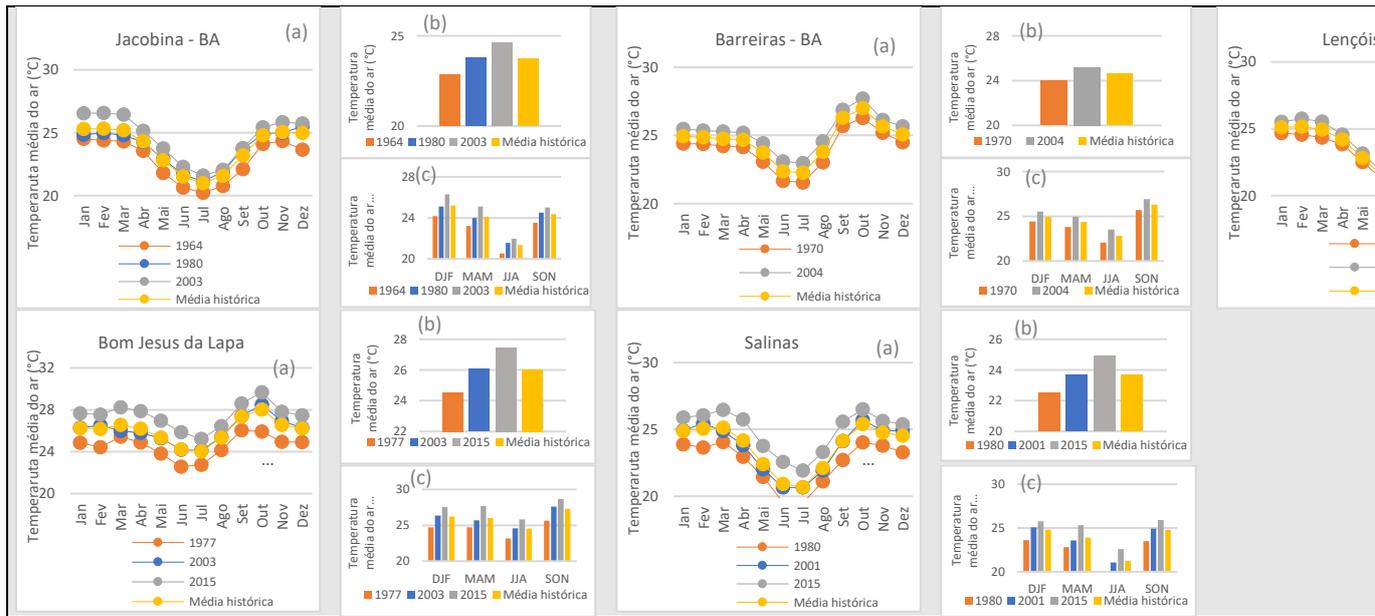


Figura 3- Valores mensais representativos de cada grupo formado a partir do novo método baseado na análise da temperatura média do ar mensal (a), anual (b) e trimestral (c) para Jacobina-BA, Barreiras-BA, Lençóis-BA e Bom Jesus da Lapa-MG. Cada grupo é descrito pela mediana dos anos que o compõem.

Fonte: Autor.

- **Tendências da temperatura média do ar**

Na comparação anual, 36 estações apresentaram tendências significativas de aumento na temperatura média do ar. Isso representa um aumento anual em média de 0,05 °C/ano na temperatura média do ar do semiárido. Os maiores incrementos anuais na temperatura média do ar foram de 0,15 °C/ano ($p < 0,01$) em Cabrobó-PE, 0,11 °C/ano ($p < 0,001$) em Floriano-PI, 0,08 °C/ano em Ouricuri-BA, Irecê-BA, Bom Jesus da Lapa-BA e Januária-MG, 0,07 °C/ano em São João do Piauí-PI e de 0,06 °C/ano em São Gonçalo-PB, Serrinha-BA, Picos-PI e Salinas-MG. Todas essas estações que tiveram destaque estão mais próximas da região central do semiárido, com exceção de Picos-PI.

Avaliando os períodos trimestrais (DJF-MAM-JJA-SON), 22 estações apresentaram tendências significativas de aumentos da temperatura média do ar nos 4 períodos. Os trimestres de MAM e JJA foram os períodos que mais tiveram aumentos associados, 33 estações no trimestre MAM e 31 estações em JJA estiveram mais quentes. Nos trimestres de DJF e SON 28 estações apresentaram aumentos significativos na temperatura média do ar.

Nos períodos de DJF, MAM e JJA os destaques de aumento são para as estações a oeste do estado do Pernambuco e a leste do estado do Piauí próximas ao centro do semiárido. Em JJA e SON o aumento na temperatura média do ar no sul do semiárido ocorreu no estado de Minas Gerais e da Bahia. Em DJF, no estado da Bahia, três pontos apresentaram aumentos, sendo dois localizados no centro e um no leste do estado.

Em Floriano-PI os períodos de JJA e SON foram mais quentes 0,07 °C/ano e 0,08 °C/ano respectivamente ($p < 0,001$). Em Picos-PI, os trimestres DJF e SON tiveram aumentos na temperatura média do ar de 0,08 °C/ano ($p < 0,001$). Em MAM os aumentos na temperatura média do ar em Ouricuri-PE foram de 0,12 °C/ano ($p < 0,01$), 0,09 °C/ano ($p < 0,01$) em São João do Piauí-PI, 0,13 °C/ano ($p < 0,01$) em Arcoverde-PE e 0,22 °C/ano ($p < 0,01$) em Cabrobó-PE. Em Serrinha-BA o aumento na temperatura média do ar em DJF e MAM foi de 0,09 °C/ano ($p < 0,01$). Na estação de Bom Jesus da Lapa-BA, no período de DJF e SON, o incremento na temperatura média do ar foi de 0,09 °C/ano ($p < 0,001$). Em Januária-MG o trimestre JJA tem sido mais quente, com aumentos na temperatura média do ar de 0,09 °C/ano ($p < 0,001$).

Todos os 12 meses do ano apresentaram aumentos significativos da temperatura média do ar em 13 estações. Dessas, uma estação fica no sul do estado do Rio Grande do Norte, uma no leste do estado do Sergipe e uma no norte de Minas Gerais. Mais duas estações no leste do

estado do Piauí, duas no oeste do estado de Pernambuco, duas na Paraíba e quatro estações no estado da Bahia sendo duas a leste e duas a oeste.

Junho foi o mês que apresentou mais tendências significativas de aumento da temperatura média do ar, em 34 estações, seguido do mês de abril com 33 estações. Normalmente as temperaturas durante esses meses são mais baixas, correspondendo ao outono e inverno no hemisfério sul.

A estação de Cabrobó-PE localizada na região central do semiárido bateu recorde de aumento da temperatura média do ar nos meses de janeiro, fevereiro, abril, maio, junho, julho, setembro e dezembro em comparação com as demais estações. Os maiores aumentos foram no mês de abril, $0,23\text{ °C/ano}$ ($p < 0,01$), e em maio, $0,21\text{ °C/ano}$ ($p < 0,01$). No mês de março o maior aumento foi na estação de Serrinha-BA, no leste do semiárido com tendências significativas de crescimento na temperatura média do ar de $0,13\text{ °C/ano}$ ($p < 0,001$). Em agosto, em Januária-MG, no sul do semiárido, o aumento foi igual a Cabrobó-PE, $0,09\text{ °C/ano}$. Em outubro e novembro, em Floriano-PI, na parte oeste do semiárido, a temperatura média do ar aumentou $0,16\text{ °C/ano}$ ($p < 0,001$) e $0,15\text{ °C/ano}$ ($p < 0,01$). Em dezembro, as maiores elevações foram em Floriano-PI e Cabrobó-PE ($0,13\text{ °C/ano}$).

Em nenhum mês foram obtidas tendências significativas em Morada Nova-CE, Barra-BA e Carinhanha-BA. Nas estações de Bom Jesus do Piauí-PI e Vitória da Conquista-BA apenas o mês de abril apresentou aumento significativo na temperatura média do ar de $0,16\text{ °C/ano}$ e $0,05\text{ °C/ano}$, respectivamente. Em Tauá-CE e Cipó-BA apenas os meses de abril e novembro tiveram incrementos significativos na temperatura média do ar. Em Caicó-RN e Areia-PB os meses de junho e agosto foram os únicos que apresentaram aumentos.

Ressalta-se que todos os resultados que poderiam indicar tendência de decréscimo para a temperatura média do ar foram não significativos estatisticamente, são elas Teresina-PI, Morada Nova-CE, Tauá-CE, Caicó-RN, Areia-PB, Patos-PB, Bom Jesus do Piauí-PI, Remanso-BA, Barra-BA, Ituaçu-BA, Carinhanha-BA e Vitória da Conquista-BA.

Foram observadas tendências significativas de aumento da temperatura média do ar nas estações estudadas com as análises de cluster, com exceção da estação de Cipó-BA. O teste de Mann-Kendall, nos períodos anual e trimestral, não foi sensível ao comportamento observado pelo estudo do cluster em Cipó-BA, visto que a temperatura média do ar variou pouco. Esse resultado sugere que o novo método baseado na análise de cluster pode ser mais sensível a pequenas mudanças na temperatura do ar.

Avaliando o período trimestral, 11 estações apresentaram tendências significativas de aumento da temperatura do ar em todos os trimestres. Também foram observados aumentos gradativos entre os períodos trimestrais dos agrupamentos antigos e recentes.

A análise de tendências em conjunto com a análise de cluster permitiu observar como ocorreram essas alterações nos padrões de temperatura média do ar ao longo dos anos para as localidades estudadas no semiárido brasileiro.

O teste de Mann-Kendall é comumente utilizado para análises de tendências climáticas (ETERNA et al., 2018; MEDEIROS et al., 2019, 2021b; SHAHFAHAD et al., 2022; SIDDIQUI et al., 2021; SILVA et al., 2020; ZHANG et al., 2018), por ser recomendado pela Organização Internacional de Meteorologia (FANG et al., 2019). É um teste não paramétrico que tem capacidade de tolerar *outliers* e não necessitam de series temporais normalmente distribuídas como entrada

A aplicação das análises de agrupamento pode facilitar a análise de tendências (KOUSARI; AHANI; HENDI-ZADEH, 2013). No estudo de caso da temperatura máxima do ar no Irã durante 1960-2005, o teste MK foi usado para determinar tendências em séries temporais e os clusters foram utilizados para mostrar o padrão de distribuição espacial dos dados na região (KOUSARI; AHANI; HENDI-ZADEH, 2013).

O método de cluster foi utilizado para verificar a distribuição espacial dos dados do Índice de Evapotranspiração de Precipitação Padronizada na Índia durante 1901-2015 (CHOUDHURY et al., 2021). Posteriormente esses dados foram submetidos ao teste de tendência MK. O método de agrupamento foi a abordagem estatística utilizada para identificar regiões homogêneas, com base na similaridade do padrão de irradiação solar superficial, o teste de MK foi aplicado para avaliar as tendências na região Nordeste do Brasil no período de 2005 a 2015 (LIMA et al., 2019).

O teste de Mann-Kendall em conjunto com a análise de cluster foi aplicado em dados de aridez global entre 1960 e 2009 (ASADI ZARCH; SIVAKUMAR; SHARMA, 2015). O cluster foi aplicado com objetivo de observar a distribuição espacial, e a tendência desses grupos foram comparadas com as tendências do teste de MK. Os resultados obtidos pelas análises de cluster estiveram em concordância com os resultados obtidos no teste de MK (ASADI ZARCH; SIVAKUMAR; SHARMA, 2015). O uso dos clusters também traz informações adicionais sobre as mudanças ocorridas durante períodos específicos (ASADI ZARCH; SIVAKUMAR; SHARMA, 2015). Os clusters também são aplicados para visualizar a distribuição espacial, como no estudo da

temperatura mínima média anual do ar em que os dados foram agrupados pelo método de cluster entre os anos de 1981 a 2015, para o semiárido brasileiro (GARCÍA-GARIZÁBAL; ABRAHÃO; MEDEIROS, 2020).

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ), Edital N° 16/2022 e Programa 22210.12.573.5011.1998. Agradecemos também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), projeto 306783/2018-5 e as bolsas 142451/2018-5 e 167824/2022-8.

CONCLUSÃO

Dois métodos para compreender tendências na temperatura do ar foram aplicados para a região do semiárido brasileiro: a já consolidada análise de tendências e um novo método baseado na análise de cluster. Com a análise de tendências foram observadas tendências significativas de crescimento na temperatura média do ar na comparação anual em 36 estações meteorológicas. Aumentos significativos foram observados nos períodos mensais e trimestrais na maioria das estações estudadas. Em alguns períodos e estações não foram detectadas variações na temperatura do ar através do teste de Mann-Kendall quantificado pelo declive de Sen.

Com o novo método baseado na análise de cluster, para cada estação meteorológica foram obtidos clusters de anos em que a distribuição sazonal de temperatura do ar era semelhante entre si. Desta forma, o comportamento da temperatura do ar pôde ser avaliado de forma mais específica. Na maioria das localidades na avaliação anual, trimestral e mensal o cluster com os anos mais recentes apresentou aumento da temperatura média do ar.

Com o desenvolvimento do trabalho ficou clara a importância de aplicar os dois métodos em conjunto. A maioria das localidades estudadas apresentou tendências de aumentos significativos na temperatura do ar. Com o novo método baseado na análise de cluster é possível observar de forma mais clara e detalhada como ocorreu esse aumento ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

ASADI ZARCH, M. A.; SIVAKUMAR, B.; SHARMA, A. Assessment of global aridity change. **Journal of Hydrology**, v. 520, p. 300–313, 2015.

BABIKER, M. et al. Strengthening and implementing the global response. **Global Warming of 1.5 C an IPCC special report**, 2018.

BRASIL, M. DA I. NACIONAL. Ministério da Integração Nacional. **Resolução Nº 115, de 23 de Novembro de 2017.**, v. 73, p. 32–34, 2017.

CHOUDHURY, A. et al. Regional variation of drought parameters and long-term trends over India using standardized precipitation evapotranspiration index. **Journal of Environmental Management**, v. 296, n. November 2020, p. 113056, 2021.

ETERNA, S. et al. Assessment of Precipitation Trends in the Sertão Paraibano Mesoregion Avaliação de Tendências de Precipitação na Mesorregião do Sertão Paraibano. p. 344–352, 2018.

FANG, W. et al. Copulas-based risk analysis for inter-seasonal combinations of wet and dry conditions under a changing climate. **International Journal of Climatology**, v. 39, n. 4, p. 2005–2021, 2019.

GARCÍA-GARIZÁBAL, I.; ABRAHÃO, R.; MEDEIROS, S. E. L. Generation of climatic series for thermo-pluviometric characterization of the Brazilian semiarid (1981-2015). **DYNA (Colombia)**, v. 87, n. 215, p. 254–262, 2020.

IPCC. Climate Change 2021. **The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, p. In Press, 2021.

JAIN, A. K.; MURTY, M. N.; FLYNN, P. J. Data clustering. **Intelligent multidimensional data clustering and analysis**, v. 31, n. 3, p. 28–72, 1999.

JIA, G. et al. SPECIAL REPORT: SPECIAL REPORT ON CLIMATE CHANGE AND LAND: Land–climate interactions. p. 131–248, 2019.

KOUSARI, M. R.; AHANI, H.; HENDI-ZADEH, R. Temporal and spatial trend detection of maximum air temperature in Iran during 1960-2005. **Global and Planetary Change**, v. 111, p. 97–110, 2013.

LANZANTE, J. R. Resistant, robust and non-parametric techniques for the analysis of climate data: Theory and examples, including applications to historical radiosonde station data. **International Journal of Climatology**, v. 16, n. 11, p. 1197–1226, 1996.

LIMA, F. J. L. DE et al. The seasonal variability and trends for the surface solar irradiation in northeastern region of Brazil. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 35, n. April, p. 335–346, 2019.

MARENGO, J. A. et al. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas.** [s.l: s.n.].

MEDEIROS, S. E. L. et al. Comparison between observed and estimated data to assess air temperature variability and trends in the Sertão Paraibano mesoregion (Brazil). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 2, 2019.

MEDEIROS, S. E. L. et al. Influence of climatic variability on the electricity generation potential by renewable sources in the Brazilian semi-arid region. **Journal of Arid Environments**, v. 184, n. October 2020, 2021.

MOURA, M. S. B. DE; SOBRINHO, J. E.; SILVA, T. G. F. DA. Capítulo 2 Aspectos meteorológico do semiárido brasileiro. p. 85–104, 2019.

SALMI, T. et al. **Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Solpe Estimates the Excel Template Application MAKESENS.** [s.l: s.n.].

SHAHFAHAD et al. Identification of homogenous rainfall regions with trend analysis using fuzzy logic and clustering approach coupled with advanced trend analysis techniques in Mumbai city. **Urban Climate**, v. 46, n. September, p. 101306, 2022.

SIDDIQUI, A. et al. Analysing the day/night seasonal and annual changes and trends in land surface temperature and surface urban heat island intensity (SUHII) for Indian cities. **Sustainable Cities and Society**, v. 75, n. September, p. 103374, 2021.

SILVA, W. K. DE M. et al. Sugarcane production and climate trends in Paraíba state (Brazil). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 6, 2020.

SUDENE (SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE). DELIMITAÇÃO DO SEMIÁRIDO. 2017.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **State of the Global Climate 2020.** [s.l: s.n.].

ZHANG, Z. et al. The response of lake area and vegetation cover variations to climate change over the Qinghai-Tibetan Plateau during the past 30 years. **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 443–451, 2018.