

Alisson Souza de Oliveira

Doutor em Recursos Hídricos em Sistemas
Agrícolas, Professor em tempo integral
Universidade Vale do Rio Verde - UninCor
prof.alisson.oliveira@unincor.edu.br

Gustavo Alves Pereira

Graduando em Engenharia Agrícola, UFLA
gustavo.tiguto@gmail.com

André Ferreira Rodrigues

Mestrando em Recursos Hídricos em Sistemas
Agrícolas, UFLA
arodrigues@engenhariaambiental.ufla.br

José de Oliveira Melo Neto

Doutor em Recursos Hídricos em Sistemas
Agrícolas, Professor Adjunto na Universidade
Federal do Tocantins
joseneto_86@hotmail.com

TENDÊNCIAS EM ÍNDICES EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA DO AR NA CIDADE DE UBERABA, MG

Resumo: O planeta vem sofrendo diversas mudanças no clima ao longo das décadas, sendo alvo de estudo para diversos pesquisadores em vários locais no mundo. Dentre as mudanças no clima, destaca-se aumentos na temperatura do ar devido, por exemplo, ao lançamento de concentrações cada vez mais elevadas de gases de efeito estufa ocorrido nos últimos anos, oriundos principalmente das atividades antrópicas, promovendo mudanças a nível global e regional na temperatura do ar. Também, tem-se observado alterações nos regimes pluviométricos em alguns locais. Neste contexto, objetivou-se neste trabalho, avaliar a ocorrência ou não de tendência de alteração nos valores extremos de precipitação e temperatura do ar utilizando-se de três índices de precipitação, SDII, R10mm e R20mm e quatro índices de temperaturas extremas, TNn e TNx; TXn e TXx, respectivamente, relacionados a temperaturas mínimas e máximas do ar. As séries históricas de temperatura do ar foram obtidas da estação meteorológica de Uberaba, MG pertencente ao INMET, compreendendo os períodos de 1961-2010. Empregou-se o teste de tendência não paramétrico de Mann-Kendall e a Regressão Linear Simples. Só foi considerada a presença de tendências nos dados, quando ambos os testes foram estatisticamente significativos ao nível de 5%. Os resultados mostraram tendências significativas de aumento nos três índices relacionados à precipitação. Com relação à temperatura do ar, é observado um aumento generalizado nos valores dos índices TNn, TNx, TXn e TXx no período de 1960 a 2010. Maiores alterações foram observadas nos índices TNx e TXx, refletindo em noites e dias mais quentes.

Palavras-chave: Aquecimento Global. Teste de Mann-Kendall. Temperatura do Ar.

TRENDS IN EXTREME INDICES OF PRECIPITATION AND AIR TEMPERATURE IN THE CITY OF UBERABA, MG

Abstract: The planet has undergone several changes in the climate throughout the decades, being the object of study for several researchers in several places in the world. Among the changes in the climate, there are increases in air temperature due, for example, to the launching of increasingly high concentrations of greenhouse gases occurred in recent years, mainly from anthropic activities, promoting changes at global and regional level in the air temperature. Also, changes in pluviometric regimes have been observed in some places. In

this context, the objective of this study was to evaluate the occurrence or non-trend of change in extreme values of precipitation and air temperature using three precipitation indices, SDII, R10mm and R20mm and four indices of extreme temperatures, TNn and TNx; TXn and TXx, respectively, related to minimum and maximum air temperatures. The historical air temperature series were obtained from the meteorological station of Uberaba, MG belonging to INMET, comprising the periods 1961-2010. The Mann-Kendall non-parametric trend test and the Simple Linear Regression were used. Only the presence of trends in the data was considered when both tests were statistically significant at the 5% level. The results showed significant trends of increase in the three indexes related to precipitation. In relation to the air temperature, a generalized increase in the values of the TNn, TNx, TXn and TXx indices during the period from 1960 to 2010 was observed. Greater changes were observed in the TNx and TXx indices, reflecting on hotter nights and days.

Keywords: Global Warming. Mann-Kendall Test. Air Temperature.

Recebido em: 30/06/2018 - Aprovado em: 20/07/2018 - Disponibilizado em: 30/07/2018

INTRODUÇÃO

As mudanças no clima do planeta, tem causado um aquecimento global que tem sido tema de muitas discussões em vários encontros relacionados ao assunto em todo mundo. Cenários climáticos extremos como secas, inundações e ondas de calor são as principais consequências deste fenômeno (NOBRE et al., 2005). Estes eventos, têm chamado muito atenção nos últimos anos, devido aos seus potenciais riscos e impactos que podem causar na vida da população, economia social e ecossistemas naturais (JIANG et al., 2011).

No cenário mundial, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças

Climáticas (IPCC, 2014) divulgou em seu 5º Relatório de Avaliação Climática (AR5) que o aquecimento global sem precedentes é uma realidade e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) estão entre os motivos. Uma possível solução para minimizar os impactos gerados pelo aquecimento global é a redução drástica da emissão de GEE, caso contrário, o planeta sofrerá uma aumento médio na temperatura de até 5,8 ° C até o final deste século. Entre 2000 e 2010, as emissões de GEE cresceram mais rapidamente do que na década anterior, principalmente devido ao aumento do uso de carvão para geração de energia. Hoje, a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera é a mais alta em 800.000 anos (IPCC, 2014).

Diversos pesquisadores em vários locais do mundo tem se dedicado a pesquisas relacionadas às alterações climáticas que o planeta vem sofrendo ao longo das décadas (ALEXANDER et al., 2006; VARGAS et al., 2008; MARTINEZ et al., 2012; SANTOS, et al., 2013; SHARNA, et al., 2014; OMONDI et al., 2014; POWELL et al., 2015), demonstrando a necessidade de estudos de caráter global e local, que possibilitem a compreensão das causas e as possíveis maneiras para minimizar os impactos causados pelo aquecimento da temperatura do ar.

Considerando como cenário a América do Sul, Barros et al., (2008), verificaram tendências de aumento na precipitação anual em várias regiões. Foram observadas tendências de aumento de até 200 mm, ao longo do período de 40 anos nas regiões da América do Sul subtropical, a leste dos Andes, no noroeste da Argentina e do Uruguai e no sul do Brasil.

No Brasil, segundo o Quinto Relatório de Avaliação (*Fifth Assessment Report – AR5*) do IPCC (IPCC, 2013) considerando o pior cenário analisado, poderão ocorrer acréscimos na temperatura média do ar de 4,0°C até 2100, o que provocaria um novo zoneamento agroclimático em diversas

regiões do país. Além disso, eventos extremos de precipitação e temperatura, também foram observados nos últimos 50 anos.

Minuzzi et al., (2010) trabalhando com séries de temperatura mínima e máxima do ar entre os períodos de 1960 e 2004 no estado de Minas Gerais, verificaram acréscimos variando entre 1,3 e 3,9 °C, tanto nas temperaturas mínimas, quanto nas máximas. Predominando os maiores acréscimos nos meses de setembro e dezembro. Observaram também, aumentos significativos da concentração de vapor d'água e redução da insolação entre as décadas de 1960 até meados de 1990.

Ávila et al. (2014) trabalhando com séries de temperatura mínima e máxima do ar também para o estado de Minas Gerais, obtiveram resultados semelhantes, tendências significativas de aumento das temperaturas mínimas e, em menor escala, das máximas. No mês de julho ocorreram aumentos de até 1,5°C e tendências significativas de aumento de maneira generalizada na maior parte do estado, nos meses de outubro e janeiro, e também na escala anual. Os maiores aumentos das temperaturas mínima e máxima ocorreram no mês de outubro. Só foram constatadas tendências de redução

das temperaturas mínimas no mês de julho.

Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho, verificar se a ocorrência ou não de tendências de aumento ou redução nos índices extremos de temperatura do ar, relacionados às temperaturas mínimas TNn (valor mínimo mensal da temperatura mínima diária) e TNx (valor máximo mensal da temperatura mínima diária), e as temperaturas máximas TXn (valor mínimo mensal da temperatura máxima diária) e TXx (valor máximo mensal da temperatura máxima diária),

para a cidade de Uberaba – MG na região do Triângulo Mineiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Base de dados de Temperatura do Ar

As séries históricas de temperaturas mínima e máxima do ar foram obtidas na rede de monitoramento do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) abrangendo o período de 1961 a 2010. A Estação Climatológica de Uberaba encontra-se na latitude de 19° 44' S, longitude de 47° 57' W e altitude de 737,0 metros (Tabela 1).

Tabela 1 - Estação climatológica do INMET utilizada neste estudo, incluindo o código de identificação, nome/região, coordenadas, altitude e período da série estudada

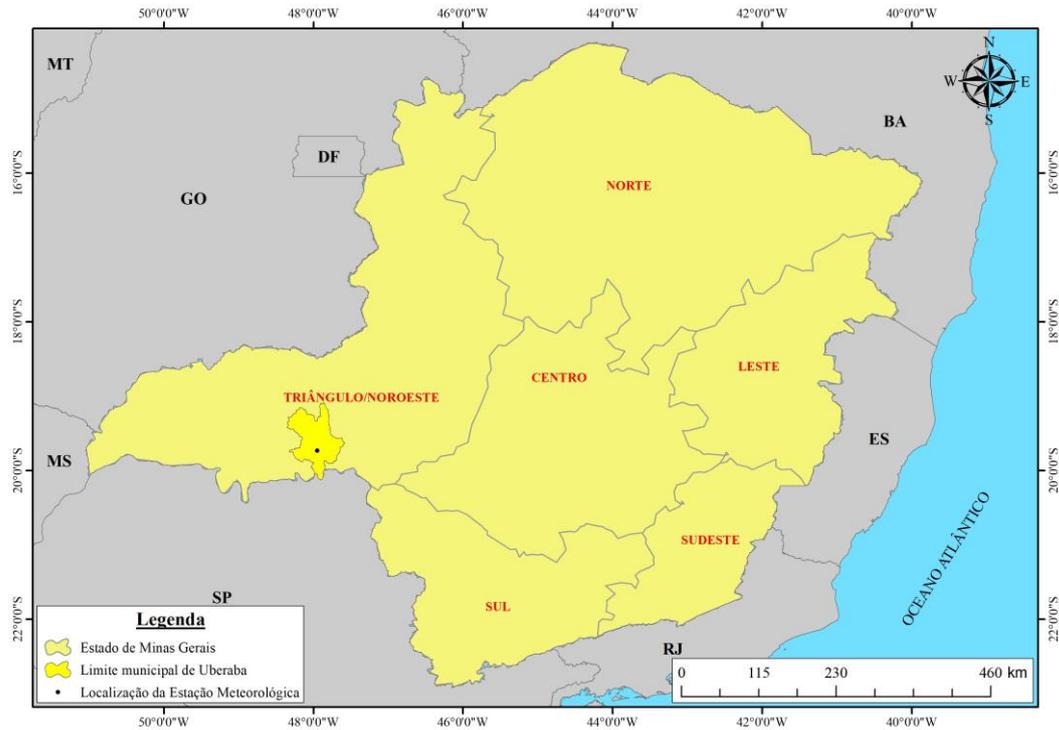
Clima	Código	Município/Região	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período
Aw	83577	Uberaba/T-NW	-19° 44'	-47° 57'	737,0	1961-2010

Fonte: INMET; T-NW: Triangulo - Noroeste

Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, isto é, tropical quente úmido, com inverno frio e seco (TERRA, 2002). Segundo Silva et al. (2003) a precipitação

média anual é da ordem de 1584 mm, com os menores totais precipitados no mês de agosto (12,5 mm) e no mês mais chuvoso 284 mm em janeiro.

Figura 1 - Localização da cidade de Uberaba



Fonte: Próprio autor.

Índices de Eventos Extremos Climáticos Relacionados à Temperatura do Ar

Os índices de eventos extremos climáticos avaliados, juntamente com suas

definições conforme o *Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices* (ETCCDMI), são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Definição dos índices de eventos extremos climáticos baseados em dados de precipitação e temperatura do ar

Índices	Nome do identificador	Definição	Unidade
SDII	Índice de intensidade simples diário	Índice de intensidade de precipitação simples diária, obtido pela precipitação total dividida pelo número de dias chuvosos (> 1,0 mm) no período analisado.	Mm
R10mm	Precipitação maior ou igual a 10 mm	Número de dias com precipitação maior ou igual a 10 mm.	Mm
R20mm	Precipitação maior ou igual a	Número de dias com precipitação maior	Mm

	20 mm	ou igual a 20 mm.	
TNn	Menor temperatura mínima	Menor temperatura mínima diária para o período analisado	°C
TNx	Temperatura mínima mais alta	Maior temperatura mínima diária para o período analisado	°C
TXn	Menor temperatura máxima	Menor temperatura máxima diária para o período analisado	°C
TXx	Máxima temperatura máxima	Maior temperatura máxima diária para o período analisado	°C

O cálculo dos índices foi realizado com a utilização de planilhas em Excel programadas na linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA). Devido à escassez de dados e pela presença de falhas em algumas séries histórica, foram utilizados anos que apresentaram no máximo 65 dias de falha. Para verificar a ocorrência ou não tendência significativa de aumento ou redução nos índices de eventos extremos climáticos analisados foi utilizado o teste de Mann-Kendall e a Análise de Regressão Linear Simples. Foram feitas avaliações na escala.

A verificação da ocorrência ou não de tendência de alteração nos índices climáticos foi realizada utilizando-se o teste não paramétrico de Mann-Kendall e a Análise de Regressão Linear Simples. Só foi considerada a presença de tendências nos dados, quando ambos os testes foram estatisticamente significativos ao nível de 5%.

Teste não-paramétrico de Man-Kendall e Análise de Regressão

O Teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) é um teste estatístico não paramétrico empregado para verificar se uma série de dados possui uma tendência temporal estatisticamente significativa. Pelo fato de ser um teste não paramétrico, apresenta como vantagem, a não necessidade da série de dados ser normalmente distribuída (Yue *et al.*, 2002). Além disso, esse método é pouco influenciado por mudanças abruptas ou séries não homogêneas (Zhang *et al.*, 2009). Porém, o método necessita que os dados sejam independentes e homogêneos (Neeti & Eastman, 2011). Seja uma série temporal de observações, x_1, x_2, \dots, x_n , Mann (1945) propôs para hipótese nula, H_0 , que o dado vindo de uma população onde as variáveis aleatórias são independentes e

igualmente distribuídas. A hipótese alternativa, H_1 , é que os dados seguem uma tendência monotônica no tempo. Sob H_0 , o teste estatístico de Mann-Kendall é:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (3)$$

onde,

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1; & \text{se } x_j \geq x_i \\ 0; & \text{se } x_j = x_i \\ -1; & \text{se } x_j < x_i \end{cases} \quad (4)$$

Kendall (1975) mostra que S é normalmente distribuída, e que a média e a variância de S , para uma situação na qual pode haver valores iguais nos valores de x , são calculadas pelas equações abaixo:

$$E[S_i] = 0$$

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^n t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (5)$$

Considerando a equação (4), um valor positivo de S significa tendência positiva na qual os dados crescem com o tempo. Em contrapartida, um valor negativo de S significa uma tendência negativa. Sabendo-se que S é normalmente distribuído e tem média zero e variância dada pela equação (5), pode-se

checar se a tendência positiva ou negativa é significativamente diferente de zero. Se S é significativamente diferente de zero, H_0 pode ser rejeitada para certo nível de significância apontando para a existência de tendência (H_1 é aceita).

Mann (1945) e Kendall (1975) mostraram que mesmo para valores pequenos de n , pode-se assumir uma distribuição normal desde que o valor da estatística Z seja dado por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{(\text{Var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{(\text{Var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Por se tratar de um teste bilateral para tendência, H_0 deve ser aceito se $Z \leq Z_{\alpha/2}$, onde $F_N(Z_{\alpha/2}) = \alpha/2$, sendo F_N o valor da distribuição normal cumulativa e α o nível de significância do teste.

As alterações climáticas foram indicadas pela utilização da Análise de Regressão por meio da significância angular de uma reta ajustada aos dados analisados. Para tanto, é realizado a determinação do intervalo de confiança do coeficiente angular, caso este intervalo não inclua o valor zero, a tendência é significativa. O teste de significância do coeficiente de regressão foi realizado empregando-se o teste t de Student

(WILKS, 1995) considerando-se o nível de confiança de 5% para comparar com o valor crítico tabelado (teste bilateral), com $n-2$ graus de liberdade. Caso o t calculado seja superior ao tabelado, é rejeitado a hipótese de nulidade, e aceito a hipótese alternativa, que neste caso é definida como existência de tendência. A análise de regressão também foi empregada para estimar o acréscimo ou decréscimo quando houve tendência, seja positiva ou negativa.

Para a realização do teste de Mann-Kendall e a Análise de Regressão foi utilizada a ferramenta XLSTAT versão 2015.6.01 que é um software para análise estatística no Excel. Os mapas foram gerados no aplicativo ArcMap 10.3 do software ArcGis Desktop 10.3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendência dos índices extremos de precipitação estudados para o Município de Uberaba - MG nos últimos 50 anos

Para todos os índices extremos relacionados à precipitação, R10mm, R20mm e SDII, foram encontradas tendências significativas de aumento para o município de Uberaba.

Para o índice R10mm que mostra o número de dias em um ano com

precipitação igual ou superior a 10 mm, foi observada tendência significativa de aumento. Até o ano de 2010 poderá ocorrer um aumento de até 28,1 dias no ano com precipitações iguais ou superiores a 10mm.

Com relação ao índice R20mm que representa o número de dias em um ano em que as chuvas foram iguais ou superiores a 20 mm, também foram identificadas tendências significativas, com aumentos de até 15,5 dias no ano com precipitações superiores à 20 mm.

Para o índice simples de intensidade de precipitação diária (SDII), foi identificada tendência significativa de aumento, podendo chegar a $9,5 \text{ mm.dia}^{-1}$ até 2100.

As tendências de aumento nestes índices indicam que neste município está ocorrendo um aumento no número de dias chuvosos.

Alguns autores têm encontrado resultados semelhantes. Santos et al. (2012), trabalhando com séries de chuvas entre 1971 e 2007 em três estações localizadas na região de Manaus, encontraram resultados significativos de um aumento em vários índices climáticos extremos, incluindo R10mm e R20mm, por duas temporadas. Já Alexander et al. (2006) trabalhando com séries de precipitação entre 1901 e 2003 em um

estudo global, não observaram alterações significativas para os índices R10mm e R20mm. Em relação ao índice SDII, observaram alterações significativas em apenas 14,6% da área de estudo.

Tendência da temperatura mínima do ar no estado de Minas Gerais nos últimos 50 anos

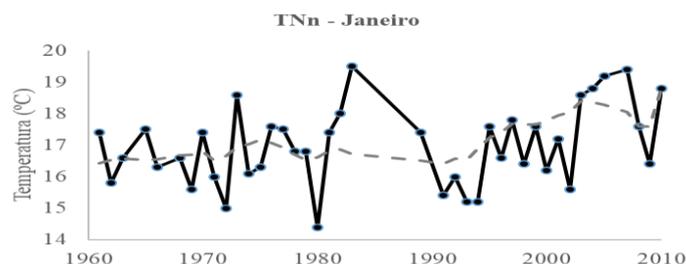
Os resultados a seguir estão relacionados aos índices extremos de temperatura mínima (TNn - o menor valor da temperatura mínima diária, TNx - o maior valor da temperatura mínima diária) para os meses do ano no município de Uberaba. Foram observadas tendências de aumentos nos valores dos índices TNn (nos meses de janeiro, fevereiro e novembro) e TNx (janeiro, fevereiro,

março, setembro, outubro, novembro e dezembro).

No mês de janeiro verificou-se uma tendência positiva significativa no aumento do valor de TNn, principalmente a partir da década de 1990, com taxas de 0,25°C por década (Gráfico 1). Caso este aumento venha a se confirmar, até o ano de 2100, a temperatura mínima do ar poderá elevar-se em até 2°C.

No mês de fevereiro verificou-se uma tendência significativa no aumento do valor de TNn, não ficando evidente a partir de qual momento. O aumento observado é da ordem de 0,34 °C por década, 36% superior ao acréscimo ocorrido no mês de janeiro.

Gráfico 1 - Comportamento do índice extremo de temperatura TNn no mês de janeiro para o período de 1961 a 2010 no município de Uberaba - MG



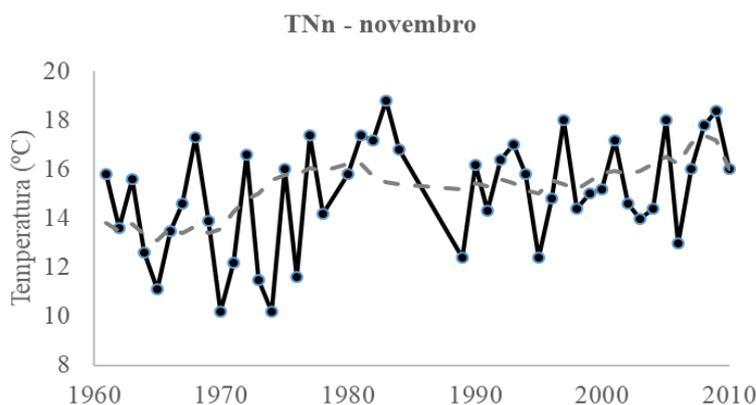
O mês de novembro foi o que apresentou a maior tendência de elevação do índice TNn, sendo observado uma taxa de 0,52°C por década. Observa-se que a

partir da década de 1970 ocorre elevação deste índice, podendo causar uma elevação de 4,3°C na temperatura mínima até o ano de 2100 (Gráfico 2).

Para os demais meses (março, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro) não houveram tendências

significativas de alteração nos valores do índice.

Gráfico 2 - Comportamento do índice extremo de temperatura TNn no mês de novembro para o período de 1961 a 2010 no município de Uberaba - MG

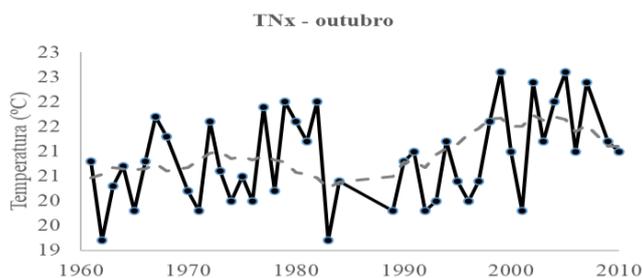


Com relação ao índice TNx, 7 dos 12 meses analisados apresentaram tendências de aumento nos valores deste índice. Os maiores acréscimos ocorreram nos meses de janeiro e outubro, onde foram observadas tendências de aumento a taxas de 0,29 °C por década. Semelhantemente ao índice TNn, o índice TNx aumentou significativamente a partir da década de 1990. Já o mês de outubro, o

aumento vem se pronunciando desde o início da década de 1980 (Gráfico 3).

Os meses de março e dezembro apresentaram tendências de acréscimos no índice TNx a taxa de 0,18 °C por década. Para ambos os meses, os acréscimos se intensificam a partir da década de 1990.

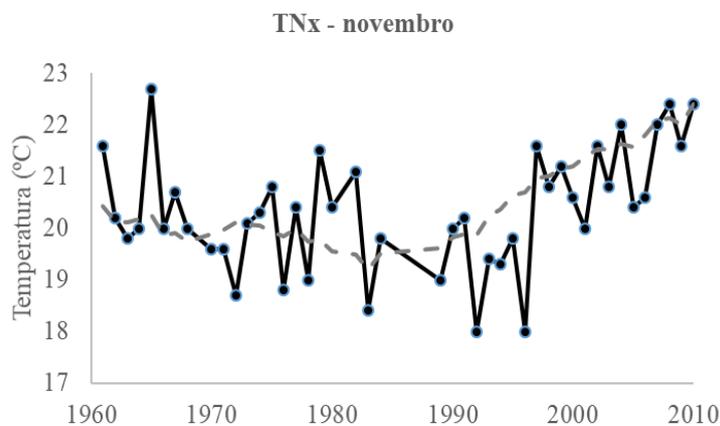
Gráfico 3 - Comportamento do índice extremo de temperatura TNx no mês de outubro para o período de 1961 a 2010 no município de Uberaba - MG



Para os meses de fevereiro e novembro foram identificadas tendências positivas de acréscimos nos valores do índice, respectivamente, de 0,16 e 0,17 °C por década. As elevações nos valores do índice TNx no mês de fevereiro foram

mais pronunciados a partir da década de 1990, já para o mês de novembro foi a partir do início da década de 1980 (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Comportamento do índice extremo de temperatura TNx no mês de novembro para o período de 1961 a 2010 no município de Uberaba - MG



O mês de setembro também apresentou tendência de aumento, chegando a taxas de 0,20 °C por década, o que pode acarretar um acréscimo de até 1,6 °C até o ano de 2100.

Para os meses de abril, maio, junho, julho e agosto não foi verificada tendências de alteração do índice avaliado.

Analisando-se conjuntamente os índices extremos de temperatura mínima, observa-se que os meses de janeiro, fevereiro, março, setembro, outubro, novembro e dezembro tem sido mais quente nos últimos 50 anos, evidenciando que durante estes meses, de fato, tem

ocorrido dias e noites mais quentes. Na maioria dos casos, os aumentos foram mais evidentes a partir da década de 1990, indicando ter ocorrido fato neste período que proporcionou um aquecimento mais acentuado da temperatura do ar.

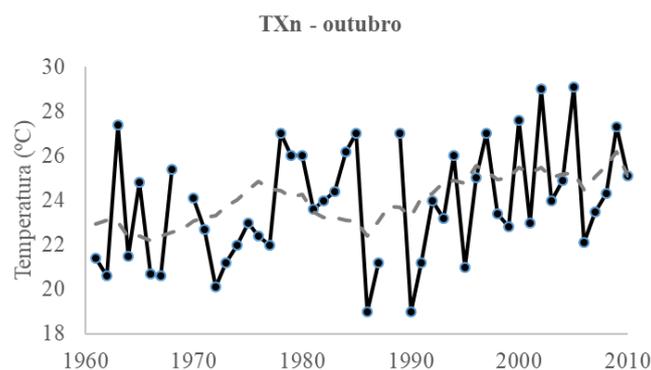
Tendência da temperatura máxima do ar no estado de Minas Gerais nos últimos 50 anos

Com relação aos índices extremos relacionados à temperatura, foram identificadas tendências significativas de aumentos em alguns meses do ano. Para o

índice TXn (menor temperatura máxima diária), foram observadas tendências significativas para os meses de janeiro, outubro e dezembro. Para o mês de janeiro foram identificadas taxas de aumento de 0,3 °C por década, significando um aumento na menor temperatura máxima nos próximos 80 anos de 2,4 °C. Já para o mês de outubro o acréscimo na temperatura identificado é ainda maior, da ordem de 0,6 °C a cada

década, podendo chegar nos próximos 80 anos a um aumento de 4,8 °C, caso nenhuma intervenção seja tomada no sentido de reduzir os impactos ambientais que estão causando o aquecimento global. Para ambos os meses a tendência de elevação da temperatura ocorre no final da década e 1980 e início da década de 1990 (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Comportamento do índice extremo de temperatura TXn no mês de outubro para o período de 1961 a 2010 no município de Uberaba - MG

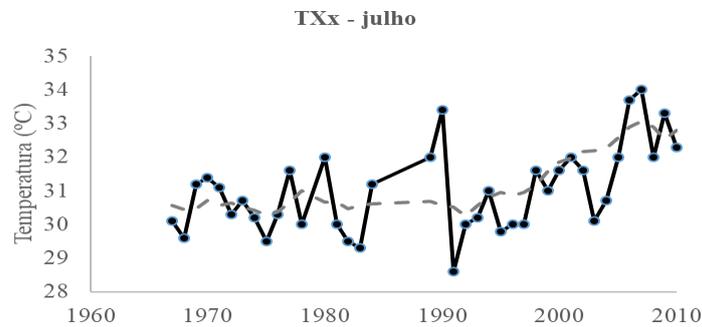


Para os demais não foram identificadas tendências significativas de aumento nos valores deste índice.

Em relação ao índice TXx (maior temperatura máxima diária) foram identificadas tendências significativas de elevação dos valores do índice em 6 dos 12 meses analisados. Os meses que apresentaram as maiores taxas de elevação

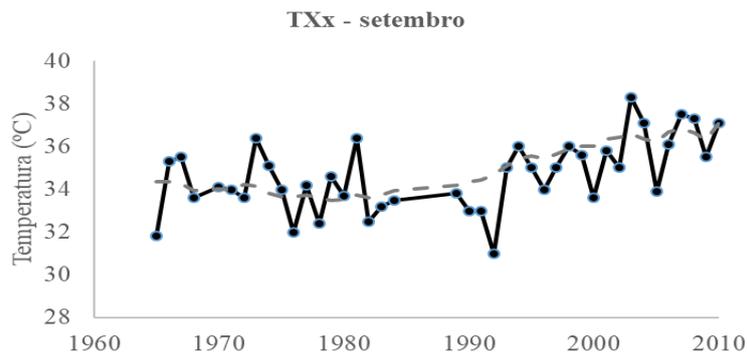
foram setembro e outubro, com respectivamente, 0,6 e 0,7 °C por década. Seguidos dos meses de abril e junho com aumentos de 0,4 °C por década e fevereiro com 0,3 °C por década. Os meses de fevereiro e julho apresentaram acréscimos a partir da década de 1990 (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Comportamento do índice extremo de temperatura TXn no mês de julho para o período de 1961 a 2010 no município de Uberaba - MG



Já os meses de abril, setembro e outubro as elevações das temperaturas foram verificadas a partir da década de 1990 (Gráfico 7).

Gráfico 7 - Comportamento do índice extremo de temperatura TXn no mês de setembro para o período de 1961 a 2010 no município de Uberaba - MG



Analisando os índices associados às temperaturas mínima e máxima, verifica-se que nos últimos 50 anos a maioria dos meses do ano tem apresentado temperaturas mais elevadas, principalmente, com relação a temperatura máxima (TNx e TXx). Já com relação à temperatura mínima (TNn e TXn), apenas 3 dos 12 meses analisados apresentaram tendência de elevação. Na maioria dos meses analisados as tendências de

elevação das temperaturas ocorreram a partir da década de 1990, fato também observado pelos autores Minuizzi et al. (2010), trabalhando com séries de temperatura mínima e máxima da temperatura do ar no estado de Minas Gerais nos períodos de 1960 a 2004.

Ávila et al. (2014) trabalhando com séries de temperatura mínima do ar para o Estado de Minas Gerais verificaram tendências significativas de aumento das

temperaturas mínimas e, em menor escala, das máximas. Os autores ressaltaram que o número de municípios com tendência de redução das temperaturas máximas foi menor do que na análise com as temperaturas mínimas, em que apenas um município apresentou tendência de redução das temperaturas máximas, enquanto 11 municípios apresentaram tendência de redução das mínimas. Na escala anual, o número de municípios com tendência de aumento, tanto nas temperaturas mínimas como nas máximas, foi maior do que o observado na escala sazonal. Nessa escala, 27 municípios apresentaram tendência significativa de aumento das temperaturas mínimas: 24 com taxas de até 0,5°C por década e três com taxas entre 0,5 a 1,0°C por década. Quanto às máximas, 37 municípios apresentaram tendência de aumento: 36 com taxas de até 0,5°C por década e apenas 1 (Maria da Fé) com taxa entre 0,5 e 1,0°C por década. Em termos espaciais, o número de municípios com alterações significativas das temperaturas médias é maior à medida que se desloca para as regiões central, norte, nordeste e noroeste do Estado de Minas Gerais, indício de que estas regiões têm apresentado maior tendência de aquecimento nos últimos 40 anos.

Silva et al. (2008) trabalhando com índices climáticos a partir de séries de temperatura mínima e máxima diária e de precipitação pluvial no período entre 1970 e 2006 no Estado da Bahia, concluíram estar ocorrendo mudanças de maneira generalizada em vários dos índices relacionados às temperaturas mínimas (TNn e TNx) e máximas (TXn e TXx) no Estado.

Devido ao aumento associado a temperaturas extremas mínimas e máximas, podem apresentar restrições às culturas que demandam horas acumuladas de frio ou mesmo culturas que não apresentam bom desenvolvimento sob condições de temperaturas mais elevadas, como o café, representando um declínio na qualidade e produtividade das culturas. Nesse sentido, Assad et al. (2004) trabalharam com dados do IPCC (2004) e simularam e avaliaram que o impacto do aumento da temperatura média do ar de 1°C, 3°C e 5,8°C até o final do século 21 e um aumento de 15% na precipitação afetaria o potencial do cultivo brasileiro de café, definido pelo zoneamento cafeeiro agroclimático (*Coffea arabica* L.), nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná. Em Minas Gerais, o aumento de 1°C na temperatura e o aumento de 15% na precipitação proporcionariam reduções na área de

irrigação necessária nas regiões Noroeste e Centro e, conseqüentemente, o deslocamento da área com potencial produtivo para o sul. Os autores concluem ainda que a área total no estado que é incapaz de cultivar café, seria aumentada de 24,1% para 43,3%.

Ficam evidentes as conseqüências que serão enfrentadas caso as mudanças climáticas, principalmente relacionadas à temperatura, vierem a se confirmar. Evidenciando a importância de se avaliar ações mitigadoras para amenizar as conseqüências das alterações climáticas.

CONCLUSÕES

- a) Os índices relacionados à precipitação, R10mm, R20mm e SDII, apresentam tendências significativas de aumento, ocasionando aumento de eventos extremos nestas localidades.
- b) É evidente o aumento generalizado nos valores dos índices TNn, TNx, TXn e TXx no período de 1960 a 2010, decorrentes do aumento das temperaturas mínimas e máximas na maioria dos meses do ano no município de Uberaba.
- c) As maiores alterações ocorrem na temperatura máxima da mínima diária (TNx) e na temperatura máxima da máxima diária (TXx), refletindo em dias e noites mais quentes nos últimos 50 anos.

d) Menor ocorrência de alteração são observadas para as temperaturas mínima da mínima diária e temperatura mínima da máxima diária, ocorrendo tendências positivas em apenas três dos 12 meses analisados.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa, possibilitando a realização deste trabalho. Ao INMET pela disponibilização do banco de dados.

REFERÊNCIAS

- Alexander, LV, Zhang, X, Peterson, TC, Caesar, J, Gleason, B, Klein Tank, AMG, Haylock, M, Collins, D, Trewin, B, Rahimzadeh, F, Tagipour, A, Kumar, KR, Revadekar, J, Griffiths, G, Vincent, L, Stephenson, DB, Burn, J, Aguilar, E, Brunet, M, Taylor, M, New, M, Zhai, P, Rusticucci, M, Vazquez-Aguirre, JL (2006) **Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation. Journal of Geophysical Research** 111: D05109. doi: 10.1029/2005JD006290
- ASSAD, E.D., PINTO, H.S., JUNIOR, J.Z., ÁVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1057-1064, 2004.
- ÁVILA, L.F., MELLO, C.R., YANAGI, S.N.M., NETO, O.B.S. Tendências de

temperaturas mínimas e máximas do ar no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.247-256, 2014. doi: 10.1590/S0100-204X2014000400002.

BARROS, V.R., DOYLE, M.E., CAMILLONI, I.A. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. **Theoretical and Applied Climatology**, 93: p.19–33, 2008.

IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. In: SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K.B., TIGNOR, M., MILLER, H.L. (Eds.). **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p., 2007.

IPCC: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: STOCKER, T.F., QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX AND P.M. MIDGLEY (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p., 2013.

IPCC, 2014: **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge,

United Kingdom and New York, NY, USA.

JIANG, D.; WANG, K.; LI, Z.; WANG, Q. **Variability of extreme summer precipitation over Circum-Bohai-Sea region during 1961-2008**. *Theoretical and Applied Climatology*, v.104, p.501-509, 2011.

KENDALL, M.G.. **Rank Correlation Methods**. Charles Griffin, London. 1975

MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. **Econometrika**, v.13, p.245-259. 1945.

MARTINEZ, C. J.; MALESKI, J. J.; MILLER, M. F. Trends in precipitation and temperature in Florida, USA. **Journal of Hydrology**, v. 452-453, p. 259-281, 2012. DOI:10.1016/j.jhydrol.2012.05.066

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.

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.

NEETI, N; EASTMAN, J.R. A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance in Image Time Series. **Transactions in GIS**, v.15, n.5, p.599-611. 2011.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G. SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência & Cultura**, São Paulo, v. 59, n. 3, 2005.

OMONDI, P. A., et al. Changes in temperature and precipitation extremes over the Greater Horn of Africa region from 1961 to 2010. **International**

Journal of Climatology, v. 34, p. 1262-1277, 2014. DOI: 10.1002/joc.3763

POWELL, E.; KEIM, B. D. Trends in Daily Trends in Daily Temperature and Precipitation Extremes for the Southeastern United States: 1948–2012. **Journal of Climate**, v. 28, p. 1592- 1612, 2015. DOI: 10.1175/JCLI-D-14-00410.1

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B.; SANTOS, E. G.; RAO, T.; V. R.; SILVA, V. P. R. Temporal variability of extreme temperature índices in Utah during the past few decades. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.4, 364 - 372, 2013.

SANTOS, C. A. C.; SATYAMURTY, P. SANTOS, E. M. Tendências de índices de extremos climáticos para a região de Manaus-AM. **Acta Amazônica**. vol. 42(3) p. 329 – 336, 2012.

SHARNA, D.; BABEL, M. S. Trends in extreme rainfall and temperature índices in the western Thailand. **International Journal of Climatology**, v. 34: 2393–2407, 2014. DOI: 10.1002/joc.3846

SILVA, G. B.; AZEVEDO, P. V. Índices de tendências de mudanças climáticas no estado da Bahia. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 5, n. 3, p. 141-151, set/dez 2008.

SILVA, J. W.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Variabilidade Temporal da Precipitação Mensal e Annual Climatológica de Uberaba- MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.3, p.665-674, maio/jun., 2003.

SNEYERS, R. Sur L'analyse Statistique des Series Dóbservations. Gênevè: Organisation Météorologique Mondial, p. 192, 1975.

VARGAS, W. M.; NAUMANN, G. Impacts of climatic change and low

frequency variability in reference series on daily maximum and minimum

temperature in southern South America.

Reg Environ Change, v. 8, p. 45-57, 2008. DOI:10.1007/s10113-007-0041-5

WILKS, D.S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. San Diego: Academic Press, 1995. 467p.

YUE, S; PILON, P; CAVADIAS, G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. **Journal of Hydrology**, v., p.259:254-271. 2002.

ZHANG, W; YAN, Y; ZHENG, J; LI, L; DONG, X; CAI, H. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. **Global and Planetary Change**. v.69, p.35-47. 2009.

Alisson Souza de Oliveira

Doutor em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Professor em tempo integral Universidade Vale do Rio Verde - UninCor
prof.alisson.oliveira@unincor.edu.br

Gustavo Alves Pereira

Graduando em Engenharia Agrícola, UFLA
gustavo.tiguto@gmail.com

André Ferreira Rodrigues

Mestrando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, UFLA
arodrigues@engenhariaambiental.ufla.br

José de Oliveira Melo Neto

Doutor em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Professor Adjunto na Universidade Federal do Tocantins
joseneto_86@hotmail.com
