



NÃO DESCARACTERIZE O LAYOUT DESTES TEMPLATES: insira as informações do seu texto e formate de acordo com as orientações –consulte o manual de elaboração-

PADRÕES DE TEMPERATURA E VENTO EM MINAS GERAIS: DADOS IN-SITU E ASSIMILAÇÃO

Lucas Rosa de Almeida¹
Vinicius Possato Rosse²
Marcelo Vieira-Filho³

Resumo

Neste trabalho, obtemos informações de 27 estações meteorológicas convencionais localizadas no estado de Minas Gerais, foram avaliadas as seguintes variáveis meteorológicas, temperatura média compensada e velocidade do vento, objetivando-se à identificação de tendências climatológicas no período de 2017-2021. Além disso, também foi utilizada a programação em ambiente R, por meio da qual os dados meteorológicos foram manipulados e os testes estatísticos foram realizados. Para a verificação das tendências não sazonais, o método de Mann-Kendall foi o utilizado. A análise da tendência para temperatura média compensada e velocidade do vento.

63% de anomalias positivas de temperatura para todo o estado de Minas, e 74% em relação ao vento. A respeito dos padrões de tendência, observa-se que os sinais de temperatura entre os dados insitu e de assimilação foram iguais, entretanto para os dados de vento não se observou tendências significativas para os dados de vento.

Palavras-chave: anomalias, tendências, minas gerais, temperatura e vento

INTRODUÇÃO

Nas décadas de 2000 e 2010, observou-se uma crescente preocupação da sociedade a respeito dos processos de mudanças climáticas, e suas mitigações na esteira de eventos internacionais, como a Conference of Parties (COPs) e os relatórios do Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). Resultados de pesquisas recentes demonstram que mudanças climáticas podem acarretar consequências negativas, sobretudo a intensificação de eventos extremos, como desertificação (ALMEIDA et al.,

¹Graduando em Engenharia Ambiental; Escola de Engenharia/Departamento de Engenharia Ambiental (UFLA), lucasalmeidacristais@hotmail.com.

²Graduado em Engenharia Ambiental; Escola de Engenharia/Departamento de Engenharia Ambiental (UFLA), vinicius.rosse@estudante.ufla.br.

³Prof. Dr. Universidade Federal de Lavras (UFLA) – Escola de Engenharia/Departamento de Engenharia Ambiental, marcelo.filho@ufla.br.

2014), e aumento de temperatura (NATIVIDADE, GARCIA E TORRES, 2017), entre outros. Segundo projeções do IPCC, é previsto um aumento da temperatura média global entre 1,8 °C e 4,0 °C até o ano de 2100.

A respeito do Brasil, alguns estudos demonstram que se espera que tal aumento varie de 3,0°C a 4,0°C (ÁVILA, 2007; BLANK, 2015; IPCC, 2014). Dessa forma, as condições de cobertura vegetal, e das variáveis meteorológicas poderão se alterar. Recentemente, foi lançada a plataforma AdaptaBrasil, uma ferramenta que integra diversos índices e indicadores de risco de impactos das mudanças climáticas, cujo objetivo é facilitar a disseminação de conhecimento com o avanço das análises dos impactos observados e projetados no território nacional, oferecendo ferramentas para tomada de decisões pela sociedade, para ações de adaptação e transição para a sustentabilidade (ADAPTA 2020).

Segundo o trabalho de Martins e Santos (2018) sobre cenários de mudanças climáticas para o estado de Minas Gerais até 2100, é possível um aumento de até 5° C na temperatura do ar para algumas localidades em algumas projeções. Mesmo no cenário mais brando (RCP 2.6), os autores verificaram possibilidade de mudanças para tipos climáticos mais quentes e áridos, resultado que reforça os estudos de modelagem climática na mesorregião Norte de Minas, com a possibilidade de climas mais quentes e secos até o fim do século XXI (REBOITA et al., 2017).

Contudo, podemos perceber que essas mudanças climáticas podem estar mais próximas que o imaginado, De Almeida et al (2020) indica que, a partir das tendências das variáveis meteorológicas para o período de 2011 a 2017, observa-se tendência de aumento da temperatura e diminuição da umidade relativa, em período recente, e especificamente para a região Norte do Estado de Minas Gerais. Entretanto, cabe destacar que há limitações de dados das séries históricas em Minas Gerais, causados principalmente em virtude de carências operacionais e financeiras. Disso resulta que as medidas das variáveis fornecidas pelas estações meteorológicas do INMET contêm registros falhos, impossibilitando um estudo robusto de tendências em suas séries temporais. Em razão da situação exposta, constata-se a necessidade de preenchimento de falhas presentes na série histórica obtidas in situ, por dados de assimilação de modelos

numéricos meteorológicos. Através da utilização de tais conjuntos, pode-se compensar a ausência de dados obtidos via observação, o que facilita a realização de pesquisas em áreas nas quais a presença de estações meteorológicas é pequena ou inexistente.

A utilização de dados de assimilação proporciona estudos de períodos maiores a fim de registrar tendências robustas nas séries temporais de variáveis climatológicas. Entre os dados de assimilação, destaca-se o realizado por sensores em satélites, como o ERA5, que correspondem à quinta geração do ECMWF (Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de médio prazo).

METODOLOGIA

O presente trabalho concentrou-se no estado de Minas Gerais, localizado na região sudeste do Brasil e que apresenta uma extensão territorial de 586.528 km². Segundo estimativa do IBGE (2018), a população de Minas Gerais é de, aproximadamente, 21 milhões de habitantes. Tratando-se da vegetação local, o estado é coberto por, praticamente, Cerrado (oeste do estado) – composto por arbustos e gramíneas - e Mata Atlântica (leste do estado) – sendo caracterizada por uma densa vegetação, elevado índice de precipitação e grande biodiversidade (COURA, 2007; PENEREIRO et al., 2018). Em relação às características climáticas, segundo a classificação de Köppen, utilizada na classificação de zonas homogêneas através das variáveis de precipitação e temperatura, o estado de Minas, para o clima, apresenta as seguintes classificações: Cwa e Cwb (temperados), Bsh e BWh (áridos), Aw (tropical), e ainda, Cfa e Cfb. (KÖPPEN, 2011)

Nesse estudo utilizaram-se os dados meteorológicos de 27 estações de superfície oriundos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e localizados no endereço eletrônico: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>.

A figura 1 apresenta a distribuição espacial das estações meteorológicas. Os dados meteorológicos utilizados foram temperatura média e intensidade do vento. As análises foram realizadas o período recente de 2011 a 2017, e a normal climatológica de 1981 a

Realização

Apoio

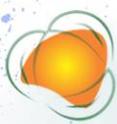
2010.

Os dados de assimilação de quinta geração (ReAnalysis ERA 5-Land) foram utilizados para as variáveis meteorológicas afins para todo o Estado de Minas Gerais, limitado ao buffer de (-23 a -14 latitude e -51 e -40 longitude) com resolução temporal de 1 mês e resolução espacial de 9 km a partir da interface Climate Data Store da Copernicus. Os dados foram agregados em dados mensais para o período de 2011 a 2017 a fim de promover comparação entre os dados in-situ e de assimilação provenientes do ERA 5 Land.

As referidas representatividades calculadas em porcentagem são para os dados contíguos diários para as variáveis: temperatura média compensada e intensidade do vento.

Tabela 1. Coordenadas geográficas, altitude e a representatividade da série temporal para as 27 estações meteorológicas do Estado de Minas Gerais.

#	MSR	ESTAÇÃO	LAT (°)	LON (°)	Dados (%)	Dados (%)
					Tmed	VelVen
1	Campo das Vertentes	Barbacena	-21,25	-43,76	25	98
2		Lavras	-21,22	-45,00	99	99
3	Zona da Mata	Caparaó	-20,51	-41,90	99	99
4		Juiz de Fora	-21,76	-43,35	79	98
5		Viçosa	-20,75	-42,85	99	65
6	Sul/Sudoeste de Minas	Machado	-21,66	-45,91	98	98
7		São Lourenço	-22,10	-45,01	99	99
8	Triângulo Mineiro/Alto Parnaíba	Araxá	-19,60	-46,93	97	45
9		Capinópolis	-18,71	-49,55	86	99
10		Uberaba	-19,73	-47,95	97	97
11		Patos de Minas	-18,51	-46,43	95	95
12	Oeste de Minas	BambuÍ	-20,03	-45,00	95	98
13	Metropolitana de Belo Horizonte	Belo Horizonte	-19,93	-43,91	99	99
14		Conceição Mato Dentro	-19,02	-43,43	98	89
15		Sete Lagoas	-19,46	-44,25	65	69
16	Vale do Rio Doce	Caratinga	-19,73	-42,13	99	99
17	Noroeste de Minas	Formoso	-14,93	-46,25	68	92
18		Paracatu	-17,24	-46,88	99	99



19	Jequitinhonha	Diamantina	-18,23	-43,64	71	81
20		Pedra Azul	-16,00	-41,28	49	89
21	Norte de Minas	Janaúba	-15,78	-43,30	66	80
22		Januária	-15,45	-44,00	99	99
23		Juramento	-16,77	-43,66	78	99
24		Monte Azul	-15,08	-42,75	71	67
25		Montes Claros	-16,68	-43,84	96	66
26		Pirapora	-17,35	-44,91	71	80
27		Salinas	-16,15	-42,28	99	99

A Figura 1, abaixo, apresenta a distribuição espacial das estações meteorológicas do INMET utilizadas nessa análise enumeradas de acordo com a Tabela 1.

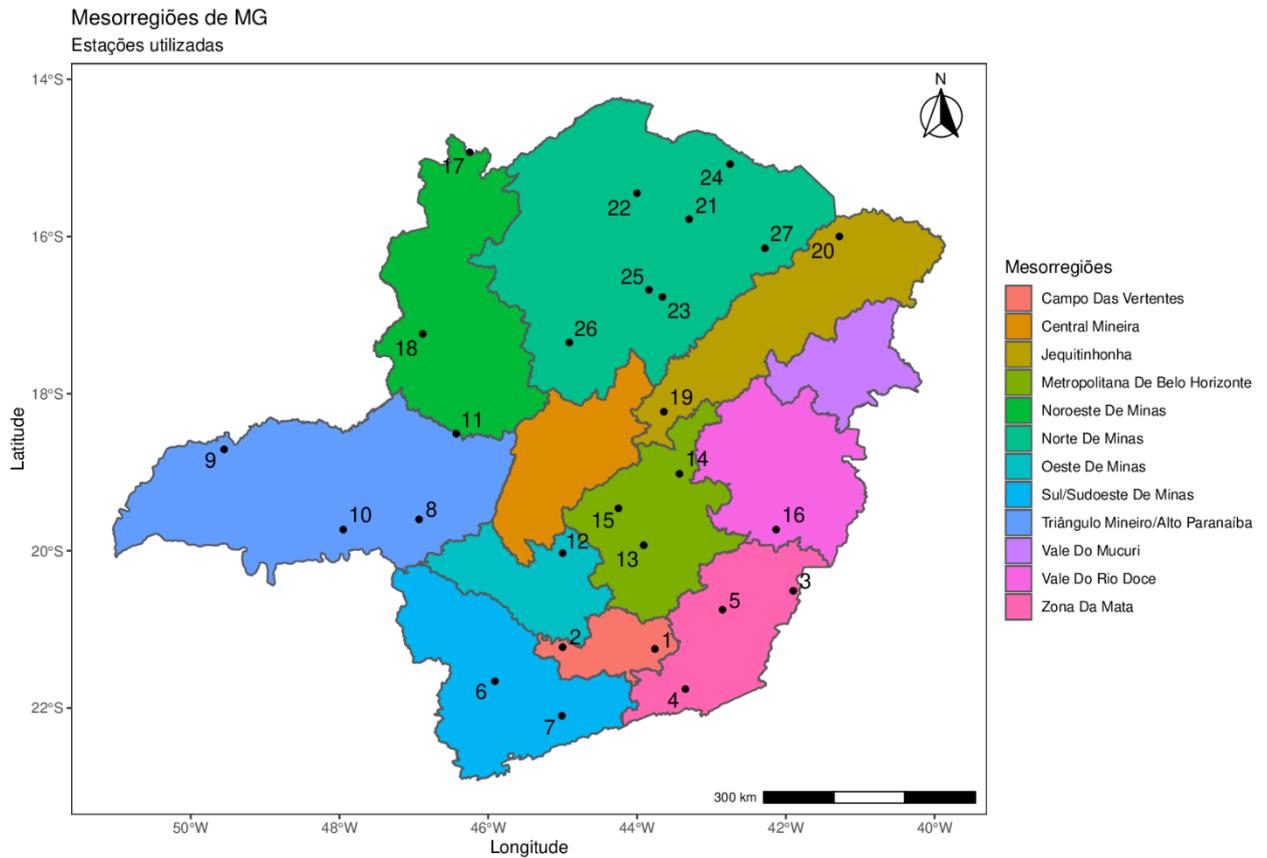


Figura 1. Distribuição espacial das estações meteorológicas do INMET localizadas no Estado de Minas Gerais.

Uma análise de tendência foi realizada objetivando a identificação de aumentos ou

Realização

Apoio



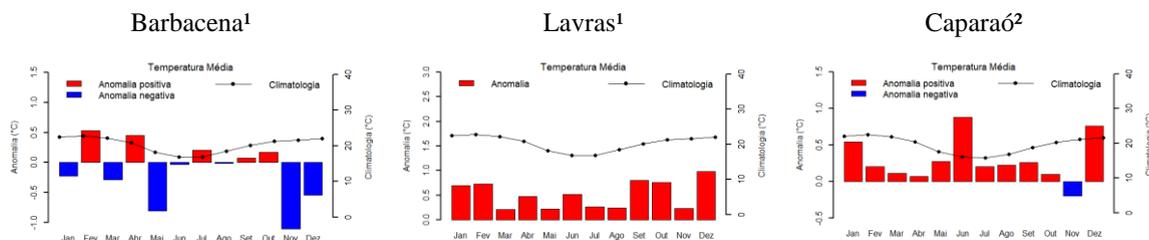
decréscimos significativos nos valores de temperatura média e velocidade do vento. Para a realização desta análise, o método escolhido foi o Mann-Kendall (MK), uma vez que, por meio deste, as tendências podem ser classificadas como estatisticamente significativas ou não significativas (DINPASHOH et al., 2011). De acordo com estudo realizado (FOLHES E FISCH, 2006), aumentos e decréscimos não sazonais (monotônicas) podem ser estimados e verificados de forma robusta por este teste.

Neste trabalho consideraram-se tendências significativas com valor da estatística “p” inferior a 5% (FERREIRA et al., 2017). Dessa forma, valores da estatística “p” superiores a este limite foram desconsiderados por não mostrar significância estatística.

O tratamento de dados foi realizado por programação em ambiente R, tendo sido utilizados os seguintes pacotes: openair (CARSLAW E ROPKINS, 2012), lubridate (GROLEMUND E WICKHAM, 2011) e trend (POHLERT, 2020). O pacote openair disponibiliza ferramentas que permitem o manuseio mais simplificado de dados meteorológicos como aqueles oriundos das estações meteorológicas convencionais; o pacote lubridate traz funções que facilitam o trabalho com dados que envolvam datas; o pacote trend permite o estudo de tendências estatísticas baseadas em conjuntos de dados, e a determinação de valores estatisticamente significativos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse estudo considerou-se anomalia mensal como a diferença entre o dado observado no período de 2011-2017, com os valores das normais climatológicas 1981–2010.

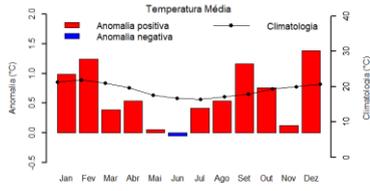


Realização

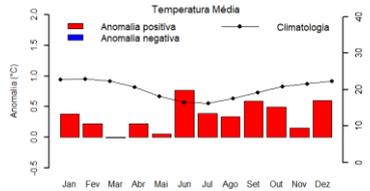
Apoio



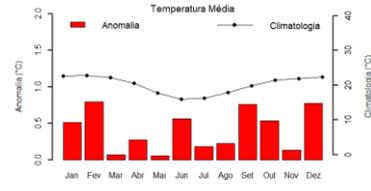
Juiz de Fora²



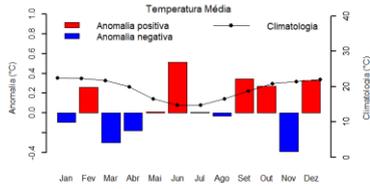
Viçosa²



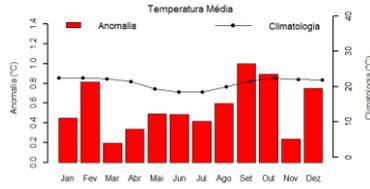
Machado³



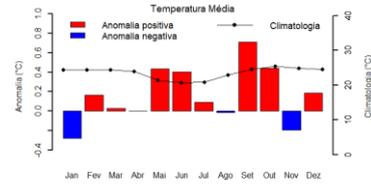
São Lourenço³



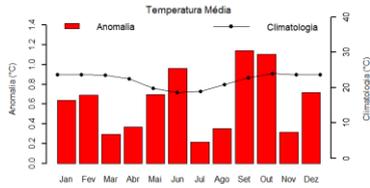
Araxá⁴



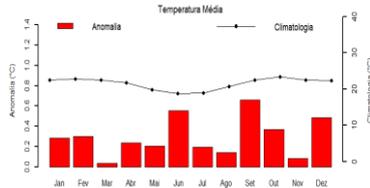
Capinópolis⁴



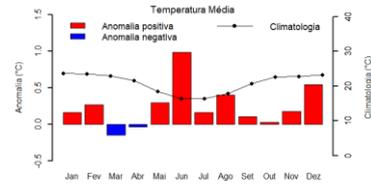
Uberaba⁴



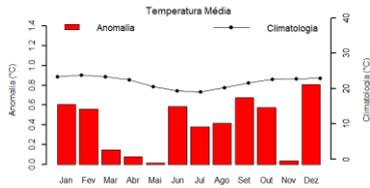
Patos de Minas⁴



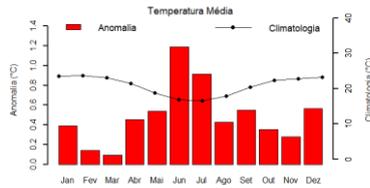
Bambu⁵



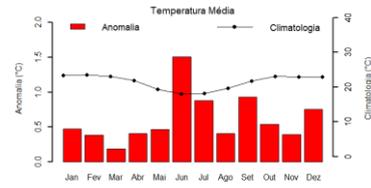
Belo Horizonte⁶



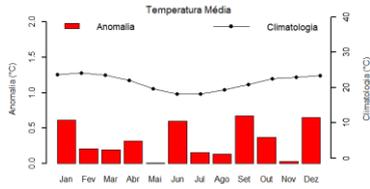
C. Mato Dentro⁶



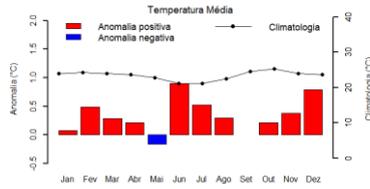
Sete Lagoas⁶



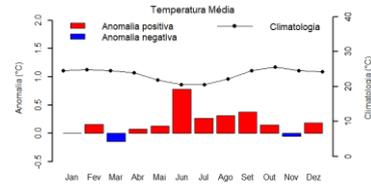
Caratinga⁷



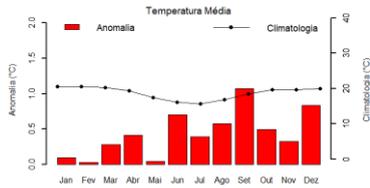
Formoso⁸



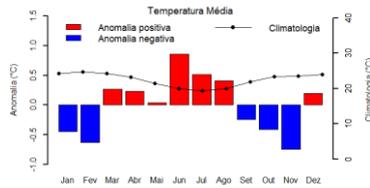
Paracatu⁸



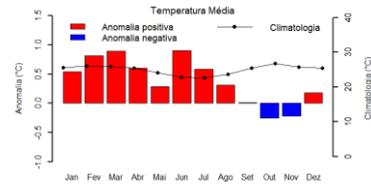
Diamantina⁹



Pedra Azul⁹



Janaúba¹⁰



Realização



Apoio



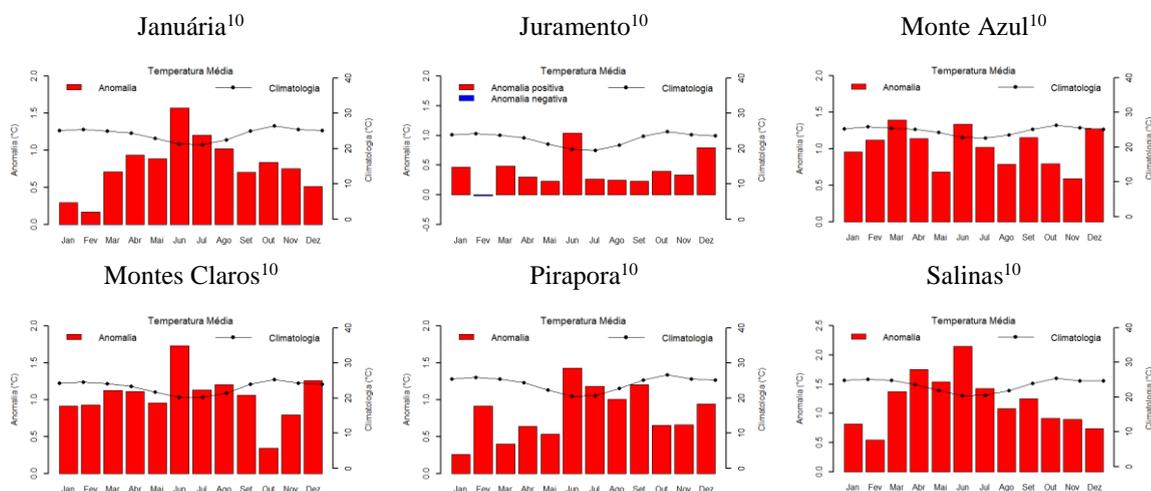
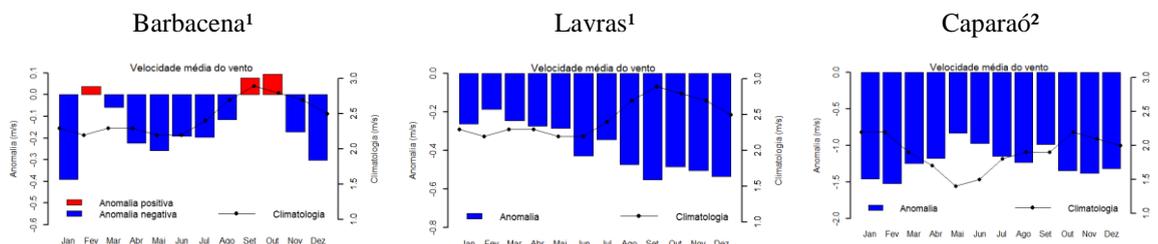


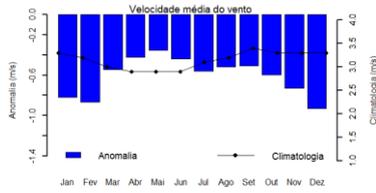
Figura3. Diferença entre a média mensal do período de 2011-2017 e a normal climatológica (1981-2010), gráficos de barras, e os valores da climatologia (pontos) para a temperatura média.

Entre os valores da temperatura máxima, as estações do norte do Minas se destacam por possuírem anomalia positiva em todos os meses do ano, a estação de Monte Claros que tem anomalia maior de 1°C em onze meses do ano no período estudado. Nota-se que, em linhas gerais, mais de 60% dos dados de temperatura das estações de Minas Gerais registraram valores unicamente positivos. Destaca-se ainda dentre os meses do ano, julho mostra-se anômalo entre os demais, mostrando os maiores valores de anomalia positiva dentre as estações avaliadas, ressalta-se a estação de Salina, onde encontra-se anomalia positiva de 2°C para esse mês.

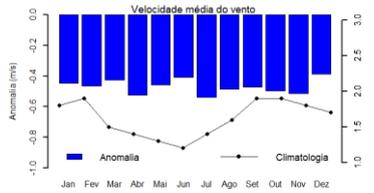




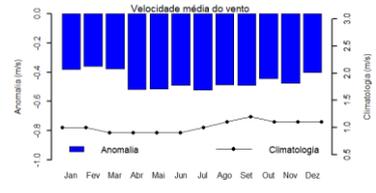
Juiz de Fora²



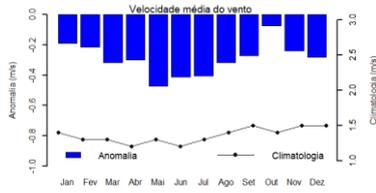
Viçosa²



Machado³



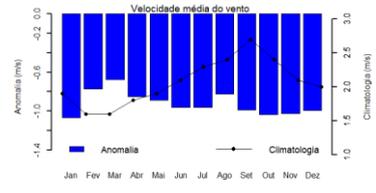
São Lourenço³



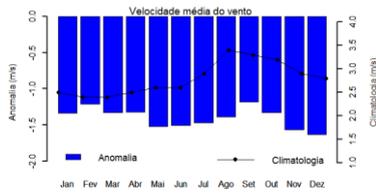
Araxá⁴



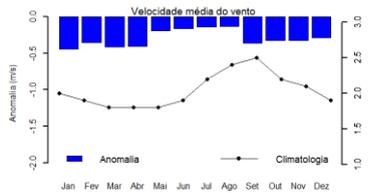
Capinópolis⁴



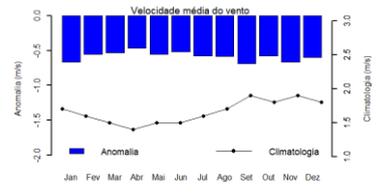
Uberaba⁴



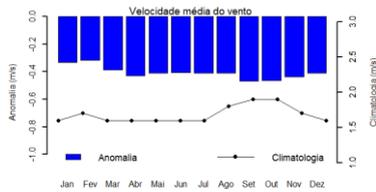
Patos de Minas⁴



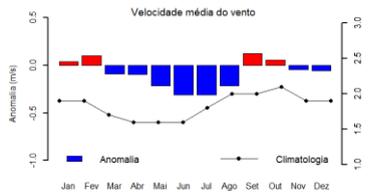
Bambuí⁵



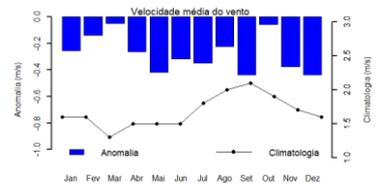
Belo Horizonte⁶



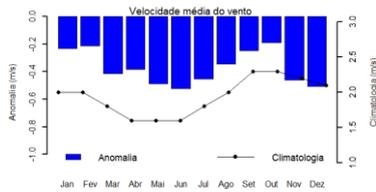
C. Mato Dentro⁶



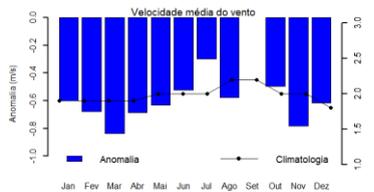
Sete Lagoas⁶



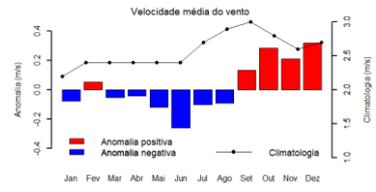
Caratinga⁷



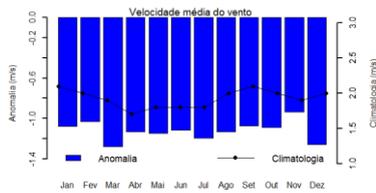
Formoso⁸



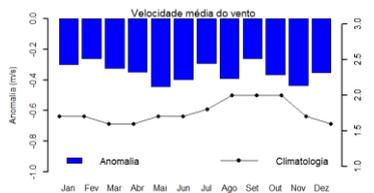
Paracatu⁸



Diamantina⁹



Pedra Azul⁹



Janaúba¹⁰

Não apresenta normal
climatológica

Realização

Apoio



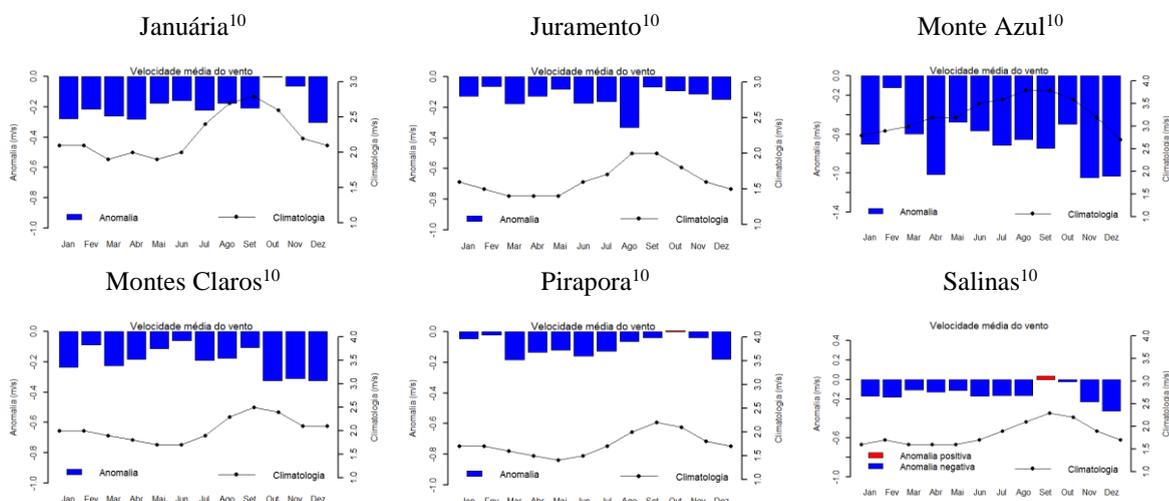


Figura 4. Diferença entre a média mensal do período de 2011-2017 e a normal climatológica (1981-2010), gráficos de barras, e os valores da climatologia (pontos), para a velocidade média do vento.

Em relação a velocidade média do vento mostra padrão inverso da temperatura média, mostrando anomalia negativa para 74% das estações em todos os meses do ano. Destacam-se também as estações de Uberaba e Diamantina, onde podemos observar anomalias negativas maiores de 1m.s^{-1} em todos os meses do ano no período estudado. Entretanto a estação de Paracatu, identificam-se anomalia positiva para cinco meses no ano, diferenciando dos padrões das demais estações.

Tabela 2 – Tendências temporais monotônicas (não sazonais) das estações meteorológicas do INMET no Estado de Minas Gerais para o período de 2011 a 2017, a esquerda dados *in-situ* e a direita dados de assimilação.

Estações	Dados in-situ		Dados do ERA5 Land	
	T _{média} °C.ano ⁻¹	V m.s ⁻¹ .ano ⁻¹	T _{média} °C.ano ⁻¹	V m.s ⁻¹ .ano ⁻¹
Barbacena ¹	-1,04	0,11	0,10	-0,01
Lavras ¹	0,09	-0,12	0,17	0,01
Caparaó ²	0,07	-0,04	0,10	0,00
Juiz de Fora ²	0,14	0,00	0,09	-0,02
Viçosa ²	0,12	-0,07	0,17	0,00
Machado ³	0,09	0,11	0,14	0,00
São Lourenço ³	0,07	0,00	0,14	0,14
Araxá ⁴	0,03	0,00	0,16	0,00
Capinópolis ⁴	0,14	0,00	0,12	-0,02
Uberaba ⁴	0,13	0,09	0,15	0,00

Patos de Minas ⁴	0,14	0,03	0,19	0,00
Bambuí ⁵	0,11	0,00	0,25	0,01
Belo Horizonte ⁶	0,11	-0,02	0,24	0,02
C. Mato Dentro ⁶	0,28	0,01	0,15	0,02
Sete Lagoas ⁶	0,26	0,07	0,25	0,03
Caratinga ⁷	0,11	-0,03	0,14	0,03
Formoso ⁸	0,21	0,00	0,24	0,01
Paracatu ⁸	0,16	0,08	0,18	-0,01
Diamantina ⁹	0,42	-0,35	0,17	0,03
Pedra Azul ⁹	0,33	0,09	0,17	0,02
Janaúba ¹⁰	0,18	0,00	0,22	0,03
Januária ¹⁰	0,29	0,03	0,24	0,04
Juramento ¹⁰	0,23	0,00	0,24	0,04
Monte Azul ¹⁰	0,34	-0,06	0,18	0,04
Montes Claros ¹⁰	0,33	0,02	0,25	0,04
Pirapora ¹⁰	0,39	0,04	0,33	0,03
Salinas ¹⁰	0,21	0,02	0,14	0,03

Em que: 1- Campo das vertentes; 2- Zona da Mata; 3 – Sul/Sudoeste de Minas; 4 – Triângulo Mineiro/Alto Parnaíba; 5 – Oeste de Minas; 6 – Metropolitana de BH; 7 – Vale do Rio Doce; 8 – Noroeste de Minas; 9 – Jequitinhonha; 10 – Norte de Minas. Todos os valores apresentados na tabela possuem valor de p inferior 0,05. Valores em negrito possuem valores de p menores que 0,01. Valores em negrito tiveram taxas estatisticamente não significativas (>5%).

Em relação às tendências de Mann-Kendall, observou-se que os sinais de incremento da temperatura para os dados in-situ seguem o mesmo padrão para os dados de assimilação do ERA 5 Land. Ainda, devido a agregação de dados na forma mensal, não se observa tendências significativas nos dados de vento. Ainda, para os dados de assimilação observa-se que a maior tendência observada foi de 0,32C ao ano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se expandir este estudo a fim de avaliar o período de 1970 a 2021 em comparação às tendências observadas, e os dados in-situ, a fim de comparar com prognósticos de modelos numéricos climatológicos para cenários de mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

Realização

Apoio

Os autores agradecem a Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de graduação e as entidades Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o Climate Data Store da Copernicus pela concessão dos bancos de dados utilizados.

REFERÊNCIAS

AdaptaBrasil integra índices e indicadores de impactos das mudanças climáticas. Adaptabrasil, 2020. Disponível em: < <https://adaptabrasil.mcti.gov.br/noticia/adaptabrasil-integra-indices-e-indicadores-de-impactos-das-mudancas-climaticas>> Acesso em: 21 de julho de 2022.

ALMEIDA, J. B. D.; MOREIRA, A. A.; FERNANDES, F. H. S.; ALMEIDA, R. P. DE.; NERY, C. V. M. O sensoriamento remoto aplicado ao estudo da desertificação na região semiárida do Norte de Minas Gerais. Rev. Bras. Geom., v. 2, n. 2, p. 31–39, 2014.

ÁVILA, A. Uma síntese do quarto relatório do ipcc. Revista Multiciência, n. 8, p. 163–168, 2007.

BLANK, D. M. P. O Contexto Das Mudanças Climáticas E As Suas Vítimas. Mercator, v. 14, n. 2, p. 157–172, 2015.

CARSLAW, D.; ROPKINS, K. openair - An R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software, v. 27–28, p. 52–61, 2012.

COURA, S. M. D. C. Mapeamento de vegetação do estado de minas gerais utilizando dados modis. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2007.

DE ALMEIDA, Lucas Rosa et al. Tendências Meteorológicas E Anomalias De Evapotranspiração De Referência No Período De 2011-2017 Para O Estado De Minas Gerais. Revista Brasileira de Climatologia, v. 26, p. 595–613, 2020.

DINPASHOH, Y.; JHAJHARIA, D.; FAKHERI-FARD, A.; SINGH, V. P.; KAHYA, E. Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. Journal of Hydrology, v. 399, n. 3–4, p. 422–433, 2011.

FERREIRA, P. DOS S.; PEDROSO, G. V.; DOMICIANO, G. J.; MARCOS, S. A. DO.; MEIRA, S. W. DE. Avaliação da tendência espaço-temporal da precipitação pernambuco. Revista Brasileira de Climatologia, v. 21, p. 113–134, 2017.

FOLHES, M. T.; FISCH, G. Caracterização climática e estudo de tendências nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP) Resumo Climate assessment and trend analysis in air temperature and precipitation time series in Taubaté (SP) Abstract. Revista ambiente e água, v. 1, n. 1, p. 61–71, 2006.

HARRIS, Ian et al. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. Scientific Data, v. 7, n. 1, p. 1–18, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22374-ibge-divulga-as-estimativas-de-populacao-dos-municipios-para-2018>>. Acessado 29 de junho de 2022.

IPCC. Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change. New York: Cambridge University Press, 2014.

KÖPPEN, W. The thermal zones of the Earth according to the duration of hot, moderate and cold periods and to the impact of heat on the organic world. Meteorologische Zeitschrift, v. 20, n. 3, p. 351–360, 2011.

MARTINS, F. B.; SANTOS, D. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais : Cenário atual e projeções futuras. n. November, 2018.

PENEREIRO, J. C. *et al.* Distribuições de Tendências Sazonais de Temperatura Média e Precipitação nos Biomas Brasileiros. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 33, n. 1, p. 97–113, 2018

POHLERT, T. trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=trend>>.

REBOITA, M. S.; MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F. DOS. Classificação climática de köppen e de thornthwaite para minas gerais: cenário atual e projeções futuras. Revista Brasileira de Climatologia, v. 21, n. Edição especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais, p. 295–312, 2017.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Realização



Apoio

