

ATUALIZAÇÃO DA NORMAL CLIMATOLÓGICA E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN PARA O MUNICÍPIO DE BOTUCATU-SP

JOSÉ RAFAEL FRANCO¹; ENZO DAL PAI²; MARCUS VINÍCIUS CONTES CALÇA²; MATHEUS RODRIGUES RANIERO³; ALEXANDRE DAL PAI⁴, VALERIA CRISTINA RODRIGUES SARNIGHAUSEN⁵ E RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ-ROMÁN⁶

¹ *Doutorando, Departamento de Engenharia Rural - UNESP/FCA, Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso - Fazenda Experimental Lageado - Botucatu/SP - CEP 18610-034 – Brasil. E-mail: jose.rafael@unesp.br*

² *Docente Departamento de Engenharia Rural - UNESP/FCA, Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso - Fazenda Experimental Lageado - Botucatu/SP - CEP 18610-034 – Brasil. E-mail: enzo-dal.pai@unesp.br*

³ *Doutorando, Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia - UNESP/FCA, Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso - Fazenda Experimental Lageado - Botucatu/SP - CEP 18610-034 – Brasil. E-mail: matheus.raniero@unesp.br*

⁴ *Docente Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia - UNESP/FCA, Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso - Fazenda Experimental Lageado - Botucatu/SP - CEP 18610-034 – Brasil. E-mail: dal.pai@unesp.br*

⁵ *Docente Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia - Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso - Fazenda Experimental Lageado - Botucatu/SP - CEP 18610-034 – Brasil. E-mail: valeria.sarnighausen@unesp.br*

⁶ *Docente Departamento de Engenharia Rural - UNESP/FCA, Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso - Fazenda Experimental Lageado - Botucatu/SP - CEP 18610-034 – Brasil. E-mail: rodrigo.roman@unesp.br*

1 RESUMO

O clima é observado há milhares de anos ao longo do desenvolvimento humano, e seu conhecimento é fundamental para as práticas agrícolas. A classificação climática é uma tarefa difícil devido ao período de dados necessários para sua identificação, no mínimo 30 anos de medidas registradas, conforme recomenda a Organização Mundial de Meteorologia. O objetivo desta pesquisa foi identificar as séries normais climatológicas dos elementos do clima e atualizar a classificação climática do município de Botucatu - SP, utilizando o método proposto por Köppen (1918) e adaptado por Setzer (1966). Os elementos analisados foram a precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar e temperatura média do ar. Foram utilizados dados diários da estação meteorológica local, no período de 1991 a 2020. As normais climatológicas foram identificadas com temperatura média do ar de 21,34°C, umidade relativa média do ar de 70% e precipitação média anual de 1500 mm, com ocorrência média de precipitação em 107 dias ao ano. Analisando os dados da nova normal climática segundo Köppen, o clima de Botucatu - SP foi identificado com Aw, diferentemente das classificações anteriores, com verões quentes e úmidos (maior temperatura e precipitação) e invernos frios e secos (baixa temperatura e precipitação).

Palavras-Chave: Classificação climática de Köppen, Normal climatológica, Temperatura e Precipitação, Mudanças climáticas.

FRANCO, J. R.; DAL PAI, E.; CALÇA, M. V. C.; RANIERO, M. R.; DAL PAI, A.; SARNIGHAUSEN, V. C. R.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.
UPDATE OF THE CLIMATE STANDARD AND CLIMATE CLASSIFICATION OF KÖPPEN FOR THE MUNICIPALITY OF BOTUCATU-SP

2 ABSTRACT

The climate has been observed for thousands of years throughout human development, its knowledge is fundamental for agricultural practices. Climate classification is a difficult task due to the period of data required for its identification, at least 30 years of recorded measurements, as recommended by the World Meteorological Organization. The objective of this research is to identify the climatic normals of the elements of the climate and to update the climatic classification of the municipality of Botucatu - SP, using the method proposed by Köppen (1918) and adapted by Setzer (1966). The elements analyzed were rainfall, relative humidity and average air temperature. Daily data from the local meteorological station were used, from 1991 to 2020. The climatological normals were identified with an average air temperature of 21.34°C, an average relative humidity of 70% and an average annual precipitation of 1500 mm, with average occurrence of precipitation in 107 days of the year. Analyzing the data of the new climatic normal according to Köppen, the climate of Botucatu - SP was identified with Aw, unlike the previous classifications, with hot and humid summers (higher temperature and precipitation) and cold and dry winters (low temperature and precipitation).

Keywords: Köppen climate classification, Climatological normal, Temperature and precipitation, Climate change.

3 INTRODUÇÃO

O clima pode ser considerado um dos fatores determinantes dentro da dinâmica espacial de distribuição e disseminação dos seres vivos pelos territórios, uma vez que afeta diretamente o solo e conseqüentemente todo o bioma nele existente, assim como seu potencial de uso do solo e produção agrícola (SILVA FILHO *et al.*, 2021). Neste cenário, a climatologia consiste no estudo do clima, da variação dos seus elementos e de sua influência na atividade humana, no meio ambiente, na saúde e no bem-estar social. O conhecimento da variação dos elementos é fundamental para o zoneamento agroclimático, o qual poderá ser utilizado para identificar se determinada cultura possui a capacidade de se adaptar a uma

determinada região, considerando os elementos climáticos (INMET, 2022).

O clima de uma região pode ser determinado por alguns fatores: latitude, altitude, continentalidade, vegetação entre outros. Como o clima de um local é determinado por uma série de fatores, logo se tem uma grande variedade de climas espalhados pela superfície terrestre. Embora duas localidades não possuam climas idênticos, é possível definir regiões em que o clima é relativamente uniforme entre diversas localidades. O processo de identificação de regiões com climas semelhantes é chamado de modelo de classificação climática (YNOUE *et al.*, 2017).

Neste sentido, os estudos sobre o clima são baseados em observações e medidas meteorológicas realizadas em

determinada região, tal que ao caracterizar o clima desta região obtém-se os perfis de regime de chuvas, de temperatura do ar, de umidade relativa do ar, de pressão atmosférica, de vento e de radiação solar, possibilitando a classificação climática (INMET, 2022).

A classificação climática tem como objetivo definir áreas ou regiões com características biogeográficas relativamente homogêneas/semelhantes (ALMEIDA, 2016). Um dos modelos clássicos para classificação climática foi criado por Köppen em 1918, para identificar o clima de forma simplificada. Köppen (1918), acreditava que a vegetação natural é o melhor indicativo para expressar as características do clima de um determinado local. O modelo teve grande avanço ao identificar as regiões de todo globo terrestre, mediante estudo da vegetação, associado às medidas de temperatura do ar e precipitação pluvial (ALMEIDA, 2016; YNOUE *et al.*, 2017). Este modelo é utilizado há mais de um século como referencial de classificação climática. Algumas adaptações do modelo original foram feitas por outros autores ao passar do tempo para localidades específicas (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014).

Para realizar a classificação do clima de uma localidade é necessário ter vários anos de dados meteorológicos. Porém, devido ao grande período de tempo requerido, ainda são poucas as bases de dados meteorológicos que atendem esse requisito, considerando ainda os diversos problemas técnicos e de manutenção referente às operações de estações meteorológicas. Há ainda a questão da calibração periódica dos sensores, que nem sempre é adequadamente realizada (FRANCO *et al.*, 2022).

Dados climatológicos, assim como grande parte das variáveis naturais, tendem a apresentar uma distribuição estatística normal. Na distribuição estatística normal, o maior número de observações em uma

amostra (ou população) se situam próximas à média, enquanto valores afastados da média apresentam poucas observações. Assim, ao se mencionar uma série climática de um longo período, é comum a utilização do termo “Normal Climatológica” (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Segundo a Organização Mundial de Meteorologia (WMO, 2023) um período de 30 anos de dados é necessário para identificar a normal climatológica de determinada localidade e consiste dos valores médios (mensal e anual) dos elementos do clima (temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e precipitação (mm)) em um período delimitado. A Normal climatológica de Botucatu já foi no passado estudada e divulgada (SMAABC, 2002; ROLIM *et al.*, 2007; CUNHA; MARTINS, 2009; ALVES *et al.*, 2014; ROSSI *et al.*, 2018). Estudos em mudanças climáticas demonstram a importância de se acompanhar as variabilidades climáticas e seus impactos: na economia, meio-ambiente, saúde e desastres naturais. Segundo o boletim IPCC AR 6 (2021) o estudo e identificação do clima (e suas mudanças) é imprescindível para manutenção das atividades antrópicas locais (INMET, 2022). A mudança climática já foi identificada em regiões próximas, como demonstra o trabalho de Alvares, Sentelhas e Dias (2022), no município de Piracicaba – SP.

Visto a importância de se ter conhecimento sobre o clima de uma localidade e seu impacto agrônomo, e considerando-se efeitos causados por mudanças climáticas, este trabalho teve como objetivo: i) identificar as normais climatológicas mensal e anual de temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação dos últimos 30 anos, seguindo o padrão da WMO (2023) para o período de 1991 a 2020; e ii) realizar a classificação de Köppen (1918) atualizada para o município de Botucatu - SP.

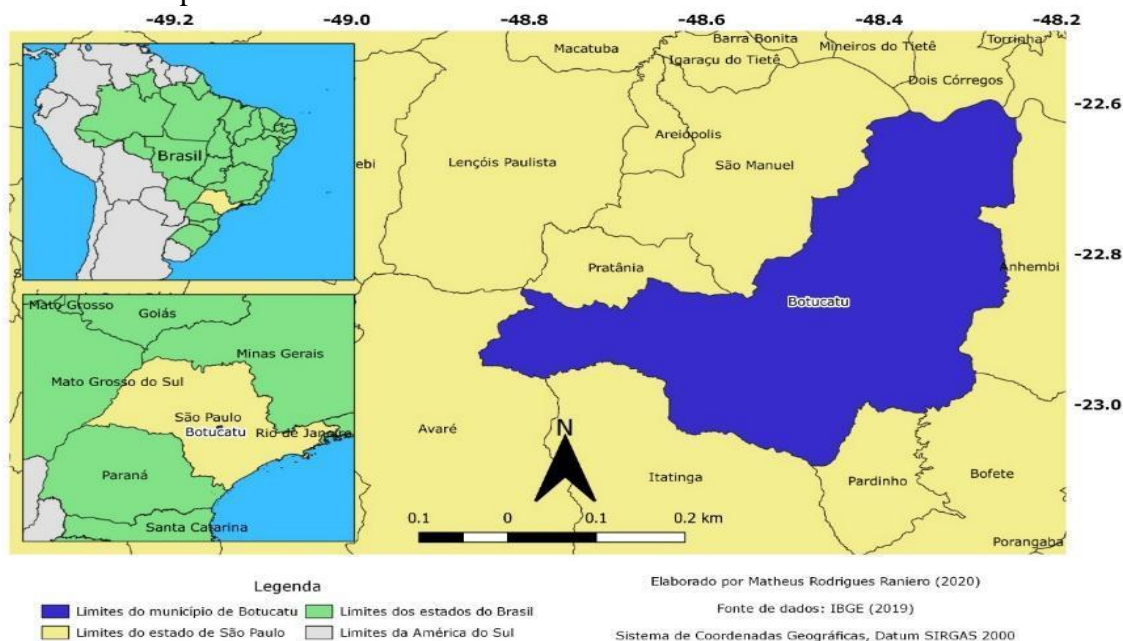
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e Clima

O estudo foi realizado utilizando a série histórica de dados da Estação Meteorológica do Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) de Botucatu - São

Paulo – Brasil (22°54’S, 48°27’O e 786m). Botucatu (Figura 1) é um município de aproximadamente 149 mil habitantes em uma área territorial de 1.482,642 km², com bioma Cerrado e Mata Atlântica (IBGE, 2022). O município está localizado próximo a duas grandes represas (Barra Bonita e Jurumirim) e está distante aproximadamente 221 km do oceano atlântico (ROSSI *et al.*, 2018).

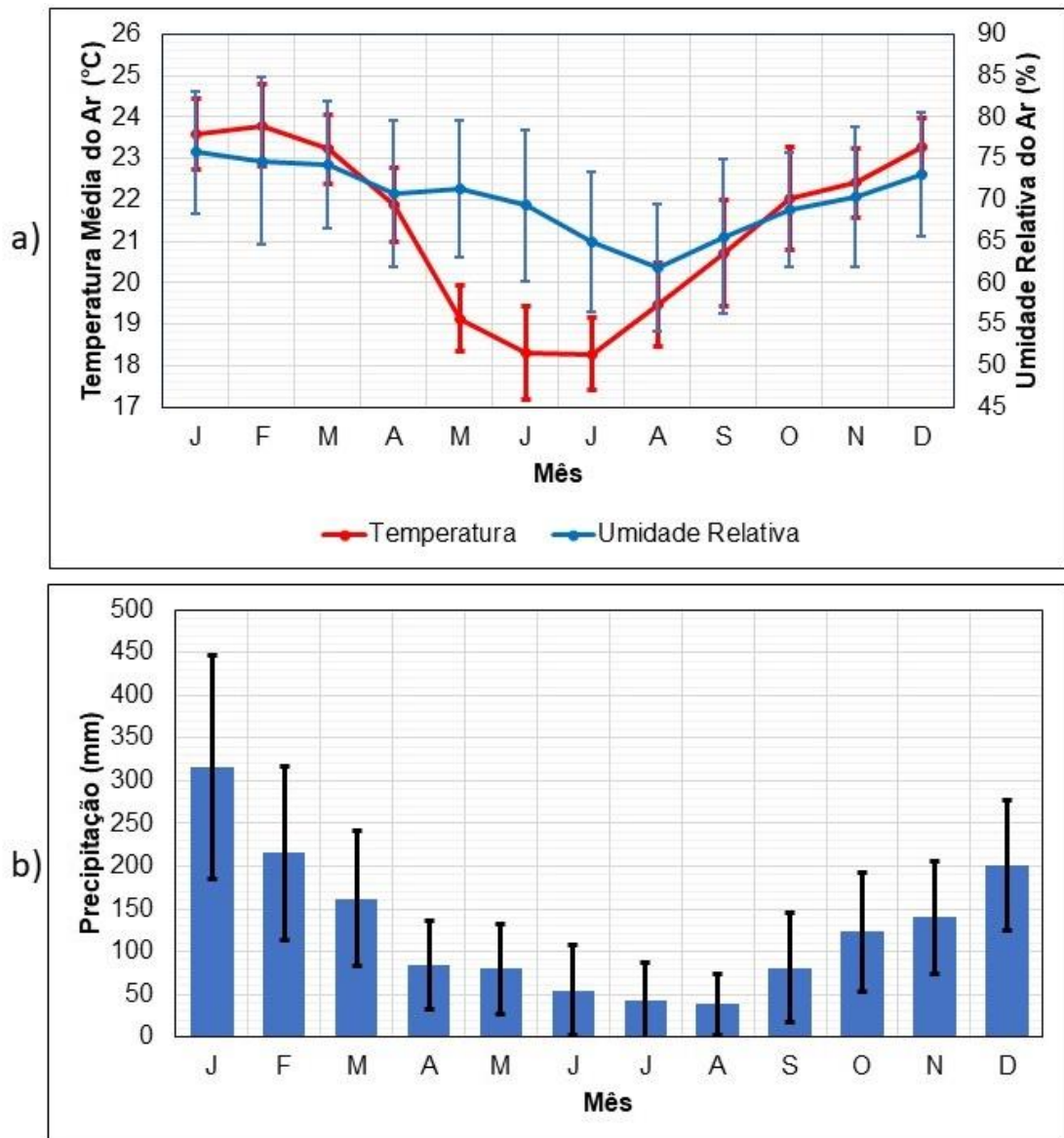
Figura 1. Município de Botucatu -SP



A série histórica de 1991 a 2020 apresenta os valores mensais da temperatura e umidade relativa do ar (Figura 2a) e a média dos valores acumulados de precipitação (Figura 2b). Os meses mais quentes ocorrem no verão com médias de temperatura máxima de 23,80°C em

fevereiro, a umidade relativa máxima de 75,76% em janeiro e precipitação máxima de 310,37 mm em janeiro. Os valores mínimos ocorrem no inverno, com médias de temperatura de 18,28°C em julho, sendo umidade relativa mínima de 61,86% e precipitação mínima de 38,76mm em agosto.

Figura 2. Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação de 1991 a 2020 para Botucatu - SP



Fonte: Autor (2023)

4.2 Classificação de Köppen da região do município de Botucatu

A classificação de Köppen para o município de Botucatu, segundo (SMAABC, 2002; ROSSI *et al.*, 2018), em relação a Normal Climatológica 1981-2010, é identificada como Cwa, mesotérmico (subtropical e temperado) com verões quentes e chuvosos e invernos secos e frios.

Estudos realizados por Rolim *et al.* (2007), Cunha e Martins (2009) e Alves *et*

al. (2014) classificaram o clima de Botucatu como Cfa, o que caracteriza um clima temperado quente (mesotérmico) e úmido em todas as estações.

Na Figura 3 é possível ver a classificação climática de municípios vizinhos de Botucatu-SP (e todo o estado de São Paulo). Muitas localidades estão classificadas como clima Aw ou Cwa na região próxima à Botucatu. O município de Botucatu encontra-se em uma região de separação de duas regiões homogêneas de

clima dentro do estado: o noroeste, com predominância Aw; e sudeste, com predominância Cwa. Vale lembrar que a Figura 3 foi elaborada com base em estações

meteorológicas espalhadas pelo estado e a maioria dos municípios teve sua classificação realizada com dados extrapolados dessas estações.

Figura 3. Classificação climática de Köppen para o estado de São Paulo



Fonte: SMAABC (2002)

4.3 Instrumentos de Aquisição dos Dados

Foram utilizados dados mensurados durante 30 anos das estações meteorológicas automática (EMA) e convencional (EMC). Na EMA (Figura 4a) a temperatura e a umidade relativa do ar foram medidas por um sensor *Campbell Scientific HC2S3*. A precipitação foi mensurada pelo pluviômetro digital *Campbell Scientific TB4 Rain Gage*. Os dados foram registrados por um *Datalogger Campbell Scientific CR1000*.

Na EMC (Figura 4b), a natureza analógica dos equipamentos exigiu que as medidas tenham sido realizadas por observadores meteorológicos, de maneira rotineira, seguindo normas da WMO (2023). A temperatura máxima e mínima do ar foi medida por termômetros da *R. FUESS* e a umidade relativa com instrumento da *Salmoiraghi*. A precipitação foi mensurada pelo pluviômetro modelo *Ville de Paris* da IR (Figura 4c).

Figura 4. Estação meteorológica automática e convencional da fazenda Lageado - UNESP de Botucatu – SP



Fonte: Autor (2023)

4.4 Análise Concomitante dos Dados

Os dados obtidos pela EMC foram do período de 1971 a 2016. A EMA iniciou seu funcionamento em 2015 e se mantém em operação até os dias atuais (2023). Para realizar a unificação das bases dados, um estudo foi realizado por Franco *et al.* (2022) com objetivo de comparar os dados de origem convencional e automática. Os autores desenvolveram modelos que possibilitaram estimar os dados para a estação automática em um período anterior a sua ativação.

4.5 Identificação da Normal Climática

Para identificar as normais climáticas foram utilizados dados diários de temperatura mínima, média e máxima do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluvial. Com os dados diários foi calculado o valor médio de cada mês para as temperaturas (mínima, média e máxima) do ar e umidade

relativa do ar, para a precipitação pluvial foi realizada a somatória dos dias (valor acumulado) e a contagem de dias em que a precipitação foi maior que 1 mm, de cada mês. Após identificar os valores de cada mês foi calculado a média e o desvio padrão entre os meses.

4.6 Metodologia da Classificação Climática de Köppen

A Classificação de Köppen (1918) foi fundamentada na distribuição e quantidade dos elementos do clima, que compreendem: a temperatura do ar e a precipitação pluvial. Estes elementos constituem o critério para a separação dos tipos de clima. Esta classificação passou por adaptações de outros autores. Setzer (1966) simplificou a classificação (Tabela 1) criando critérios (chaves) classificatórios de uma forma mais simples e direta adaptadas para o Brasil (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014).

Tabela 1. Chave para a classificação climática de Köppen (1918) simplificada por Setzer (1966) para o Brasil.

Temperatura média Normal do mês mais frio		Total de chuva do mês mais seco (Pms)	Total de chuva anual (P)	Tipo de clima segundo Köppen (Climas Úmidos)	Símbolo	
≥ 18°C	≥ 22°C	≥ 60mm	< 2500 - 27,27. Pms	Tropical	Sem estação seca	Af
		< 60mm			>= 2500 - 27,27. Pms	Tropical com chuvas excessivas
	< 22°C	< 30mm	Subtropical	Quente		Cwa
				Temperado		Cwb
≥ 22°C	≥ 30mm	Quente		Sem estação de seca	Cfa	
		Temperado			Cfb	

Fonte: Cardoso; Marcuzzo; Barros (2014)

Na classificação, foram descritos cinco grupos básicos de clima (Tabela 2), identificados pelas letras maiúsculas A, B, C, D, E. Os grupos são subdivididos em

outros grupos, que tem como base a distribuição sazonal da precipitação e características da temperatura do ar (ALMEIDA 2016; YNOUE *et al.*, 2017).

Tabela 2. Grupos da classificação climática de Köppen

Grupos	Tipos Fundamentais
A	Af - clima tropical de selva chuvosa
	Aw - clima de savana tropical
B	BS - clima de espetes semiárido
	BW - clima de deserto (árido)
C	Cs - clima temperado úmido (com verão seco)
	Cw - clima temperado úmido (com inverno seco)
	Cf - clima temperado úmido (sem estação de seca)
D	Dw - clima de bosque frio com estação de seca (taiga)
	Df - clima de bosque sem estação de seca (taiga)
E	ET - clima de tundra (terra estéril)
	EF - clima de gelo perpétuos e nenhuma possibilidade de vegetação (glacial)

Fonte: Vianello e Alves (2012)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Normal Climatológica

Na Tabela 3 constam os valores médios e desvios padrão da temperatura do ar, da umidade relativa do ar, o valor médio das precipitações acumuladas mensal, a maior precipitação diária registrada e seu

ano de ocorrência, a média do número de dias que ocorreram precipitação em cada mês. Na última linha são apresentados os valores anuais da temperatura do ar e umidade relativa do ar, o valor acumulado anual da precipitação, a maior precipitação registrada em 24 horas, ano de ocorrência da maior precipitação e a quantidade de dias de chuva anual para o período de 1991 a 2020.

Tabela 3. Normal climática da temperatura, umidade relativa e precipitação para o município de Botucatu - SP de 1991 a 2020

Mês	T	UR	P Mensal	P Max. 24h	Ano	Nº Dias de P
	°C	%	mm	Mm		Dias
Jan.	23,58 ±0,85	75,76 ±7,35	315,14 ±131,12	238,05	2011	17
Fev.	23,80 ±0,85	74,26 ±10,10	215,13 ±215,13	284,00	2020	14
Mar.	23,22 ±0,99	74,26 ±7,71	161,91 ±79,69	113,19	1992	11
Abr.	21,88 ±0,84	70,67 ±8,84	83,39 ±52,01	64,53	2009	6
Mai	19,12 ±0,89	71,38 ±8,30	79,69 ±52,40	102,93	1993	6
Jun.	18,31 ±0,79	69,95 ±8,51	54,84 ±52,32	87,10	2012	5
Jul.	18,28 ±1,12	64,95 ±8,51	41,85 ±44,65	61,47	2019	3
Ago.	19,47 ±1,86	61,87 ±7,68	38,60 ±35,66	64,73	2008	3
Set.	20,71 ±1,02	65,61 ±9,32	80,72 ±63,85	68,93	2000	7
Out.	22,03 ±1,29	68,84 ±6,89	123,03 ±69,92	75,38	2011	9
Nov.	22,41 ±1,25	70,40 ±8,41	140,01 ±66,13	66,98	2003	11
Dez.	23,29 ±0,84	73,14 ±7,46	200,15 ±76,36	87,79	2009	14
Anual	21,34	70,07	1.534,47	284,00*	2020**	107

Legenda: T = Temperatura média do ar; UR = Umidade relativa do ar, P mensal = Precipitação acumulada mensal; P Max. 24h = maior precipitação diária registrada; Nº Dias de P = número de dias de precipitação.

* Precipitação máxima ocorrida e ** Ano de ocorrência de maior quantidade de precipitação da série histórica.

A Tabela 4 apresenta os valores das normais climáticas da temperatura máxima e mínima do ar, valores máximos e mínimos diários e ano de ocorrência. Os meses com maior temperatura ocorrem no verão com temperatura máxima acima de 28°C, sendo a

maior temperatura registrada de 39,19°C em 2020. Os meses com menor temperatura ocorrem no inverno chegando a menos de 15°C. Observando as medidas extremas e seus anos de ocorrência, alguns picos elevados foram observados no período de

2010 a 2020. Durante este período, recordes históricos foram registrados para temperaturas máxima e mínima.

Tabela 4. Normal Climática da temperatura máxima, mínima e ano de ocorrência de valores extremos no município de Botucatu - SP de 1991 a 2020

Mês	Tmax	Tmin	Tmax Absoluta	Ano	Tmin Absoluta	Ano
	(°C)	(°C)	(°C)		(°C)	
Jan.	28,34 ±1,34	19,87 ±0,64	35,70	2015	15,35	2002
Fev.	28,65 ±1,30	20,00 ±0,76	36,02	2012	14,98	1992
Mar.	28,12 ±1,14	19,46 ±0,68	34,45	2012	13,36	2011
Abr.	26,79 ±1,06	18,03 ±0,92	33,08	2012	8,32	2016
Mai	23,80 ±0,86	15,51 ±1,02	32,40	2010	6,88	2018
Jun.	23,12 ±1,47	14,54 ±1,00	30,93	2010	3,59	1994
Jul.	23,53 ±1,17	14,13 ±0,88	29,95	2010	2,69	1994
Ago.	25,21 ±1,31	14,77 ±1,20	35,82	2010	4,68	2011
Set.	26,50 ±1,89	16,04 ±1,06	37,50	2020	7,03	2002
Out.	27,77 ±1,76	17,40 ±1,23	39,19	2020	8,84	2014
Nov.	27,88 ±0,87	18,00 ±1,16	35,23	2006	10,65	2014
Dez.	28,46 ±0,90	19,16 ±0,86	34,65	2012	11,73	2011
Anual	26,51	17,24	39,19*	2020**	2,69*	2012**

Legenda: Tmax = média das temperaturas máximas do ar; Tmin = média das temperaturas mínimas do ar; Tmax Absoluta = temperatura máxima do ar diária; Tmin Absoluta = temperatura mínima do ar diária.

* Temperatura máxima e mínima do ar e ** Ano de ocorrência da maior e menor temperatura do ar da série histórica

5.2 Classificação Climática

Seguindo os critérios de classificação definidos por Köppen (1918) e adaptados por Setzer (1966) para o clima do Brasil, as variáveis utilizadas pelo modelo foram temperatura média do ar, média das precipitações acumuladas de cada mês e média dos valores de precipitação acumulado anual. O modelo se divide em 4 etapas (Tabela 1): analisando a temperatura média do ar do mês mais frio, temperatura média do ar do mês mais quente, volume de precipitação do mês de maior seca e volume total de precipitação anual. Em vista da interpretação do referido modelo, tem-se que:

1 - A série histórica apresentou a menor temperatura média de 18,28°C registrada no mês de julho no período do inverno. Descartando os grupos B, D e E.

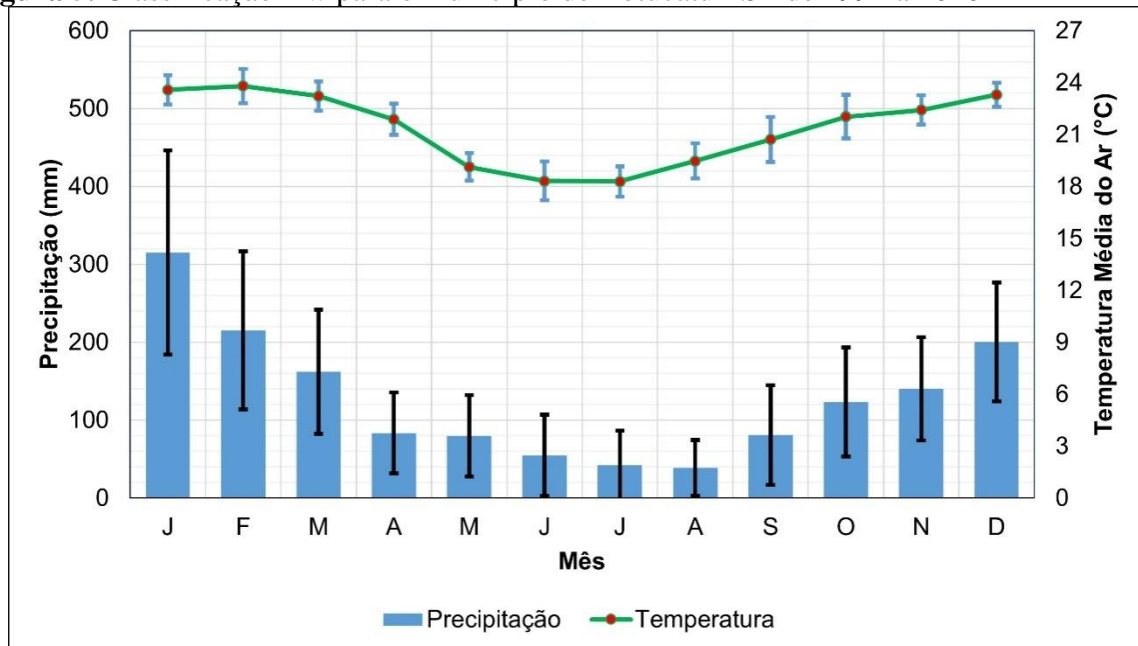
2 - A maior temperatura média da série ocorreu em fevereiro 23,80°C durante o verão.

3 - O volume do período de maior seca ocorreu no inverno, mês de agosto, com volume médio de 38,60 mm, eliminando o grupo C.

4 - O volume médio das precipitações acumuladas anual foi de

1.534,47 mm, que segundo os critérios citados, identifica o clima de Botucatu - SP como Aw segundo a classificação de Köppen, referenciado como clima de savana, tropical com chuva no verão e inverno seco. Isto faz com que a classificação feita com a série de 1991-2020 resulte em um tipo de clima diferente do encontrado anteriormente por outros pesquisadores (SMAABC, 2022; CUNHA et al., 2009; ROLIM, et al., 2007; ALVES et al., 2014; ROSSI, et al., 2018).

A Figura 5 apresenta o gráfico com as normais climáticas de temperatura e de precipitação, do período de 1991 a 2020, representando o clima Aw para o município de Botucatu – SP, após nova classificação. As maiores temperaturas e volume de precipitação ocorrem no verão com valores médio mensal de temperatura mínima 19,77°C, temperatura média 23,45°C e temperatura máxima de 28,37°C a precipitação média varia entre 160 e 315 mm acumulado ao mês. O período de seca e menor temperatura ocorre no período de inverno com valores médios de temperatura mínima de 14,48°C, temperatura média de 19,21°C e temperatura máxima de 25,08°C, e o volume de precipitação varia entre 38 a 80 mm.

Figura 5. Classificação Aw para o município de Botucatu - SP de 1991 a 2020

Fonte: Autor (2023)

A classificação dos climas presentes no território do Estado de São Paulo, realizada por Setzer (1966), indica que Botucatu estava na faixa de classificação Cwa (clima subtropical de inverno seco) (MARTINELLI, 2010) referente a valores médios de precipitação e de temperatura que datam de antes de 1966. Cunha e Martins (2009), utilizando séries históricas de 1971 a 2006, classificaram o clima de Botucatu como Cfa (clima subtropical com verão quente), segundo o modelo de Köppen, sendo a média anual de 20,3°C, temperatura média mínima de 17,1°C em julho, temperatura média máxima de 23,1°C no mês de fevereiro. Quanto à precipitação, o mês mais chuvoso, em média, é janeiro (246,2 mm) e mês mais seco é agosto (36,1 mm).

Pesquisas realizadas por Rolim *et al.* (2007) e Alves *et al.* (2014) identificaram o clima de Botucatu como Cfa. Também é possível encontrar autores que utilizam a classificação para Botucatu como sendo Cwa (SMAABC, 2002; ROSSI *et al.*, 2018).

Considerando a classificação atualizada do clima da cidade de Botucatu para Aw (clima de savana tropical), tem-se

que a modificação da classe de Cwa para Aw não altera a classificação de inverno seco. As citações sobre a classificação Cfa para Botucatu (CUNHA *et al.*, 2009; ROLIM *et al.*, 2007; ALVES *et al.*, 2014) consideram que o clima não possui estação seca, o que de fato não condiz com a natureza dos dados (Figura 6) devido à reduzida quantidade de precipitação nos meses de inverno.

A classificação Aw também implica na mudança de clima subtropical (Cwa) para clima tropical, e devido às demais especificidades de total de chuvas e temperatura média normal, a classificação climática de Botucatu passa a ser de savana tropical. A atualização constante de classificações climáticas é uma demanda urgente para melhor identificação das relações de clima e produção agrícola, entre outras demandas, principalmente frente às mudanças climáticas. Os dados referentes à normal climatológica atual (1991-2020) mostram um aumento da temperatura média normal e de total de chuva do mês mais seco, assim como total de chuva anual.

Segundo Rolim (2007) o clima do interior do estado de São Paulo Aw, Cwa e Cwb são influenciados pela altitude. O clima

Cwa perdeu muitas áreas no planalto central em detrimento de outros tipos de clima. Esta perda ocorre pelo fato que em muitas regiões a temperatura do mês mais frio foi maior que 18°C, favorecendo por sua vez os climas Af, Aw e Am.

Um estudo realizado por Alvares, Sentelhas e Dias (2022) identificou que o clima no município de Piracicaba – SP (81 km de distância de Botucatu) está mudando. Dados coletados na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP) apresentam que entre 1916 e 2016 a temperatura média no município registrou elevação de 0,9°C, a temperatura média do ar registrada entre 1917 a 1946 foi de 21,4°C. Durante o período de 1987 a 2016 a temperatura se elevou para 22,3°C. Esta elevação alterou a classificação climática do município de Cfa para Aw. Dados de bases de clima no interior do estado de São Paulo e da América do Sul apontam para forte tendência de tropicalização da região.

Uma alteração a cada meio grau (0,5°C) faz uma grande diferença em termos de impacto climático. As consequências são: aumento na ocorrência de tempestades, seca, onda de calor, mudança drástica no padrão de precipitação, entre outros. Eventos extremos de seca e precipitação elevada que ocorrem a cada 10 anos poderão ocorrer de duas a três vezes no mesmo período se o planeta estiver 2,0°C mais quente. Eventos de calor extremos que ocorriam a cada 50 anos poderão ocorrer 14 vezes no mesmo período. Se a temperatura média do planeta aumentar 4,0°C (em relação ao período de 1850 - 1900) antes de 2100, o número de eventos climáticos extremos em algumas localidades pode se tornar nove vezes mais frequentes (IPCC AR 6, 2021).

6 CONCLUSÃO

O clima de Botucatu é caracterizado por verão quente e chuvoso e inverno frio e seco. As normais climatológicas

identificadas no período de 1991 a 2020 indicam temperaturas médias mínima de 17,24°C, média de 21,34°C e média máxima de 26,51°C. A umidade relativa do ar apresenta valor médio de 70% no ano, sendo a precipitação acumulada anual de aproximadamente 1.500 mm, ocorrendo, em média, precipitação em 107 dias do ano. Aplicando o método de Köppen, o clima de Botucatu - SP foi identificado como Aw, devido a temperatura média do mês mais frio (18,28°C) estar acima de 18°C o resultado desta classificação foi diferente da encontrada por outros autores em períodos anteriores. No ano de 2020, em fevereiro, ocorreu a maior precipitação da série histórica, de 284 mm diário, e em outubro a maior temperatura máxima do ar registrada de 39,19°C.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Faculdade de Ciências Agrônomicas (UNESP) de Botucatu (SP) - Brasil. A todos os observadores meteorológicos que trabalharam dia a dia durante todos esses anos e possibilitaram a realização desta pesquisa.

8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, H. A. **Climatologia Aplicada a Geografia**. Campina Grande: EDUEPD, 2016.

ALVES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS; P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível

em:

https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref. Acesso em: 21 set. 2023.

ALVARES, C. A.; SENTELHAS, P. C.; DIAS, H. B. Southeastern Brazil inland tropicalization: Köppen system Applied for detecting climate change throughout 100 years of meteorological observed data.

Theoretical and Applied Climatology, Viena, v. 149, p. 1431-1450, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04122-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-022-04122-4>. Acesso em: 21 set. 2023.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e do Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, Boa vista, v. 8, n. 16, p. 40-55, 2014. DOI: 10.5654/actageo2014.0004.0016.

Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/15047/1/1384-9805-1-PB.pdf>. Acesso em: 21 set. 2023.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, jan./mar. 2009. DOI:

<http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2009v014n1p1-11>. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3393/2147>. Acesso em: 21 set. 2023.

IBGE. **Brasil / São Paulo / Botucatu**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/botucatu/panorama>. Acesso em: 02 ago. 2022.

IPCC. **AR6 Synthesis Report**: Climate Change 2023. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em:

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 10 out. 2023.

INMET; MAPA. **Normais climatológicas do Brasil 1991-2020**. Brasília, DF: INMET, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/uploads/normais/NORMAISCLIMATOLOGICAS.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2023.

FRANCO, J. R.; RANIERO, M. R.; CALÇA, M. V. C.; RODRIGUES, S. A.; DAL PAI, A.; DAL PAI, E. Análise Comparativa Entre Medidas Meteorológicas da Estação Convencional e Automática da Fazenda Lageado no Município de Botucatu, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 223-232, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786372003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/KXgZBh6PTtcNzktwMvLSgy/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 set. 2023.

KÖPPEN, W. Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. **Petermanns Mitt**, Gotha, v. 64, p. 193-203, 1918.

MARTINELLI, M. Clima do Estado de São Paulo. **Confins**, Paris, n. 8, 2010. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/6348>. Acesso em: 06 fev. 2023.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000400022>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/braga/a/NpCWHvyYzzHDFtp6LVyGg5g/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 set. 2023.

ROSSI, T. J.; ESCOBEDO, J. F.; SANTOS, C. M.; ROSSI, L. R.; SILVA, M. B. P.; DAL PAI, E. Global, diffuse and direct solar radiation of the infrared spectrum in Botucatu/SP/Brazil.

Renewable and Sustainable Energy

Reviews, Belfast, v. 82, Part 1, p. 448-459, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.030>.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117312753?via%3DiHub>

b. Acesso em: 21 set. 2023.

SMAABC. **Climatologia**. São Paulo:

Castro, 2002. Disponível em:

https://sma.fundacaoabc.org/climatologia/classificacao_climatica/sao_paulo. Acesso em: 19 set. 2022.

SILVA FILHO, A. L.; SANTOS JUNIOR, W. M.; COSTA, V. C.; MARQUES FILHO, J. P. Classificação climática de Köppen aplicada em unidades de conservação: estudo de caso no parque estadual do mendanha (PEM) e na área de proteção ambiental gericinó-mendanha (APAGM). **Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 3, p. e58446, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Marques-Filho/publication/357132553_CLASSIFICACAO_CLIMATICA_DE_KOPPEN_APLICADA_EM_UNIDADES_DE_CONSERVACAO_ESTUDO_DE_CASO_NO_PAR

https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Marques-Filho/publication/357132553_CLASSIFICACAO_CLIMATICA_DE_KOPPEN_APLICADA_EM_UNIDADES_DE_CONSERVACAO_ESTUDO_DE_CASO_NO_PAR

QUE_ESTADUAL_DO_MENDANHA_PEM_E_NA_AREA_DE_PROTECAO_AMBIENTAL_GERICINO-_MENDANHA_APAGM/links/61bcffbda6251b553ac71cf3/CLASSIFICACAO-CLIMATICA-DE-KOePPEN-APLICADA-EM-UNIDADES-DE-CONSERVACAO-ESTUDO-DE-CASO-NO-PARQUE-ESTADUAL-DO-MENDANHA-PEM-E-NA-AREA-DE-PROTECAO-AMBIENTAL-GERICINO-MENDANHA-APAGM.pdf. Acesso em: 21 set. 2023.

SETZER, J. **Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguaí, 1966.

WMO. **Normas Climatológicas WMO**.

Genebra:WMO, 2023. Disponível em:

<https://community.wmo.int/wmo-climatological-normals>. Acesso em: 15 de janeiro de 2023.

YNOUE, R. Y.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; SILVA, G. A. M.

Meteorologia: noções básicas. São Paulo: Oficina de Texto, 2017.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital 2. Recife: [S. n.], 2006.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R.

Meteorologia Básica e Aplicada. 2. ed. Viçosa: UFV, 2012.