



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

AVALIAÇÃO ESPACIAL DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS,
MÍNIMAS E UMIDADE RELATIVA DO AR PROVENIENTES DAS
REANÁLISE DO ERA5 SOBRE O ESTADO DE SÃO PAULO

William Masayoshi Kuriyama

Relatório de Iniciação Científica do programa
PIBIC, orientado pela Dra. Ariane Frassoni e co-
orientado pela Me.(a) Glícia Ruth Garcia de Araújo

INPE
Cachoeira Paulista, SP
2023

Resumo

Para avaliar a qualidade das reanálises sobre o Estado de São Paulo, este trabalho propõe o uso de metodologias de controle de qualidade nos dados observados das estações meteorológicas de superfície para as variáveis temperatura e umidade relativa do ar próximo à superfície. A metodologia considera três critérios mínimos a serem atendidos: i) avaliar se cada estação tem pelo menos 10 anos de dados completos; ii) assegurar que não há mais de 25% de dados faltantes (91 dias) em cada ano; iii) verificar se há mais de 10 anos de falhas em cada série histórica e identificar se os anos mais recentes (2000 em diante) estão presentes (sem falhas), para determinar sua exclusão ou não. O Estado de São Paulo possui no total 43 estações automáticas do INMET. Foram validadas 16 e descartadas 27 e o período escolhido para validação dos dados das reanálises foi de janeiro de 2009 a dezembro de 2019. Foi aplicado o método de Cluster para verificar a similaridade entre os dados. Pela análise de cluster, os índices silhueta e cotovelo sugeriram 3 grupos, sendo eles, o grupo A, B e C para a Tmax e Tmin. O grupo A está localizado nas regiões nordeste a sudeste, o grupo B de noroeste a nordeste e grupo C na região do litoral a sudeste do estado. Índices estatísticos foram calculados para analisar a qualidade das reanálises. No dia 10 a 19 de agosto de 2014 ocorreu um evento de onda de calor no centro-sul da América do Sul. Os resultados indicam que o ERA5 tem a tendência de superestimar as temperaturas medidas nas estações meteorológicas. Porém, os valores de desvio padrão não foram discrepantes entre os valores observados e previstos. Além disso, os dados observados e da reanálise ERA5 possuem uma correlação positiva e forte entre os grupos avaliados.

Palavras-chave: 1. Temperatura do ar. 3. Umidade relativa. 3. Avaliação

Introdução

Têm-se registrado inúmeros eventos extremos de calor em várias regiões do mundo. A partir do século XXI, estes eventos estão se tornando mais frequentes (Spinoni et al., 2015; Lee; Lee, 2016; Bitencourt et al., 2016; Geirinhas et al., 2018; Garcia de Araújo et al., 2022), impactando negativamente os setores da saúde, socioeconômicos, agropecuário e também podendo causar aumento significativo da demanda de consumo de energia elétrica. No ano de 1980 nos Estados Unidos, em Memphis, foi registrado uma onda de calor com uma duração de 26 dias consecutivos, no total foram registrados 86 óbitos devido ao calor, em comparação com julho de 1979 (Applegate et al., 1981). Outro exemplo foi um evento de ondas de calor mais recente ocorrido em 2003 na Europa Central, que experimentou o verão mais quente desde 1500, causando a morte de cerca de 14800 pessoas na França (Kovats, 2006).

De acordo com o Marengo (2014), para o Brasil, as projeções indicam aumento da temperatura e de extremos de calor, bem como redução na frequência de geadas devido ao aumento da temperatura mínima, principalmente nos estados do Sudeste, Sul e Centro-Oeste.

Por conta das ocorrências citadas anteriormente, faz-se necessário possuir programas de monitoramento para reduzir o impacto causado pelas ondas de calor (Michelozzi et al., 2010) sobre a população e economia.

No Brasil há poucas estações meteorológicas (cobertura espacial) e também observa-se falta de dados nas séries coletadas (cobertura temporal), resultando em baixa confiança na análise pura dos dados em praticamente o país inteiro, o que torna a análise de dados mais complexa e cuidadosa (REGOTO et al., 2021). Logo, as reanálises podem suprir essa necessidade, fornecendo informações a partir da combinação da modelagem numérica com as observações (Fischer Filho & Da Silva, 2022).

A reanálise meteorológica é um conjunto de dados obtidos a partir de modelos de circulação global, que utiliza assimilação de dados observados de diferentes fontes, cujo procedimento aproxima a simulação do modelo das observações (Kalnay 2003; Stüker et al, 2016). O Era-Interim é uma reanálise

que foi substituída pelo ERA5, sendo da quinta geração do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), o mesmo possui uma grade de 25 Km e seus dados cobrem todo o globo terrestre, fornecendo estimativas de hora em hora de um grande número de variáveis atmosféricas, terrestres e oceânicas (Fischer Filho & Da Silva, 2022; Hersbach et al., 2020).

Como supracitado, por conta das reanálises serem de escala global, pesquisas têm sido desenvolvidas utilizando o ERA5. Dentre estas, a pesquisa de Foli et al. (2022) mostrou que a velocidade do vento foi superestimada e subestimada dependendo da localização geográfica. Destaca-se também o estudo de Tahir et. al (2020) que aborda sobre avaliação da reanálise da radiação solar de superfície do ERA5 e outras reanálises usando observações de superfície para Baluchistão, Paquistão. Os autores concluíram que a superestimativa e a subestimativa mensal levam a valores gerais mais baixos de erros médios usando a análise estatística anual, o desempenho dos conjuntos de dados é melhorado, mas a precisão é comprometida.

Assim como no Brasil, foi avaliado o desempenho do ERA5 nas estimativas de temperatura do ar e precipitação na Amazônia, onde afirma-se que os dados do ERA5 tendem a superestimar os dados do INMET no período seco (Balmaceda-Huarte et al., 2021; De Moraes et al., 2020).

Objetivos

Objetivo Geral

Esta pesquisa objetiva avaliar a temperatura máxima e mínima e umidade relativa do ar sobre o Estado de São Paulo simuladas pelas reanálises do ERA5, validando a acurácia da reanálise em relação às estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Objetivos Específicos

- Realizar o controle de qualidade dos dados observados da Temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) e da umidade relativa do ar (UR) provenientes das estações meteorológicas sobre o estado de São Paulo.
- Aplicar a técnica de análise exploratória: Análise de Cluster (método do cotovelo e silhueta).
- Avaliar a Tmax, Tmin e UR do ERA5 com as estações meteorológicas do INMET.
- Comparar os dados estatisticamente, por meio do DP, R^2 , BIAS, MAE e RMSE.
- Representar a variação das variáveis por meio de interpolação.

Desenvolvimento

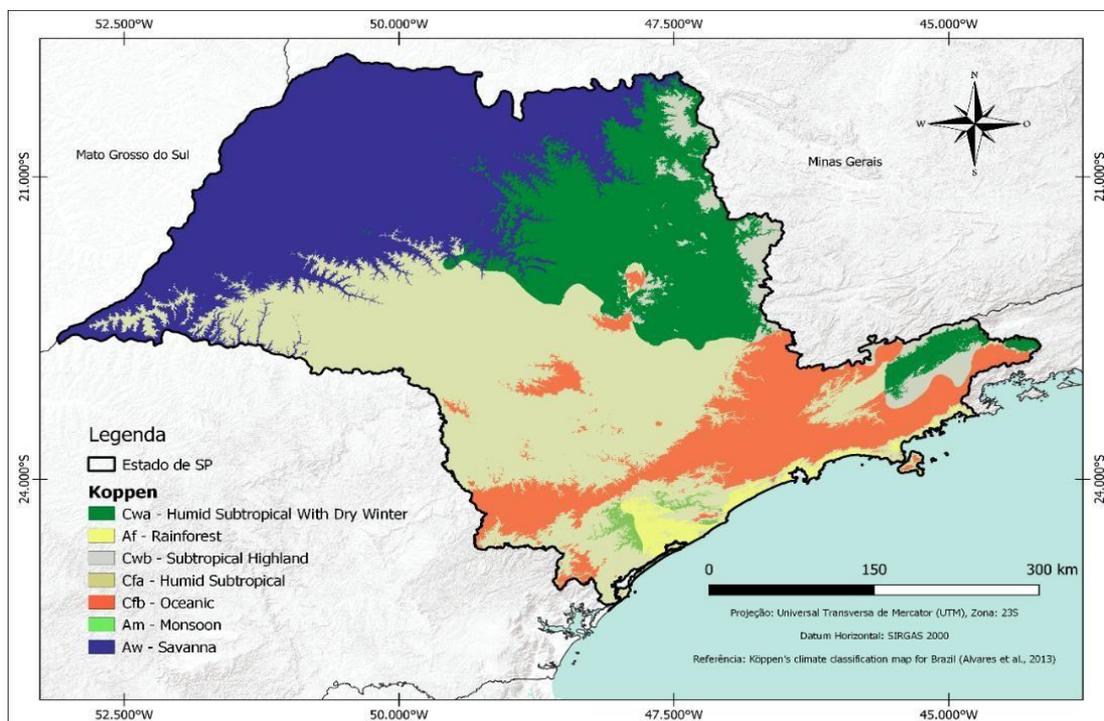
Revisão Bibliográfica

A área de estudo é o estado de São Paulo, possuindo uma extensão aproximada de 248.209 km², de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o Estado possui 44,04 milhões de habitantes dividido em 645 municípios.

O relevo paulista é formado por planaltos e depressões, concentrando as maiores elevações na porção oriental do território, próximo do litoral. As médias altimétricas variam na faixa dos 300 m aos 900 m (Silva, 2008).

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, segundo os estudos de Alvares et al. (2013) determina que o Estado de São Paulo possui 7 classificações climáticas.

1 Figura – Classificação climática de Köppen para o Estado de São Paulo



(Fonte: Alvares et al., 2013)

Na ilustração acima, é possível visualizar a distribuição espacial do clima dentro do estado de São Paulo, sendo elas a subtropical úmido com inverno seco, floresta tropical, planalto subtropical, subtropical úmido, oceânica, monção e savana.

Metodologia

Tratamento dos dados espúrios

A primeira etapa da presente pesquisa foi realizar o controle de qualidade de dados baseado na metodologia de Regoto et al. (2021). Os autores utilizaram 3 (três) critérios para validar a utilização das estações meteorológicas automáticas para observar os extremos de precipitação e temperatura do ar para o Brasil. Sendo elas:

- i) Avaliar se cada estação tem pelo menos 10 anos de dados completos;
- ii) Assegurar que não há mais de 25% de dados faltantes (91 dias) em cada ano;
- iii) Verificar se há mais de 10 anos de falhas em cada série histórica e identificar se os anos mais recentes (2000 em diante) estão presentes (sem falhas), para determinar sua exclusão ou não.

O autor utilizou 20 anos de dados completos para cada estação distribuída no Brasil. Porém, para a presente pesquisa foi utilizado no mínimo 10 anos de dados completos por conta da escassez de estações do INMET sobre o Estado de São Paulo.

Análise de Cluster

Para fins de comparação dos dados, foi utilizado um método de agrupamento para observar as similaridades dos dados das estações meteorológicas. Pesquisadores como Rolim et al., (2007), utilizaram o método de Cluster para classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo.

Nesta presente pesquisa, foi utilizado o método do Cotovelo e Silhueta para determinar a quantidade ideal de agrupamento a ser utilizado, conforme Kassambara (2017).

Extração dos dados do ERA5

Nesta etapa, foram selecionados os períodos e os pontos de grade próximos das estações meteorológica do INMET selecionadas no controle de qualidade. Como o ERA5 tem resolução espacial de 25 Km, o ponto de amostragem será próximo à coordenada informada.

As reanálises do ERA5 estão disponíveis a cada hora (UTC). Foram realizados a média da temperatura do horário de 0 a 23 UTC durante o período selecionado. Posteriormente, foram selecionados a temperatura máxima e mínima diária para cada ponto.

Interpolação

Com suporte de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG)

os valores de temperatura máxima e mínima foram interpolados no *software* QGIS versão 3.16.15 para visualizar a distribuição espacial do ERA5 e das estações automáticas do INMET. O interpolador utilizado foi o Inverso do Quadrado da Distância (IQD):

$$xp = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} * xi \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \right)}$$

Sendo:

xp = atributo interpolado;

xi = valor do atributo do i-ésimo ponto de amostragem;

di = distância euclidiana entre o i-ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado; n = número de amostras.

Erro Médio Absoluto (MAE)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y - yi|$$

y = Valor Observado

yi = Valor Previsto

n = Quantidade de dados

Erro Quadrático Médio

$$MSE = \frac{\sum (y - \hat{y}_i)^2}{n}$$

Raiz Quadrática do Erro Médio

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Desvio Padrão Populacional

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

x = Valor Individual

\bar{x} = Média dos Valores

n = número dos valores

Resultados

Tmin e Tmax

O estado de São Paulo possui 43 estações automáticas do INMET, dentre elas, foram realizados o tratamento de dados espúrios seguindo os critérios do controle de qualidade estabelecidos anteriormente. Abaixo temos a Tabela 1

exemplificando a organização do ano, porcentagem de valor nulo, quantidade de dados totais e quantidade de dados nulos.

1 Tabela – Tratamento de dados espúrios da estação meteorológica de Presidente Prudente – SP.

Presidente Prudente – SP			
Ano	Quantidade Nulo (%)	Quantidade Nulo	Total
2001	2,50	75	3000
2002	34,47	3020	8760
2003	10,87	952	8760
2004	70,68	6209	8784
2005	4,54	398	8760
2006	3,71	325	8760
2007	0,35	31	8784
2008	0,09	8	8760
2009	55,69	4879	8760
2010	12,68	1111	8760
2011	0,10	9	8784
2012	0,03	3	8760
2013	20,15	1765	8760
2014	11,32	991	8760
2015	0,03	3	8760
2016	0,06	5	8784
2017	0,05	4	8760
2018	7,53	660	8760
2019	0,03	3	8760
2020	0,00	0	8760

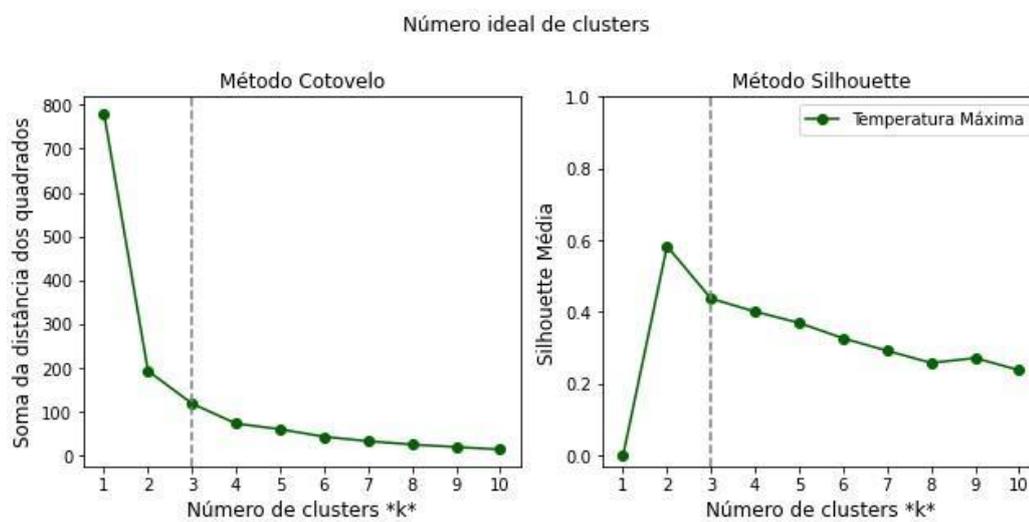
(Fonte: Elaboração Própria)

É possível observar que na estação meteorológica de Presidente Prudente, a quantidade de dados nulos não atende o segundo critério completamente, que consiste máximo até 25% de dados faltantes por ano, estando presentes nos anos de 2002, 2004 e 2009. Portanto, os dados válidos a serem utilizados para a estação de Presidente Prudente são a partir de 2010, com uma série completa de 10 anos.

Assim como a estação supracitada, este problema ocorre em diversas estações. Por conta disso, foi selecionado um período mínimo de 10 anos de dados completos, para utilizar o máximo de estações possível. Contudo, foram validadas 16 estações do período de 2009 a 2019.

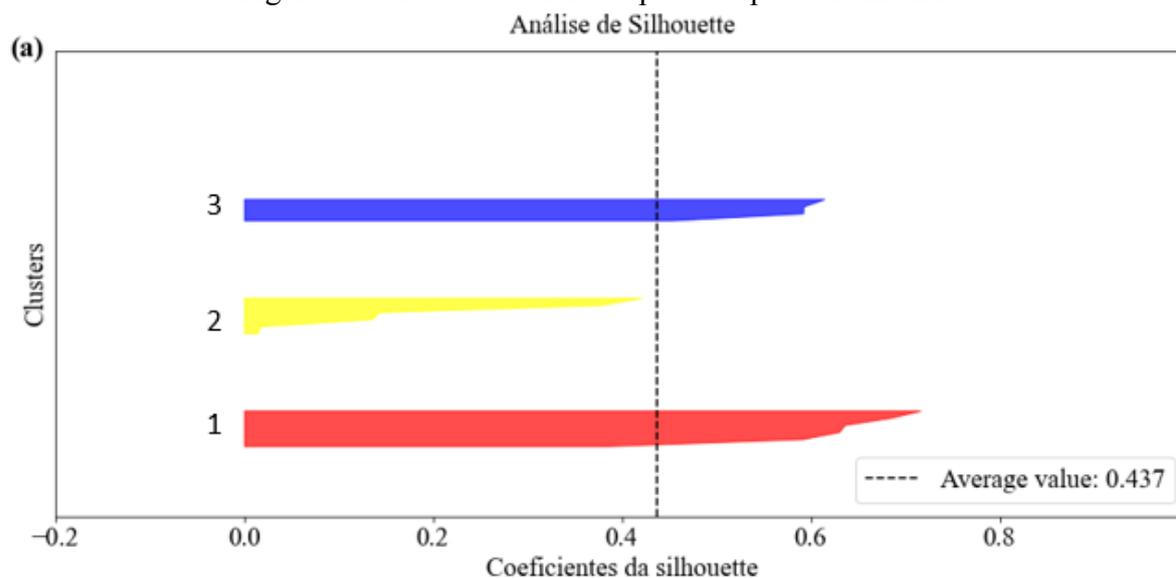
Posteriormente, com os valores de temperatura máxima e mínima mensal do ar definidos, foi empregada a técnica de análise de Cluster.

Figura 2 – Métodos do Cotovelo e Silhueta para temperatura máxima.



(Fonte: Elaboração Própria)

Figura 3 – Método da Silhueta para temperatura máxima



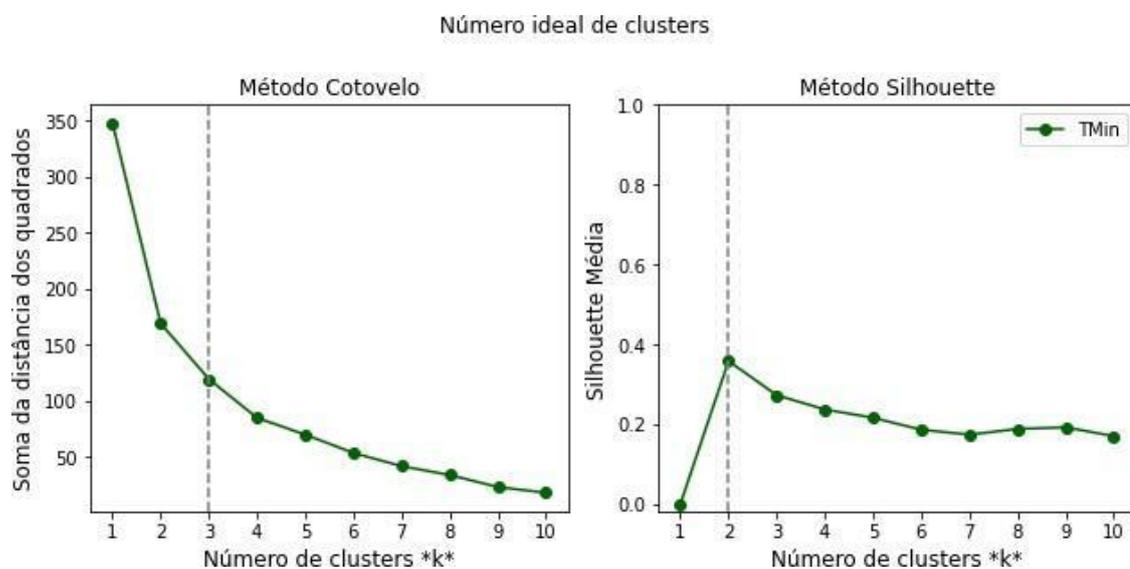
(Fonte: Elaboração Própria)

Nas Figuras 2 e 3, observa-se que para a temperatura máxima, é sugerido utilizar 3 agrupamentos pelo método do cotovelo e da silhueta, pois quando é analisado para 4 número de clusters, aumenta os conflitos entre os clusters.

Já para a temperatura mínima (Figuras 4 e 5), o método de silhueta sugeriu utilizar dois agrupamentos. Porém, para o método do cotovelo ainda foi aceitável utilizar três clusters.

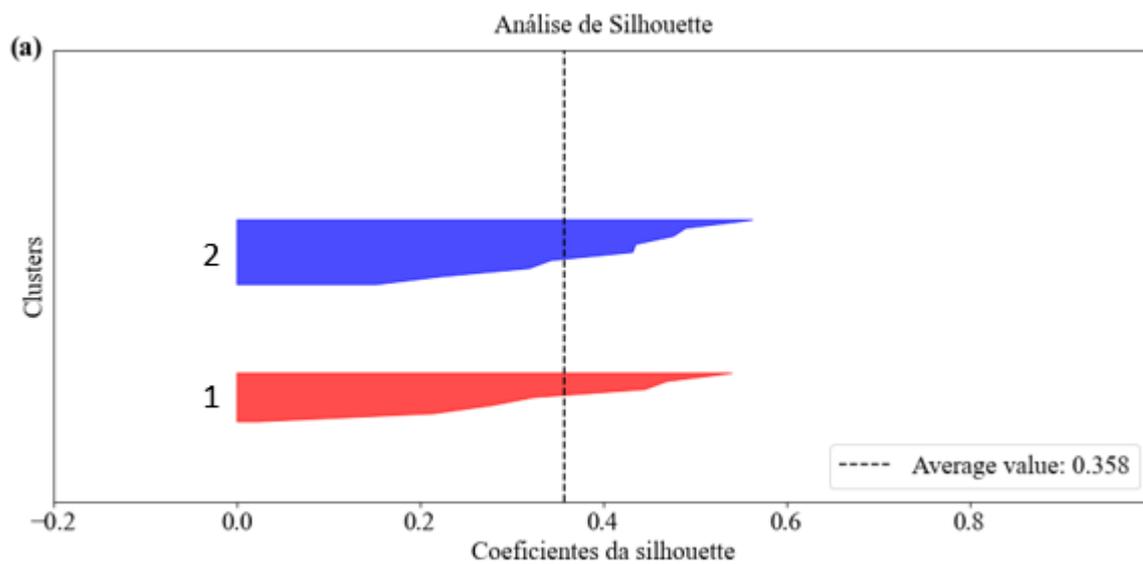
Tanto para a temperatura máxima e mínima, os métodos sugeriram três Clusters na maioria, portanto, utilizamos a quantidade de agrupamento indicado.

Figura 4 – Métodos do Cototovelo e Silhueta para temperatura mínima



(Fonte: Elaboração Própria)

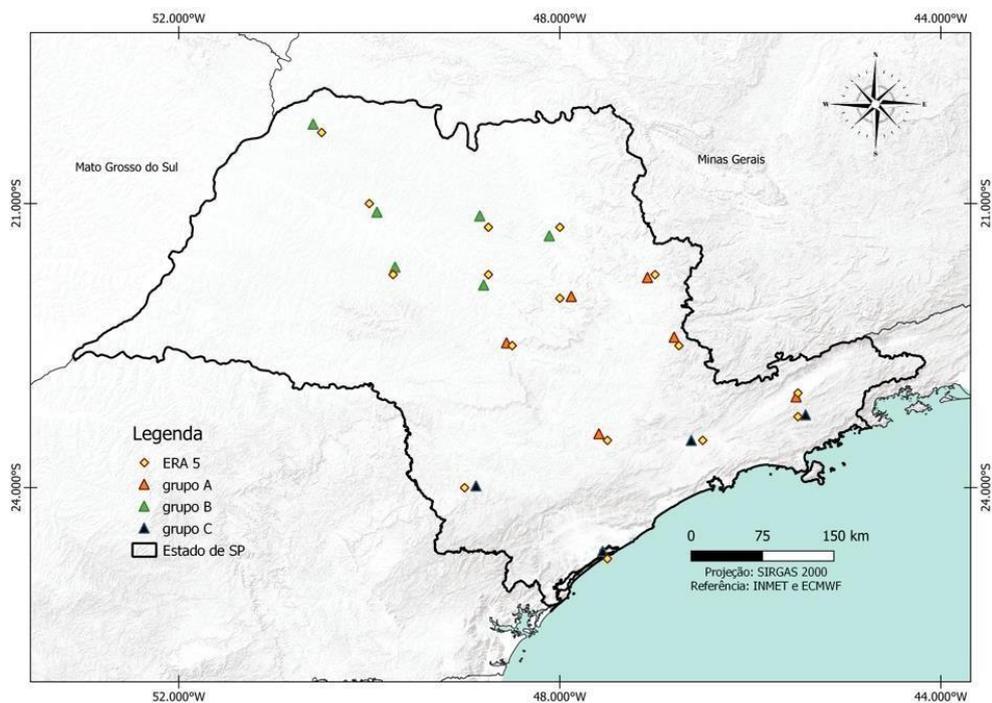
Figura 5 – Método da Silhueta para temperatura mínima



(Fonte: Elaboração Própria)

Após definir os grupos conforme a similaridade dos dados, foram extraídos as coordenadas e os valores de temperatura do ERA5, respectivo às estações meteorológicas, conforme a Figura 6.

Figura 6 – Localização das estações automáticas e do ERA5

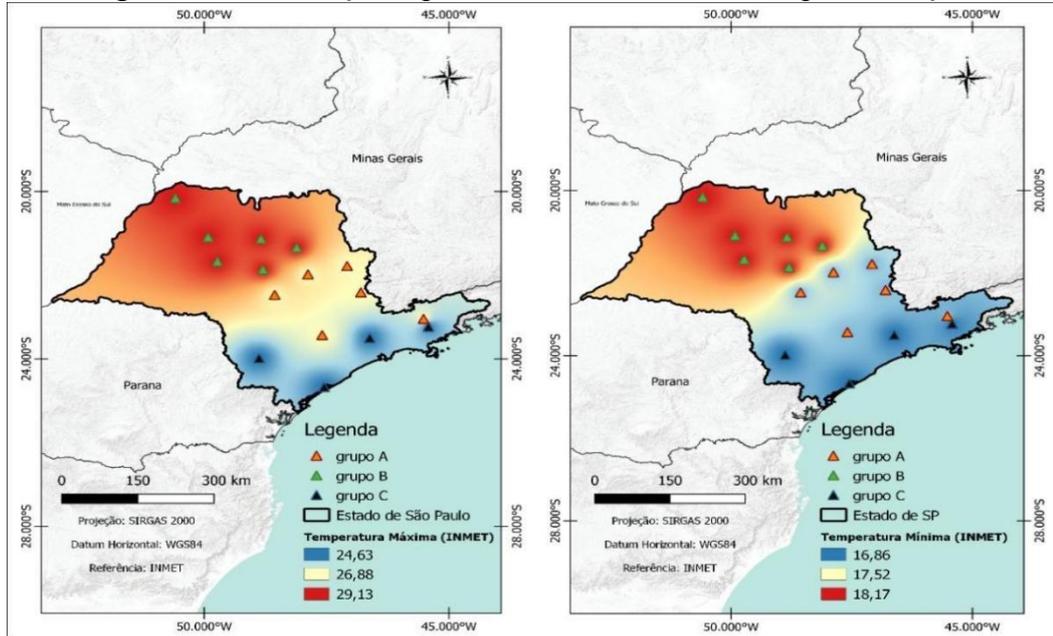


(Fonte: Elaboração Própria)

Foram selecionados a temperatura máxima e mínima do ar diária analisados dentro do período de 10 anos (2009 a 2019) de dados.

O grupo A está localizado nas regiões nordeste a sudeste, o grupo B de noroeste a nordeste e grupo C na região do litoral a sudeste.

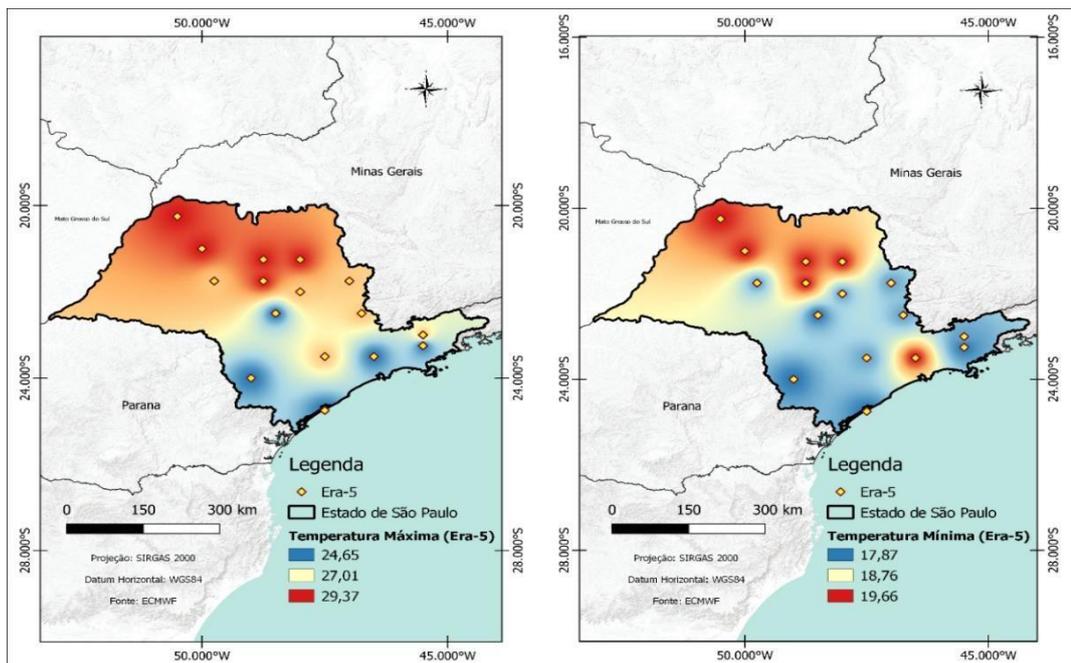
Figura 7 – Distribuição espacial da Tmax e Tmin do ar pelas estações



(Fonte: Elaboração Própria)

É possível observar na Figura 7 que os comportamentos das temperaturas dos grupos B e C agem de forma homogênea, porém, no grupo A apresenta um ponto isolado ao leste que está afastado espacialmente, enquanto que o ERA5 apresenta alguns pontos heterogêneos, sendo representados na figura 8.

Figura 8 - Distribuição espacial da Tmax e Tmin do ar pelo ERA5

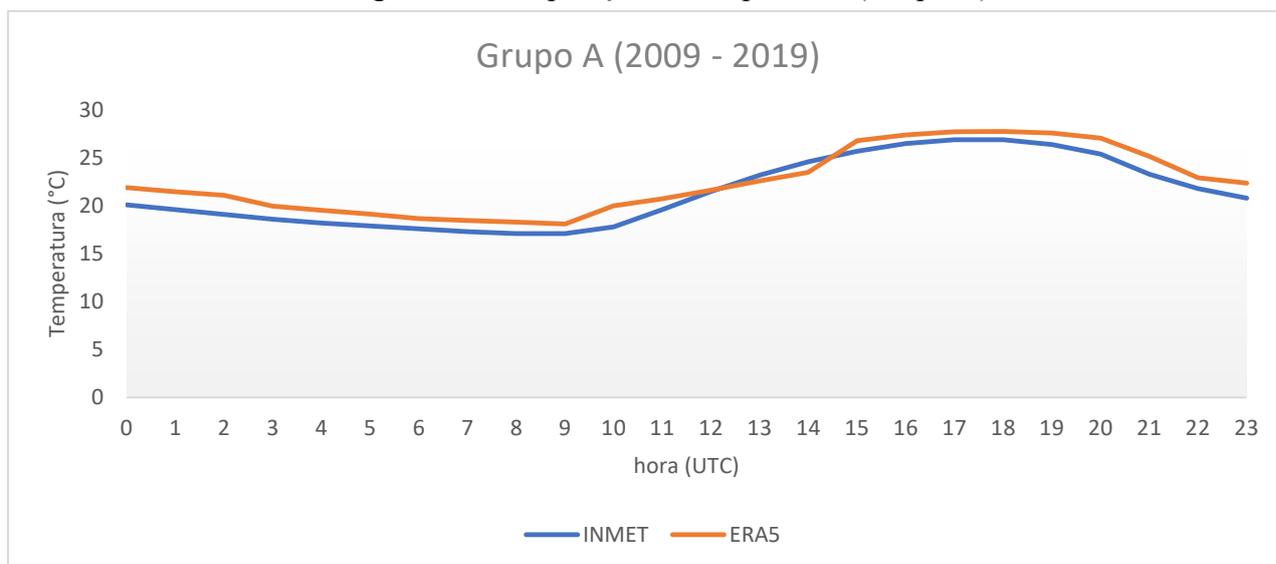


(Fonte: Elaboração Própria)

Para as Reanálises do ERA5 observados na figura 8, os pontos médios de temperatura máxima possui um ponto de grade na região central que apresentou um valor de 24,65 °C que está distante do valor observado, sendo que da estação inferiu um valor próximo a 27 °C. Já para o mapa de temperatura mínima a direita da figura, é possível visualizar o mesmo erro, sendo no ponto de grade ao sudeste, a Reanálise ERA5 superestimou com um valor de 19,66 °C, enquanto o valor observado foi de 16,86 °C.

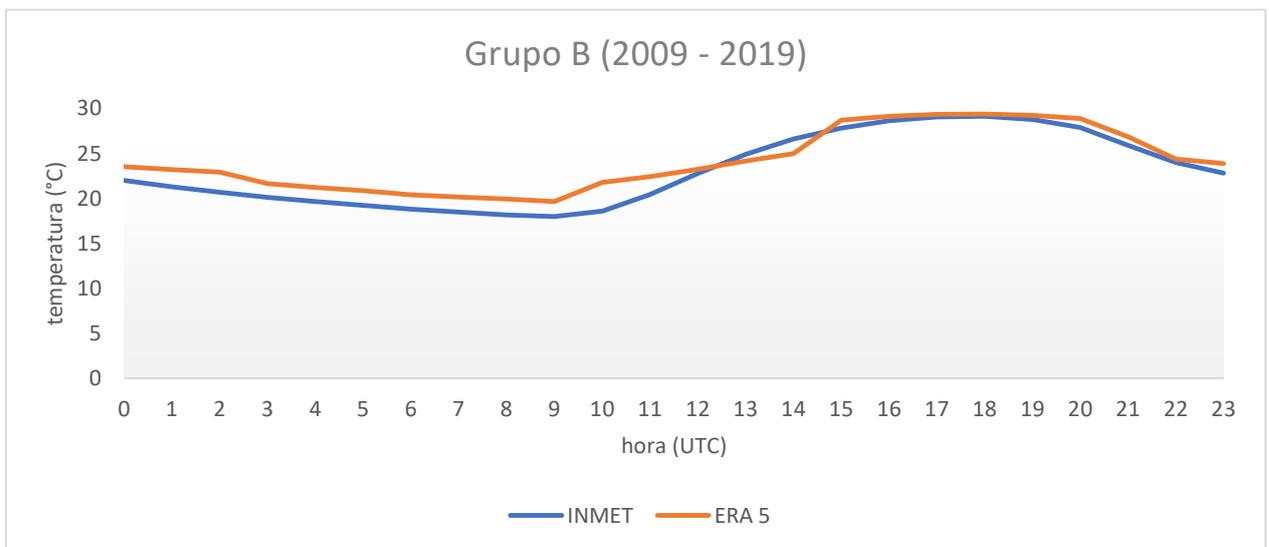
A partir da figura 9 a 11 é possível notar que os valores de temperatura máxima diária dos grupos A, B e C ocorrem no horário 18 UTC. Para as mesmas figuras citadas anteriormente, a temperatura mínima diária, a ocorrência foi no horário 8 e 9 UTC, tanto para os dados observados quanto para os do ERA5.

Figura 9 – Comparação da temperatura (Grupo A)



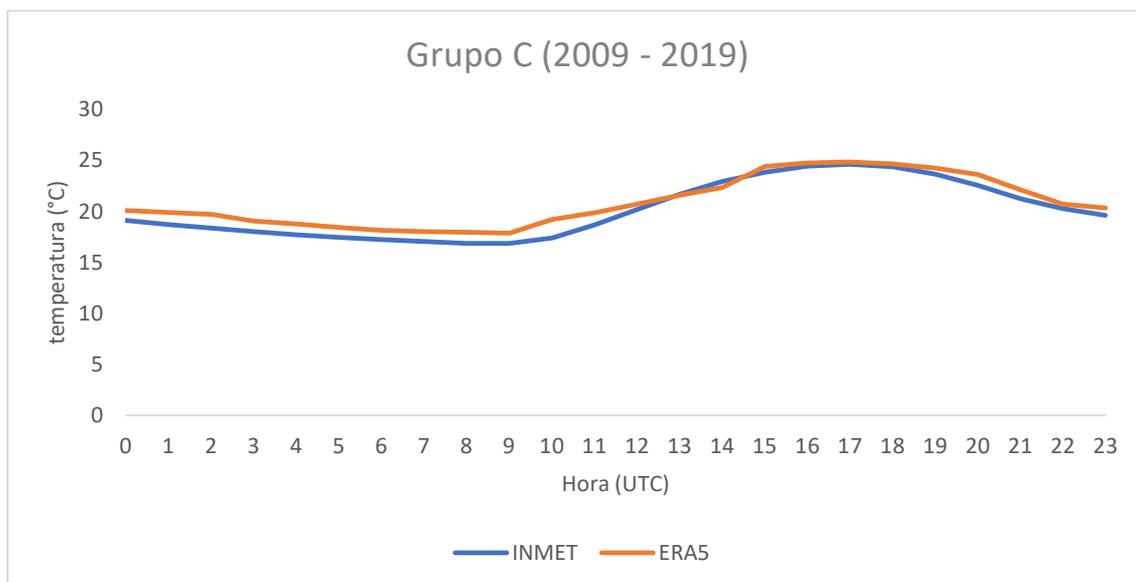
(Fonte: Elaboração Própria)

Figura 10 – Comparação da temperatura (Grupo B)



(Fonte: Elaboração Própria)

Figura 11 – Comparação da temperatura (Grupo C)



(Fonte: Elaboração Própria)

Além disso, a Reanálise ERA5 superestimou os dados de temperatura observados das estações meteorológicas, subestimando apenas nos horários 13 e 14 UTC para as figuras 9 e 10, enquanto que na figura 11 subestimou apenas o horário 14 UTC.

Foi analisado a acurácia do ERA5 respectivos a localização das estações meteorológicas conforme a tabela 1.

1. Tabela – Coordenadas Geográficas das Estações Meteorológicas

Estação	Latitude	Longitude
SP Mirante	-23.496	-46.619
Presidente Prudente	-22.119	-51.408
São Carlos	-21.980	-47.883
Iguape	-24.671	-47.545
Sorocaba	-23.426	-47.585
Itapeva	-23.981	-48.885
São Miguel Arcanjo	-23.851	-48.164
Ourinhos	-22.948	-49.894
Rancharia	-22.372	-50.974
Lins	-21.666	-49.734
Taubaté	-23.041	-45.520
Votuporanga	-20.403	-49.966
Jales	-20.165	-50.594
José Bonifácio	-20.085	-49.920
Ariranha	-21.133	-48.840
Ibitinga	-21.855	-48.799

Casa Branca	-21.780	-47.075
Itapira	-22.415	-46.805
São Luiz do Paraitinga	-23.228	-45.416
Barra Bonita	-22.471	-48.557
Pradópolis	-21.338	-48.113
Ituverava	-20.359	-47.775

Na tabela 1 está a coordenada geográfica para cada estação, sendo que os mesmos serviram de subsidio para obter os pontos de grade da Reanálise do ERA5.

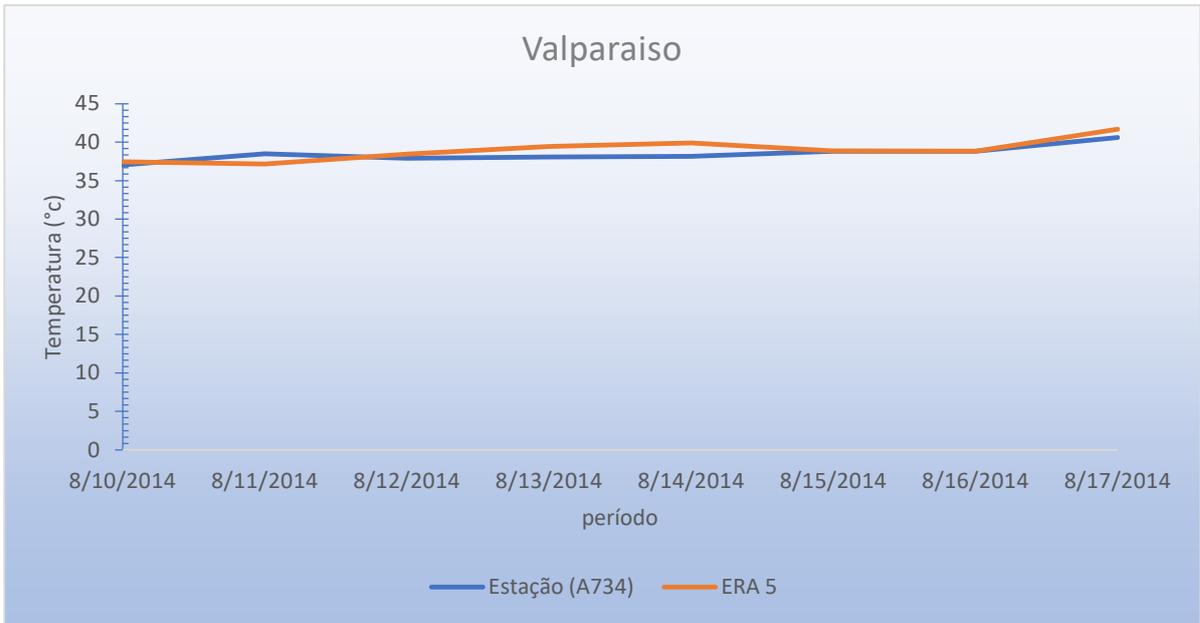
2. Tabela – Acurácia dos dados

	MAE	MSE	RMSE	R-Squared	standard deviation
Grupo A	1,255	1,789	1,337	0,85	3,45
Grupo B	1,293	2,180	1,476	0,86	3,68
Grupo C	0,826	0,837	0,915	0,88	2,59

(Fonte: Elaboração Própria)

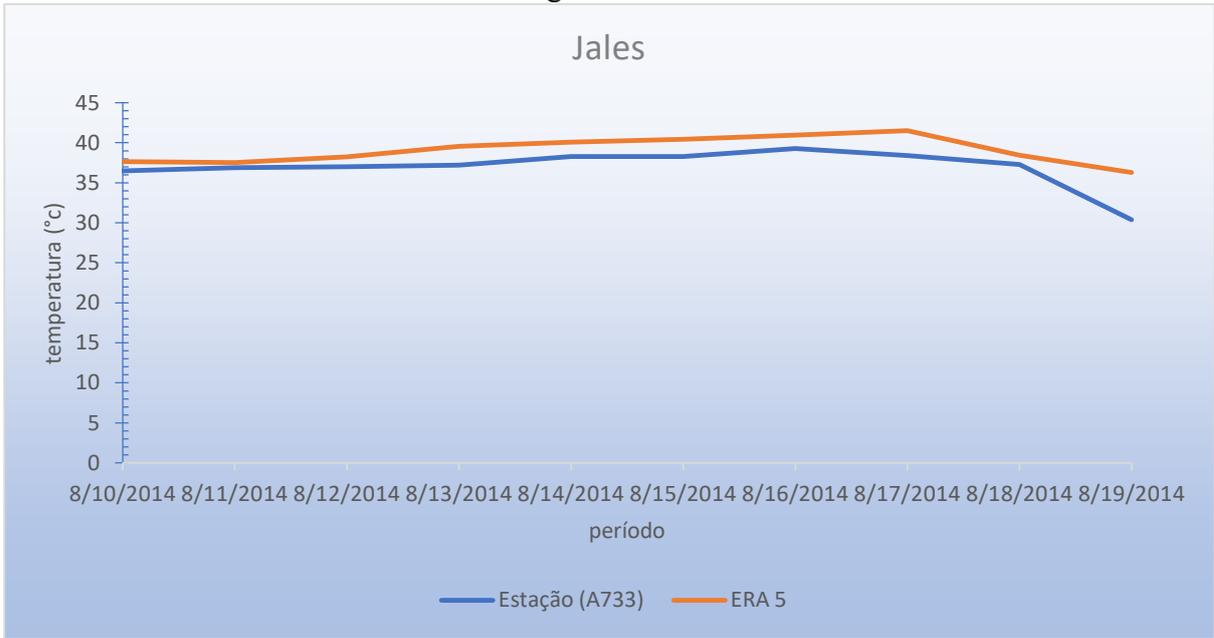
O Grupo que apresentou um menor erro em relação ao ERA5 foi o C com o coeficiente de correlação de 0,88 e o desvio padrão de 2,59. Em seguida foi o grupo A e Grupo B.

No dia 10 a 19 de agosto de 2014 ocorreu um evento de onda de calor no Centro-Sul da América do Sul. Para avaliar os dados do ERA5 para o período selecionado, foi calculado o viés da temperatura, definido como a diferença entre os dados de temperatura do horário de 15 horas (18 UTC) para uma das quatro estações e o valor de temperatura do ERA5 para o ponto de grade mais próximo das estações.



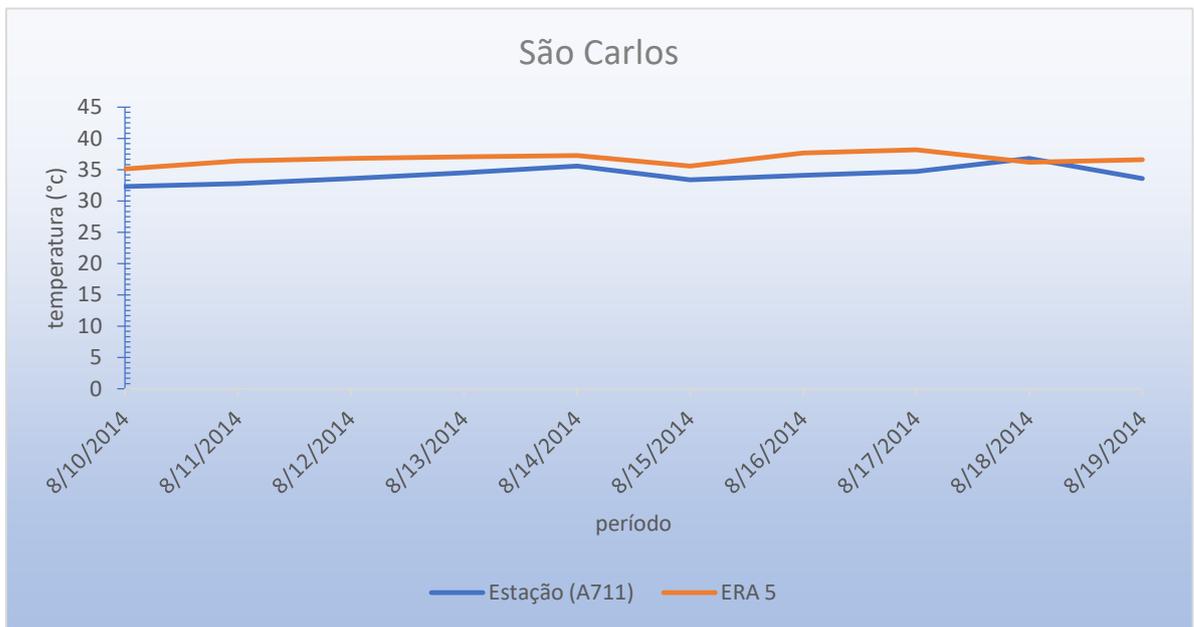
(Fonte: Elaboração Própria)

14 Figura – Jales



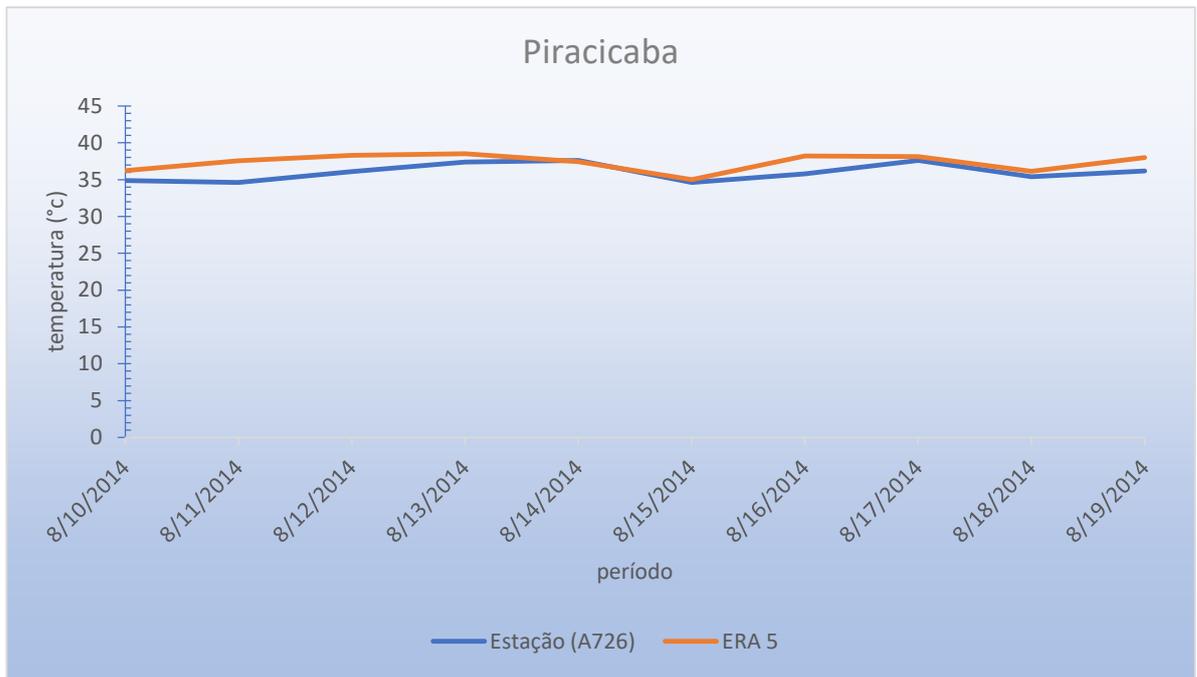
(Fonte: Elaboração Própria)

15 Figura – São Carlos



(Fonte: Elaboração Própria)

16 Figura – Piracicaba



(Fonte: Elaboração Própria)

Foi observada subestimativa em apenas 12,5% dos dados das estações meteorológicas. O Erro absoluto médio foi da ordem de 0,72°C, 2,11°C, 2,67°C e 1,37°C para as estações de Valparaíso, Jales, São Carlos e Piracicaba, respectivamente.

Umidade Relativa do Ar

Do total de 43 estações meteorológicas do INMET sobre o estado de São Paulo, seguindo o critério utilizado para a Tmin e Tmax, foram validadas 22 no total.

Primeiramente foi analisada a quantidade de valores nulos nos horários (UTC), conforme o exemplo a seguir.

2. Tabela – Valores nulos horários para São Paulo/Mirante

Hora	Total	Quantidade Nulos	Porcentagem
0	4017.0	17.0	0.423201
1	4017.0	20.0	0.497884
2	4017.0	22.0	0.547672
3	4017.0	20.0	0.497884
4	4017.0	19.0	0.472990
5	4017.0	20.0	0.497884
6	4017.0	20.0	0.497884
7	4017.0	26.0	0.647249
8	4017.0	27.0	0.672143
9	4017.0	24.0	0.597461
10	4017.0	24.0	0.597461
11	4017.0	27.0	0.672143
12	4017.0	24.0	0.597461
13	4017.0	20.0	0.497884
14	4017.0	19.0	0.472990
15	4017.0	19.0	0.472990
16	4017.0	17.0	0.423201
17	4017.0	20.0	0.497884
18	4017.0	17.0	0.423201
19	4017.0	17.0	0.423201
20	4017.0	17.0	0.423201
21	4017.0	18.0	0.448096
22	4017.0	17.0	0.423201
23	4017.0	20.0	0.497884

Após validar a quantidade de dados horários existentes para cada estação, foram verificados se cada ano não há mais de 25% (91 dias) de dados faltantes.

3. Tabela – Quantidade de dados nulos por ano de São Paulo/Mirante

Ano	porc_null	total	qtd_null
2009	0.285388	8760.0	25.0
2010	0.114155	8760.0	10.0
2011	0.262557	8760.0	23.0
2012	0.432605	8784.0	38.0
2013	0.525114	8760.0	46.0
2014	2.328.767	8760.0	204.0
2015	0.000000	8760.0	0.0
2016	0.762750	8784.0	67.0
2017	0.833333	8760.0	73.0
2018	0.000000	8760.0	0.0
2019	0.000000	8760.0	0.0

Na tabela 3, verifica-se que a estação de São Paulo/Mirante atende os 3 critérios, porém, houve estações como a de Campos do Jordão entre outras que não teve o 2º critério atendido.

4. Tabela – Quantidade de dados nulos por ano do Campos do Jordão

Ano	porc_null	total	qtd_null
2009.0	51.917808	8760.0	4548.0
2010.0	0.057078	8760.0	5.0
2011.0	0.136986	8760.0	12.0
2012.0	0.159381	8784.0	14.0
2013.0	0.308219	8760.0	27.0
2014.0	0.068493	8760.0	6.0
2015.0	5.171233	8760.0	453.0
2016.0	38.581512	8784.0	3389.0
2017.0	16.632420	8760.0	1457.0
2018.0	0.000000	8760.0	0.0
2019.0	9.269406	8760.0	812.0

Com a validação das 22 estações, foram extraídos o valor médio horário para cada estação. Na tabela 3 tem como exemplo dos valores obtidos da UR para a estação meteorológica de São Paulo.

5. Tabela – Média horária da UR para São Paulo

Time	UMIDADE RELATIVA DO AR, HORÁRIA (%)
0	74,9033
1	76,1461
2	77,3299
3	78,4173
4	79,4775
5	80,4088
6	81,3047
7	82,0426
8	82,6143
9	82,6905
10	80,4991
11	75,6867
12	69,8042
13	63,8687
14	58,7011
15	54,6292
16	52,1030
17	51,6139
18	53,5031
19	57,3682
20	62,5273
21	67,9042
22	71,5110
23	73,5817

(fonte: elaboração própria)

Após a obtenção dos valores de UR para todas as estações meteorológicas do INMET, foi necessário obter as coordenadas geográficas em latitude e longitude, assim como feito para realizar a comparação da temperatura. Desta forma proceder em realizar a aquisição por meio do download dos dados do site do ECMWF dos dados do ERA5, conforme os seus pontos de grades.

Próximas Etapas

As etapas a seguir consistem em:

- Extrair os dados do ERA5 referente a UR;
- Realizar a análise de Cluster para UR;
- Interpolar os dados obtidos do INMET; e
- Analisar estatisticamente os valores obtidos pelo ERA5 e comparar com os valores observados.

Os tópicos supracitados não foram cumpridos em virtude a demandas de atividades da graduação, desde estágio a TCC que acabou sobrecarregando a jornada acadêmica. Como na graduação o quesito da computação para análise de dados foram defasados, surgiram alguns contra tempos que resultou no cronograma planejado.

Porém, é possível afirmar que o trabalho foi desenvolvido com empenho. Estarei a disposição em acompanhar o projeto, pois o mesmo possui potenciais e grande importância para monitoramento das condições meteorológicas, avaliando quais ferramentas são acurados a serem utilizados com maestria na região do Estado de São Paulo.

Referências

APPLEGATE, William B. et al. Analysis of the 1980 heat wave in Memphis. Journal of the

American Geriatrics Society, v. 29, n. 8, p. 337-342, 1981.

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BALMACEDA-HUARTE, Rocio et al. Evaluation of multiple reanalyses in reproducing the spatio-temporal variability of temperature and precipitation indices over southern South America. **International Journal of Climatology**, v. 41, n. 12, p. 5572-5595, 2021

BITENCOURT, Daniel Pires et al. Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidadedas Ondas de Calor no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, p. 506-517, 2016.

DE MORAES, José Reinaldo da Silva Cabral et al. Performance of the ECMWF in air temperature and precipitation estimates in the Brazilian Amazon. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 141, n. 3, p. 803-816, 2020.

FISCHER FILHO, João Alberto; DA SILVA FUZZO, Daniela Fernanda. VALIDAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA DO AR DA REANÁLISE ERA5-INTERIM DO ECMWF. MÉTODOS E TÉCNICAS NO ESTUDO DA DINÂMICA DA PAISAGEM FÍSICA NOS PAÍSES DA CPLP-COMUNIDADE DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, p. 77.

FOLI, Bennet Atsu Kwame et al. Evaluation of ECMWF and NCEP reanalysis wind fields for long-term historical analysis and ocean wave modelling in West Africa. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, v. 5, n. 1, p. 26-45, 2022.

GARCIA DE ARAÚJO, Glícia Ruth et al. Climatology of heatwaves in South America identified through ERA5 reanalysis data. ***International Journal of Climatology***.

GEIRINHAS, João Lucas et al. Caracterização climática de ondas de calor no Brasil. Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ, 2018.

HERSBACH, Hans et al. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 146, n. 730, p. 1999-2049, 2020.

KALNAY, Eugenia. **Atmospheric modeling, data assimilation and predictability**. Cambridge university press, 2003.

KOVATS, R. Sari; KRISTIE, L. Ebi. Heatwaves and public health in Europe. ***European journal of public health***, v. 16, n. 6, p. 592-599, 2006.

KASSAMBARA, Alboukadel. Practical guide to cluster analysis in R: Unsupervised machine learning. Sthda, 2017.

LEE, Woo-Seop; LEE, Myong-In. Interannual variability of heat waves in South Korea and their connection with large-scale atmospheric circulation patterns. ***International Journal of Climatology***, v. 36, n. 15, p. 4815-4830, 2016.

MARENGO, José A. O futuro clima do Brasil. *Revista USP*, n. 103, p. 25-32, 2014.

MICHELOZZI, Paola et al. Surveillance of summer mortality and preparedness to reduce the health impact of heat waves in Italy. *International journal of environmental research and public health*, v. 7, n. 5, p. 2256-2273, 2010.

REGOTO, Pedro et al. Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil. *International Journal of Climatology*, v. 41, n. 11, p. 5125-5142, 2021.

ROLIM, Glauco de Souza et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia*, v. 66, p. 711-720, 2007.

SILVA, Cassio Roberto da. Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro. CPRM, 2008.

SPINONI, Jonathan et al. Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010. **International Journal of Climatology**, v. 35, n. 14, p. 4197-4209, 2015.

STÜKER, Eduardo et al. Comparação entre os dados de vento das reanálises meteorológicas ERA-Interim e CFSR com os dados das estações automáticas do INMET no Rio Grande do Sul. *Ciência e Natura*, v. 38, p. 284-290, 2016.

TAHIR, Zia ul Rehman et al. Evaluation of the reanalysis surface solar radiation from NCEP, ECMWF, NASA, and JMA using surface observations for Balochistan, Pakistan. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, v. 12, n. 2, p. 023703, 2020.