LUMEN ET VIRTUS
ISSN: 2177-2789

COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS MÉDIAS, MÁXIMAS E MÍNIMAS MENSAIS DIÁRIAS DA REANÁLISE ERA5-LAND COM AS ESTAÇÕES DO SIMAGRO

COMPARISON OF AVERAGE, MAXIMUM, AND MINIMUM DAILY MONTHLY TEMPERATURES FROM THE ERA5-LAND REANALYSIS WITH THE SIMAGRO STATIONS

COMPARACIÓN DE LAS TEMPERATURAS DIARIAS MENSUALES PROMEDIO, MÁXIMAS Y MÍNIMAS DEL REANÁLISIS ERA5-LAND CON LAS ESTACIONES SIMAGRO

https://doi.org/10.56238/levv17n66-019

Data de submissão: 05/10/2026 **Data de publicação:** 05/11/2026

Luiz Felipe Rodrigues do Carmo
Doutor em Meteorologia
Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
E-mail: l.docarmo.meteoroufrj@gmail.com

Flavio Aparecido Varone Gonçalves
Mestre em Meteorologia
Instituição: Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
E-mail: fvarone@gmail.com

Keli Souza da Silva
Doutora em Agronomia
Instituição: Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
E-mail: keli-silva@agricultura.rs.gov.br

Lucas Wollmann Brito
Instituição: Sistema de Monitoramento e Alertas Agroclimáticos (SIMAGRO) do Rio Grande do Sul
Analista de Sistemas (IFSUL)
E-mail: lucaswbrito99@gmail.com

Ana Cristina Pinto de Almeida Palmeira
Doutora em Meteorologia
Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
E-mail: anapalmeira@igeo.ufrj.br

RESUMO

Variáveis meteorológicas como temperatura e precipitação são importantes parâmetros que acompanham as atividades diárias da população como um todo, e, mais especificamente, as atividades no campo. Por conseguinte, entender o seu comportamento é de suma importância para a agricultura, uma vez que elas subsidiam o planejamento e a tomada de decisão dos produtores em grande parte das

atividades agrícolas. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a representação da reanálise ERA5-Land na estimativa da temperatura do ar máxima, média e mínima em duas estações localizadas na região da Campanha Gaúcha. Para tal, foram utilizados os dados da própria reanálise ERA5-Land e também de duas estações meteorológicas do Sistema de Monitoramento e Alertas Agroclimáticos (SIMAGRO) localizadas em Pinheiro Machado, no Olival Batalha; e em Piratini, no Olival Olivae. Para avaliar a concordância e confiabilidade dos dados, foram utilizadas métricas estatísticas como: média, desvio padrão, viés (bias), coeficiente de correlação (R), raiz do erro médio quadrático (RMSE) e erro médio absoluto (MAE). Os resultados mostraram que o ERA5-Land teve uma boa correlação, variando entre 0,97 e 0,99 em todas as situações avaliadas e com valores baixos de RMSE, MAE e BIAS, mostrando que o ERA5-Land representou bem os dados nas regiões estudadas. Entre a temperatura máxima, média e mínima, a reanálise apresentou melhor desempenho nas estimativas médias, seguidas das máximas e mínimas, com valores que, de forma geral, sempre foram subestimados. Além disso, a análise sazonal indicou que os maiores vieses ficaram mais evidentes nos meses mais frios.

Palavras-chave: Reanálise. ERA5-Land. Rio Grande do Sul. Meteorologia.

ABSTRACT

Meteorological variables such as temperature and precipitation are important parameters that accompany the daily activities of the population as a whole, and more specifically, activities in the field. Consequently, understanding their behavior is of paramount importance for agriculture, since they support the planning and decision-making of producers in a large part of agricultural activities. Thus, the objective of this study was to evaluate the representation of the ERA5-Land reanalysis in estimating maximum, average, and minimum air temperature at two stations located in the Campanha Gaúcha region. To this end, data from the ERA5-Land reanalysis itself were used, as well as data from two meteorological stations of the Agroclimatic Monitoring and Alert System (SIMAGRO) located in Pinheiro Machado, in Olival Batalha; and in Piratini, in Olival Olivae. To assess the agreement and reliability of the data, statistical metrics such as mean, standard deviation, bias, correlation coefficient (R), root mean square error (RMSE), and mean absolute error (MAE) were used. The results showed that the ERA5-Land had a good correlation, ranging between 0.97 and 0.99 in all evaluated situations and with low RMSE, MAE, and BIAS values, showing that the ERA5-Land accurately represented the data in the studied regions. Among the maximum, average, and minimum temperatures, the reanalysis performed best in the average estimates, followed by the maximum and minimum temperatures, with values that, in general, were always underestimated. Furthermore, the seasonal analysis indicated that the greatest biases were more evident in the colder months.

Keywords: Reanalysis. ERA5-Land. Rio Grande do Sul. Meteorology.

RESUMEN

Las variables meteorológicas, como la temperatura y la precipitación, son parámetros importantes que acompañan las actividades diarias de la población en general, y más específicamente, las actividades en el campo. Por consiguiente, comprender su comportamiento es de suma importancia para la agricultura, ya que sustentan la planificación y la toma de decisiones de los productores en gran parte de las actividades agrícolas. Así, el objetivo de este estudio fue evaluar la representación del reanálisis ERA5-Land en la estimación de la temperatura máxima, media y mínima del aire en dos estaciones ubicadas en la región de Campanha Gaúcha. Para ello, se utilizaron datos del propio reanálisis ERA5-Land, así como datos de dos estaciones meteorológicas del Sistema de Monitoreo y Alerta Agroclimática (SIMAGRO) ubicadas en Pinheiro Machado, en Olival Batalha; y en Piratini, en Olival Olivae. Para evaluar la concordancia y confiabilidad de los datos, se utilizaron métricas estadísticas como la media, la desviación estándar, el sesgo, el coeficiente de correlación (R), el error cuadrático medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE). Los resultados mostraron que el ERA5-Land presentó una buena correlación, entre 0,97 y 0,99 en todas las situaciones evaluadas, con bajos valores de RMSE, MAE y BIAS, lo que demuestra que el ERA5-Land representó con precisión los datos en

las regiones estudiadas. Entre las temperaturas máximas, medias y mínimas, el reanálisis tuvo el mejor desempeño en las estimaciones de la media, seguido de las temperaturas máximas y mínimas, cuyos valores, en general, siempre fueron subestimados. Además, el análisis estacional indicó que los mayores sesgos fueron más evidentes en los meses más fríos.

Palabras clave: Reanálisis. ERA5-Land. Rio Grande do Sul. Meteorología.

1 INTRODUÇÃO

A atividade agrícola gaúcha tem uma forte dependência das condições climáticas. Portanto, para as atividades de acompanhamento e manejo no campo, alguns parâmetros meteorológicos básicos são fundamentais, tais como: precipitação, temperatura, umidade relativa, radiação, velocidade do vento, direção do vento e dentre outros.

Nesse contexto, o Sistema de Monitoramento e Alertas Agroclimáticas (SIMAGRO) é um sistema criado para ajudar a fortalecer a agropecuária do Rio Grande do Sul, fornecendo acompanhamento meteorológico e agroclimático, elaborando produtos e informações estratégicas que apoiam o planejamento e dão suporte a decisões de curto, médio e longo prazo ao setor. No SIMAGRO, além dessas variáveis básicas citadas anteriormente, também são desenvolvidos e calculados diversos índices agrometeorológicos, que são amplamente utilizados pelos produtores agrícolas. Alguns desses parâmetros calculados, são: balanço hídrico, estimativas de evapotranspiração, cálculo de graus-dia, previsão de geada, número de horas de frio, unidades de frio, riscos de doenças, produtividade, índices específicos para diferentes culturas do Rio Grande do Sul, duração do período de molhamento foliar e dentre outros. Esses índices desenvolvidos ajudam na avaliação integrada das condições agrometeorológicas, ambientais e na prevenção dos impactos sobre o desenvolvimento das culturas.

No SIMAGRO, esses índices são apresentados tanto no passado, utilizando os dados de reanálise e das mais de 100 estações do SIMAGRO, quanto no futuro; utilizando modelos determinísticos (previsão de 1 a 7 dias para modelos regionais e de 1 a 15 dias para modelos globais), modelos subsazonais (previsão probabilística de 1 a 30 dias) e modelos sazonais (previsão de 1 a 6 meses). Todas essas previsões e dados podem ser consultados no endereço no website oficial do SIMAGRO (www.simagro.rs.gov.br).

Os dados observados possuem uma grande relevância, porém também há limitações, como: falhas nos instrumentos, falta de manutenção, distribuição espacial irregular, gaps temporais e séries históricas curtas (HOFSTRA *et al*., 2008; PETERSON *et al*., 1998).

Em decorrência disso, os produtos de reanálise vêm sendo amplamente utilizados como alternativa ou complemento às observações in situ. Para melhor entendimento, as reanálises são ferramentas que combinam dados observados (estações meteorológicas, dados de satélite, boias e dentre outros) com modelos, produzindo séries temporalmente consistentes e espacialmente contínuas (KALNAY *et al*., 1996). Entre as reanálises, uma das mais utilizadas pelo meio acadêmico é o ERA5. Esta foi desenvolvida pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), representando um conjunto de dados com resolução espacial de aproximadamente 25km e boa resolução temporal, com dados horários de 1979 até o presente (HERSBACH *et al*., 2020).

Uma derivação da reanálise “ERA5” é a “ERA5-land”. Esta é uma versão de aplicação terrestre, que vem sendo amplamente utilizado para estudos agroclimáticos, uma vez que esses produtos têm

maior resolução espacial (aproximadamente 9km) e maior quantidade de dados, com série histórica que vai de 1950 até o presente (MUÑOZ-SABATER *et al*., 2021).

Em âmbito mundial, diversos trabalhos têm avaliado o desempenho do ERA5 na representação de variáveis meteorológicas, incluindo temperatura e precipitação, demonstrando, em geral, elevada correlação com dados observacionais, mas com presença de viés sazonal e forte dependência de características regionais (TAREK *et al*., 2020; URRACA *et al*., 2018). Em particular, dentro das análises, verificou-se que a representação de temperatura pode apresentar maiores diferenças em relação à dados medidos nas estações meteorológicas em períodos de forte resfriamento radiativo noturno ou, então, em regiões de relevo complexo.

Na América do Sul, embora estudos tenham avaliado o desempenho de produtos de reanálise em escala continental ou regional — como os trabalhos de Alvarez *et al*. (2016) e Rozante *et al*. (2021) — ainda há necessidade de investigações adicionais que aprofundem a análise em diferentes contextos climáticos e fisiográficos. Além disso, permanece relativamente limitada a literatura voltada à avaliação do ERA5-Land, reanálise mais recente e de maior detalhamento espacial, cuja aplicabilidade em estudos hidroclimáticos e agroclimáticos tem crescido nos últimos anos.

Rozante *et al*. (2021) destacou ainda que a distribuição irregular das estações meteorológicas e a complexidade topográfica, podem induzir a incertezas adicionais nos produtos interpolados ou derivados de modelagem, principalmente nas regiões de forte contraste sazonal.

Diante do exposto, torna-se essencial avaliar o desempenho do ERA5-land em escala regional, avaliando-os em diferentes horizontes, quantificando o viés, a variabilidade sazonal e as métricas estatísticas de desempenho em comparação com dados observacionais; principalmente na avaliação da temperatura do ar, que é essencial para quantificação e qualificação do número de horas de frio, unidades de frio, porções de frio, acúmulo de graus-dia e dentre outros índices agrometeorológicos derivados.

Além disso, quando o ERA5-Land se mostra um modelo hábil, ele possibilita a realização de estudos climatológicos mais consistentes, uma vez que esta reanálise possui um período longo de dados, ajudando a preencher as lacunas deixadas pelos dados de estações, que muitas vezes, possuem curtas séries temporais.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar a performance da temperatura média, máxima e mínima diária e mensal do ERA5-land, comparando-o com dados das estações meteorológicas do SIMAGRO de Pinheiro Machado, no Olival Batalha e em Piratini, no Olival Olivae; sendo ambas localizadas na região da Campanha, no estado do Rio Grande do Sul. Para tal, serão calculadas diversas métricas estatísticas comparativas, visando mostrar a representatividade do ERA5-land para essas duas estações, que ficam localizadas em áreas ocupadas com o cultivo de oliveiras.

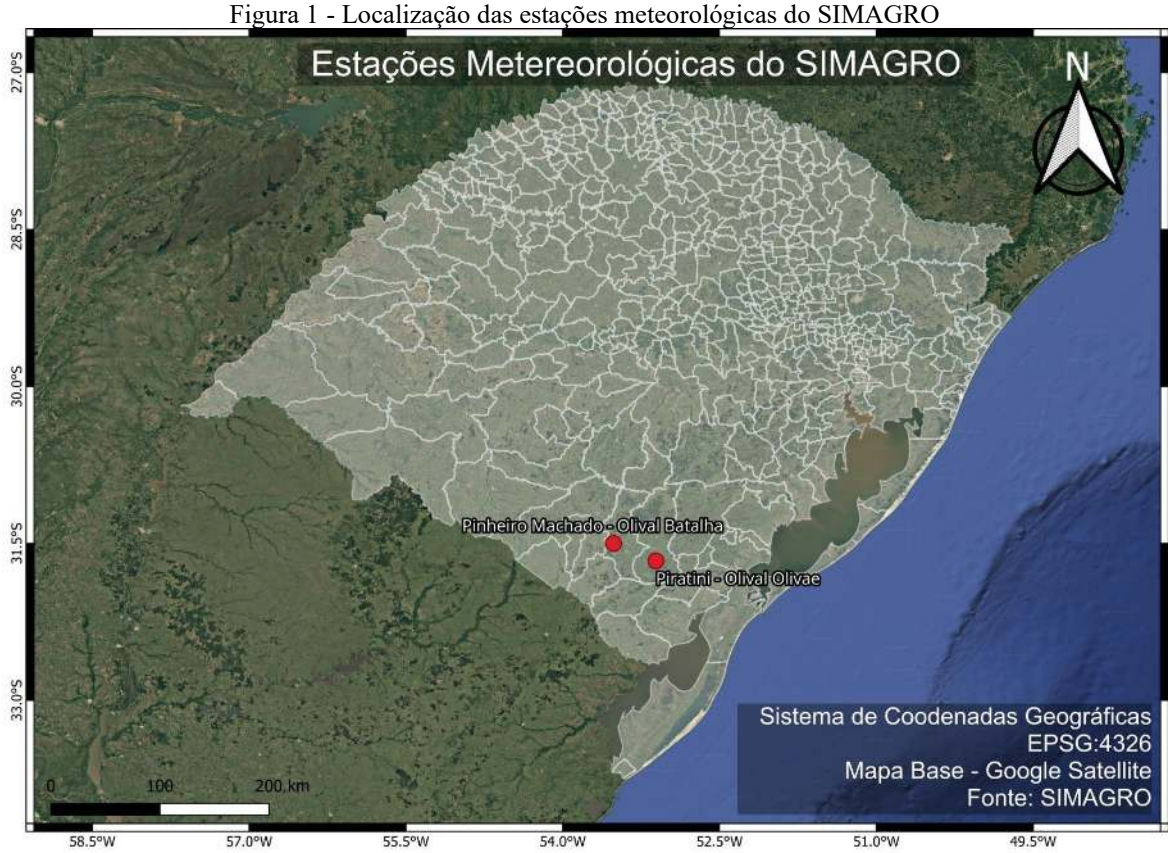
2 MÉTODOS E DADOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO E DADOS

Para esse trabalho, em sua primeira fase, foram utilizados os dados das estações meteorológicas do SIMAGRO do estado do Rio Grande do Sul, sendo estas as estações de Pinheiro Machado, localizada no Olival Batalha, e a estação de Piratini, localizada no Olival Olivae.

Para a estação de Pinheiro Machado - Olival Batalha, o período analisado foi de setembro de 2020 a setembro de 2025. Para Piratini - Olival Olivae, foram considerados os dados disponíveis entre abril de 2021 e setembro de 2025. A localização das estações é apresentada na Figura 1, enquanto as coordenadas geográficas, a altitude, o período de observação e o número de registros válidos são apresentados na Tabela 1.

Figura 1 - Localização das estações meteorológicas do SIMAGRO



Fonte: Autores.

Tabela 1 - Informações das estações meteorológicas do Sistema de Monitoramento e Alertas Agroclimáticos (SIMAGRO) utilizadas

Estação	Período utilizado	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Pinheiro Machado Olival Batalha	01/09/2020 a 30/09/2025	-31,50°	-53.51°	352m
Piratini Olival Olivae	01/04/2021 a 30/09/2025	-31,66°	-53,10°	276m

Fonte: Autores.

Além dos dados das estações, foram utilizados dados horários de temperatura do ar a 2m da reanálise ERA5-Land, que é disponibilizada de forma online pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts — ECMWF. O produto apresenta resolução espacial de aproximadamente 9 km.

Para cada uma das estações meteorológicas escolhidas, foi selecionado o ponto de grade da reanálise mais próxima às suas respectivas coordenadas geográficas. Para garantir que as comparações fossem temporalmente iguais, foram escolhidos os períodos coincidentes entre as estações meteorológicas e ERA5-Land, garantindo maior capacidade de análise dos resultados.

2.2 METODOLOGIA

2.2.1 Cálculo das temperaturas diária e mensal

Com as séries históricas obtidas, foram calculadas as temperaturas média, máxima e mínima diárias e mensais para a reanálise ERA5-Land e estações meteorológicas.

Por conseguinte, a série diária de temperatura do ar média foi calculada através da média das temperaturas horárias ao longo do dia, tanto no ERA5-Land quanto na estação; e a temperatura máxima e mínima foi obtida através da temperatura mais alta e mais baixa do dia, respectivamente. Posteriormente, foram obtidas as séries mensais a partir das agregações diárias. Ou seja, calculando a média das temperaturas médias, máximas e mínimas diárias do mês de referência.

Esse procedimento é importante porque TMAX e TMIN mensais representam, respectivamente, as médias das máximas e das mínimas diárias, e não os extremos absolutos registrados em cada mês.

2.2.2 Avaliação estatística

A representatividade do ERA5-Land para os pontos das estações foi avaliada tanto nas escalas diárias como mensais. Para tal, foram calculadas as métricas estatísticas de média, desvio padrão, coeficiente de correlação linear de Pearson, viés (ou BIAS), a raiz do erro médio quadrático (RMSE), e o erro média absoluto (MAE). Nas equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6; encontram-se as metodologias utilizadas para os cálculos, respectivamente. É importante ressaltar que nas equações o “O” é referente à observação (ou estação meteorológica) e “ERA” referente a reanálise ERA5-Land.

$$\underline{O} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} O_i \quad e \quad \underline{ERA} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} ERA_i \tag{1}$$

$$SD_O = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (O_i - \underline{O})^2}{n-1}} \quad e \quad SD_{ERA} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (ERA_i - \underline{ERA})^2}{n-1}} \tag{2}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} (ERA_i - \underline{ERA})(O_i - \underline{O})}{\sqrt{\sum_{I=1}^{n} (ERA_i - \underline{ERA})^2 \sum_{I=1}^{n} (O_i - \underline{O})^2}} \quad (3)$$

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (ERA_i - O_i) \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (ERA_i - O_i)^2} \quad (5)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} |ERA_i - O_i| \quad (6)$$

Para as análise gráficas, foram elaborados: boxplots anuais, os quais foram utilizados para representar a mediana, os quartis, a amplitude dos valores e os possíveis valores discrepantes; diagramas de dispersão; gráfico de viés sazonal para cada mês do ano, permitindo identificar períodos em que o ERA5-Land apresentou maior subestimativa ou superestimativa em relação às estações meteorológicas; e elaboração de tabelas para junção dos resultados.

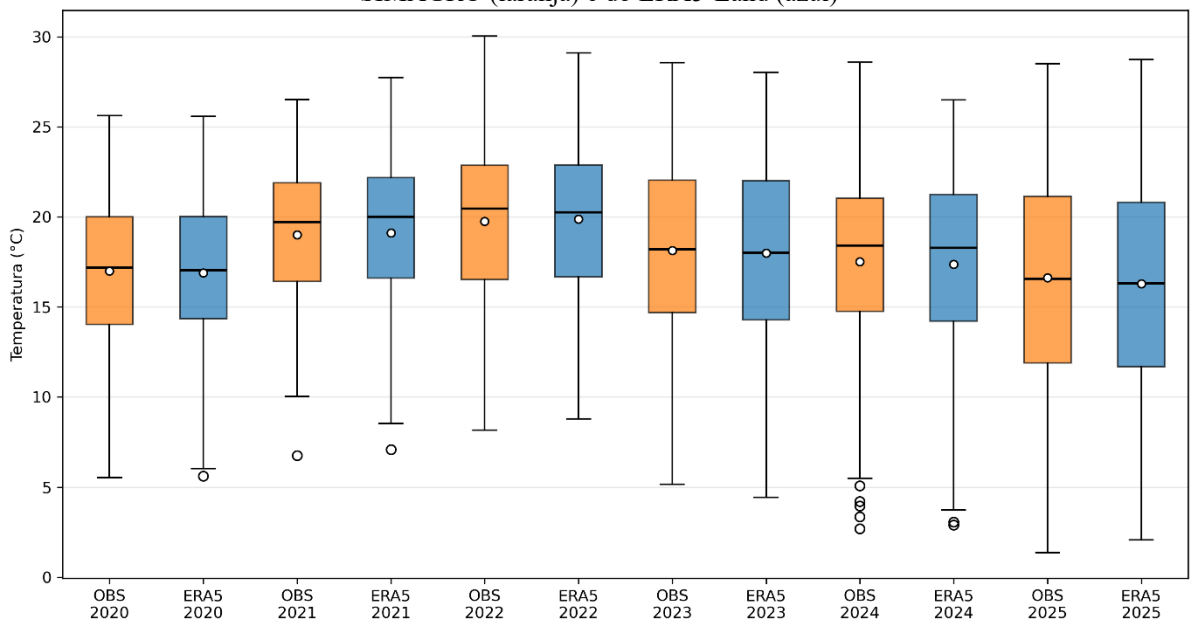
3 RESULTADOS

Os primeiros resultados aqui apresentados serão os boxplots anuais de temperatura do ar comparativo entre as estações e o ERA5-Land. A Figura 2 apresenta os boxplots comparativos entre ERA5-Land e as estação do SIMAGRO de Pinheiro Machado - Olival Batalha e a Figura 3 os comparativos entre a estação do SIMAGRO de Piratini - Olival Olivae e o ERA5-Land.

Nota-se, de forma qualitativa, que os resultados tanto em Pinheiro Machado - Olival Batalha quanto em Piratini - Olival Olivae foram satisfatórios. Ou seja, tanto as medianas quanto os intervalos interquartis apresentaram valores muito próximos entre as diferentes fontes de dados, evidenciando que a reanálise teve uma excelente performance ao longo dos anos.

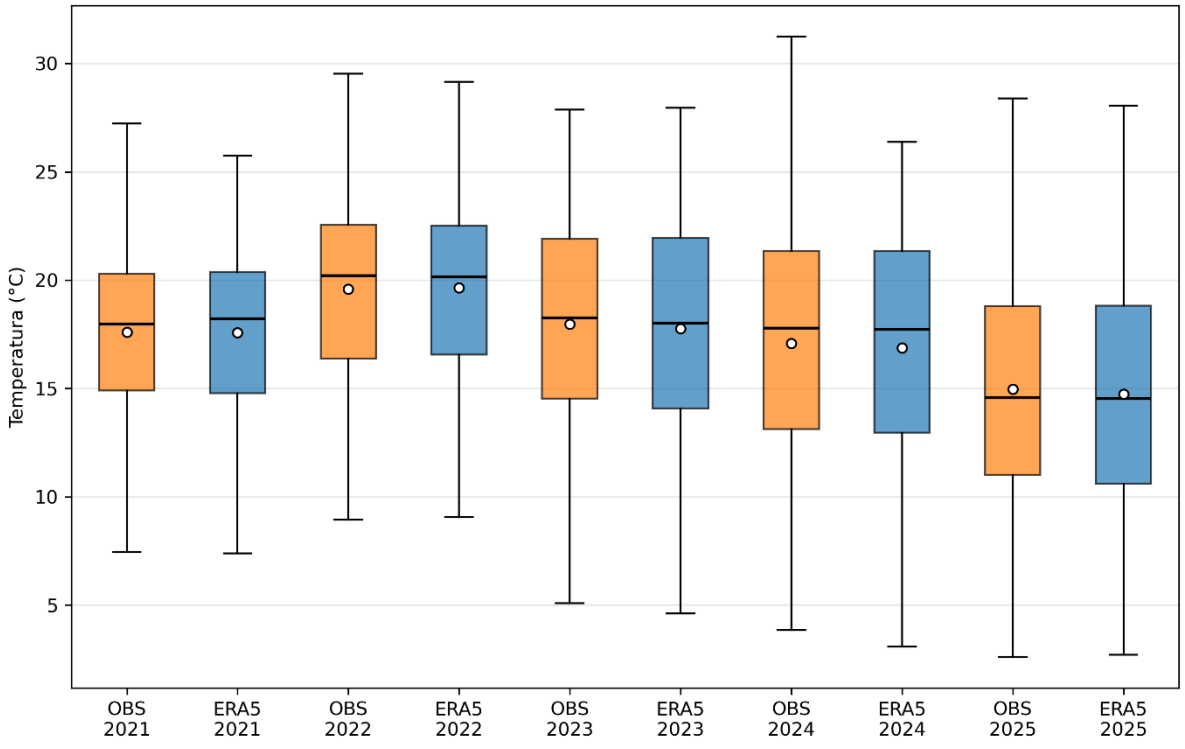
A reanálise do ERA5-land também representou adequadamente a variação interanual, ou seja, mostrando que os comportamentos entre diferentes anos foi praticamente igual ao das estações meteorológicas. Foram encontradas algumas diferenças nas extremidades das distribuições, principalmente em 2024 e 2025, mas, mesmo assim, a qualidade dos resultados foi mantida.

Figura 2 - Boxplots anuais da Temperatura Média diária da estação de Pinheiro Machado/RS (Olival Batalha) do SIMAGRO (laranja) e do ERA5-Land (azul)



Fonte: Autores.

Figura 3 - Boxplots anuais da Temperatura Média diária da estação de Piratini/RS (Olival Olivae) do SIMAGRO (laranja) e do ERA5-Land (azul)



Fonte: Autores.

Indo mais a fundo nas análises comparativas, na Figura 4 é apresentada a comparação entre as temperaturas médias mensais do ERA5-Land (em azul) e da estação meteorológica do SIMAGRO de Pinheiro Machado - Olival Batalha (Laranja); na Figura 5, a comparação entre as temperaturas médias diárias do ERA5-Land (em azul) e da estação meteorológica do SIMAGRO de Pinheiro Machado - Olival Batalha (Laranja); na Figura 6 o gráfico de dispersão (qqplot) do ERA5-land vs Estação de

Pinheiro Machado mensal e na FIgura 7 o gráfico de dispersão (qqplot) do ERA5-land vs Estação de Pinheiro Machado diário.

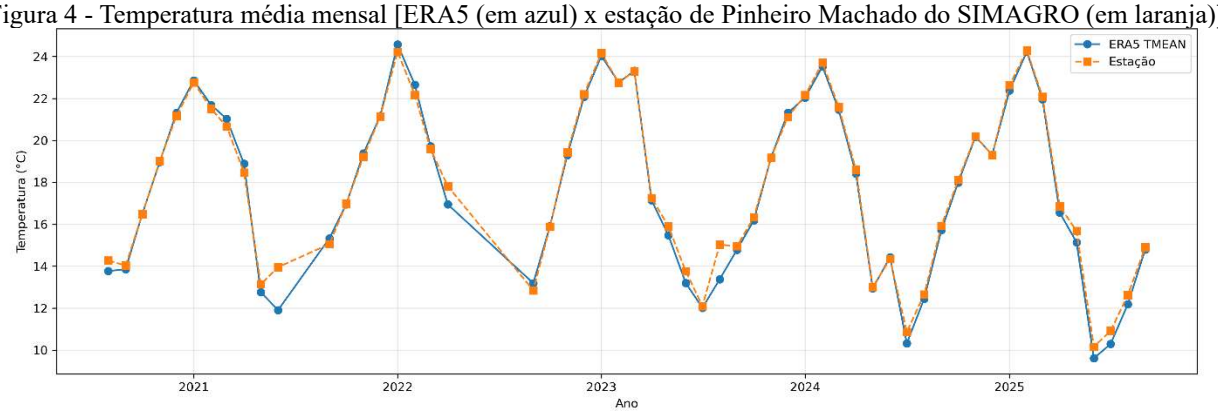
As mesmas figuras também foram elaboradas para a estação de Piratini. Por conseguinte, na Figura 8 é apresentada a comparação entre as temperaturas médias mensais do ERA5-Land (em azul) e da estação meteorológica do SIMAGRO de Piratini - Olival Olivae (Laranja); na Figura 9, a comparação entre as temperaturas médias diárias do ERA5-Land (em azul) e da estação meteorológica do SIMAGRO de Piratini - Olival Olivae (Laranja); na Figura 10 o gráfico de dispersão (qqplot) do ERA5-land vs Estação de Piratini - Olival Olivae mensal e na FIgura 11 o gráfico de dispersão (qqplot) do ERA5-land vs Estação de Piratini - Olival Olivae diário.

Em uma análise qualitativa da escala mensal, os valores observados e o ERA5-Land apresentaram comportamento similar, evidenciando que o produto de reanálise reproduziu adequadamente os ciclos anuais de temperatura, os máximos e mínimos anuais e, também, oscilações interanuais entre as duas fontes analisadas.

Na estação de Pinheiro Machado, a comparação das duas fontes de dados mensal resultou em coeficiente de correlação arredondado para 1,00, RMSE de 0,45°C e MAE de 0,28°C. Esses valores demonstram elevada concordância e baixa magnitude dos erros na representação da temperatura média mensal. Já na escala diária, os valores ficaram em 0,99 para correlação, 0,72 °C para o RMSE e 0,50°C para o MAE. Embora, conforme esperado, os erros nas comparações diárias tenham sido maiores que os erros nas comparações mensais, ambos os resultados foram satisfatórios e o ERA5-Land reproduziu muito bem tanto os valores mensais, quanto os valores diários.

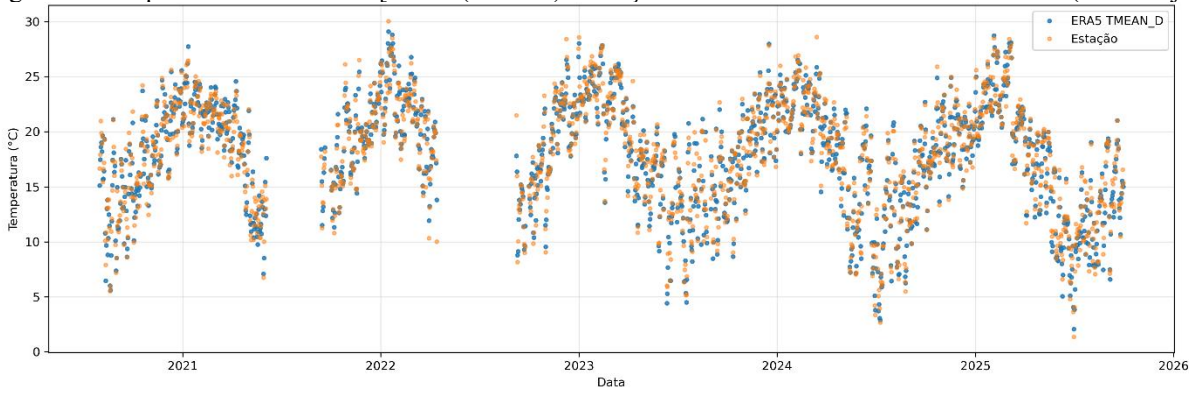
Já na estação de Piratini, a comparação das duas fontes de dados mensal resultou em coeficiente de correlação arredondado para 0,99, RMSE de 0,68°C e MAE de 0,32°C. Esses valores também demonstram elevada concordância e baixa magnitude dos erros na representação da temperatura média mensal. Já na escala diária, os valores ficaram em 0,98 para correlação, 1,04 °C para o RMSE e 0,60°C para o MAE. Nessa localidade, os erros nas comparações diárias também foram maiores que os erros nas comparações mensais. Dessa forma, novamente, ambos os resultados foram satisfatórios e o ERA5-Land representou bem a temperatura na região.

Figura 4 - Temperatura média mensal [ERA5 (em azul) x estação de Pinheiro Machado do SIMAGRO (em laranja)]



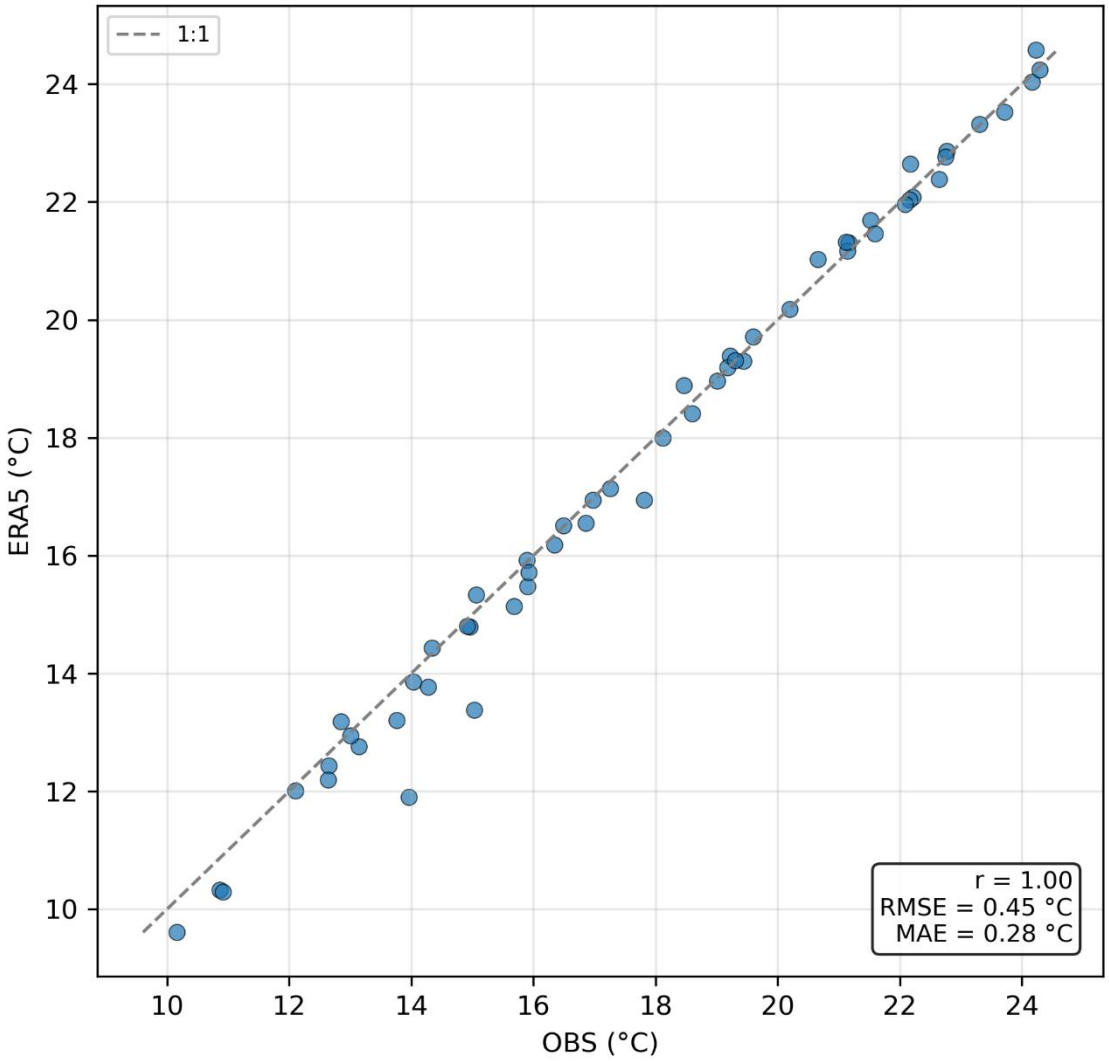
Fonte: Autores.

Figura 5 - Temperatura média diária [ERA5 (em azul) x estação de Pinheiro Machado do SIMAGRO (em laranja)]



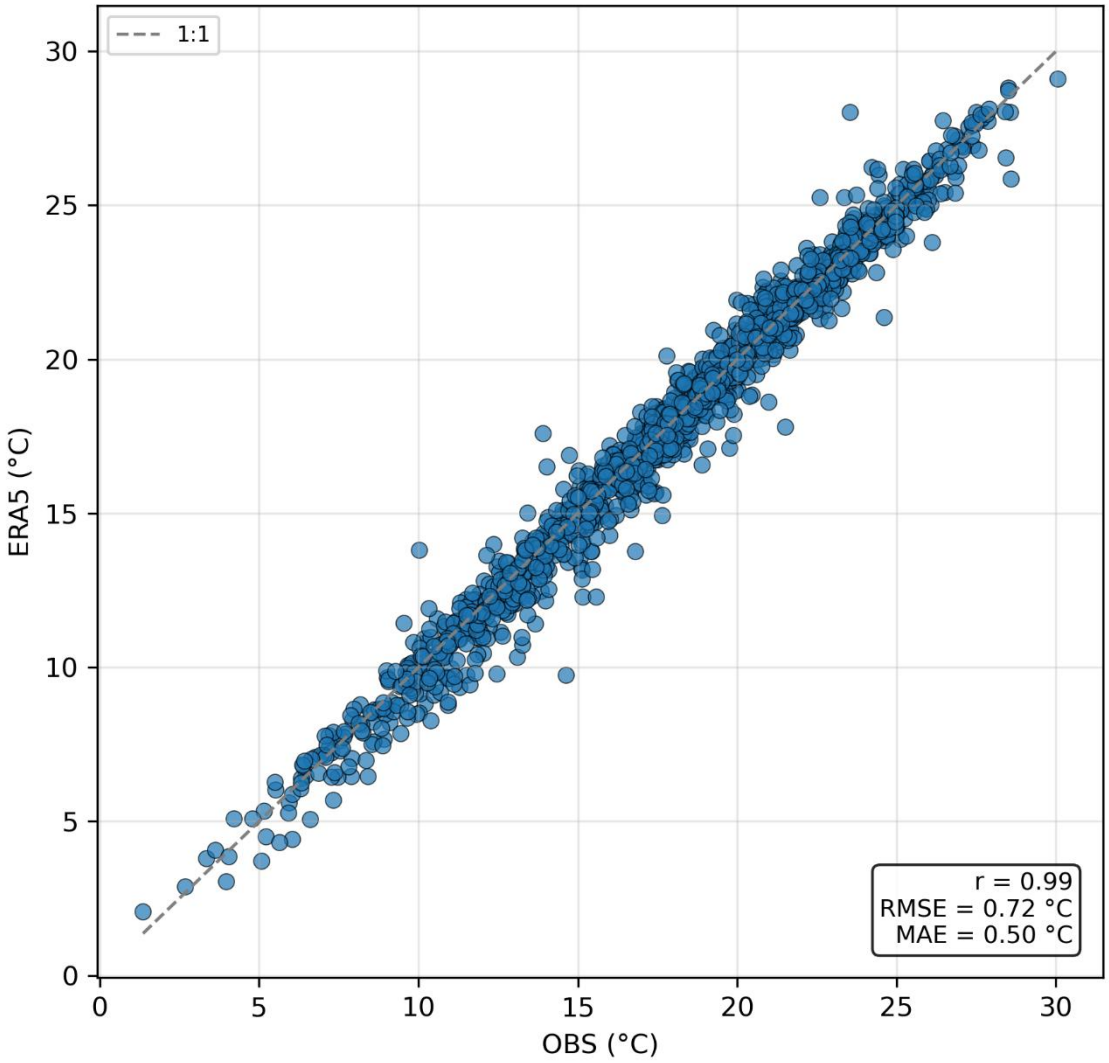
Fonte: Autores.

Figura 6 - QQplot da Temperatura média mensal (ERA5 x estação de Pinheiro Machado do SIMAGRO)



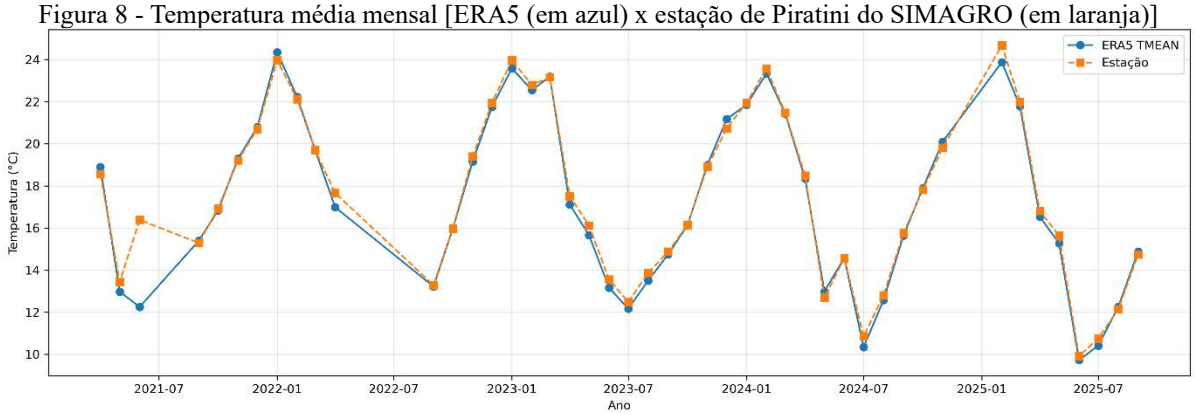
Fonte: Autores.

Figura 7 - QQplot da Temperatura média diária (ERA5 x estação de Pinheiro Machado do SIMAGRO)



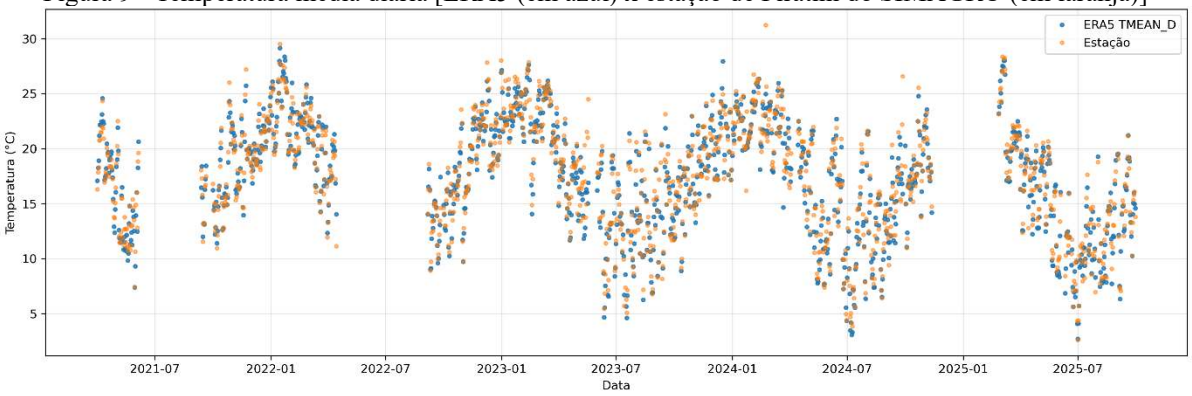
Fonte: Autores.

Figura 8 - Temperatura média mensal [ERA5 (em azul) x estação de Piratini do SIMAGRO (em laranja)]



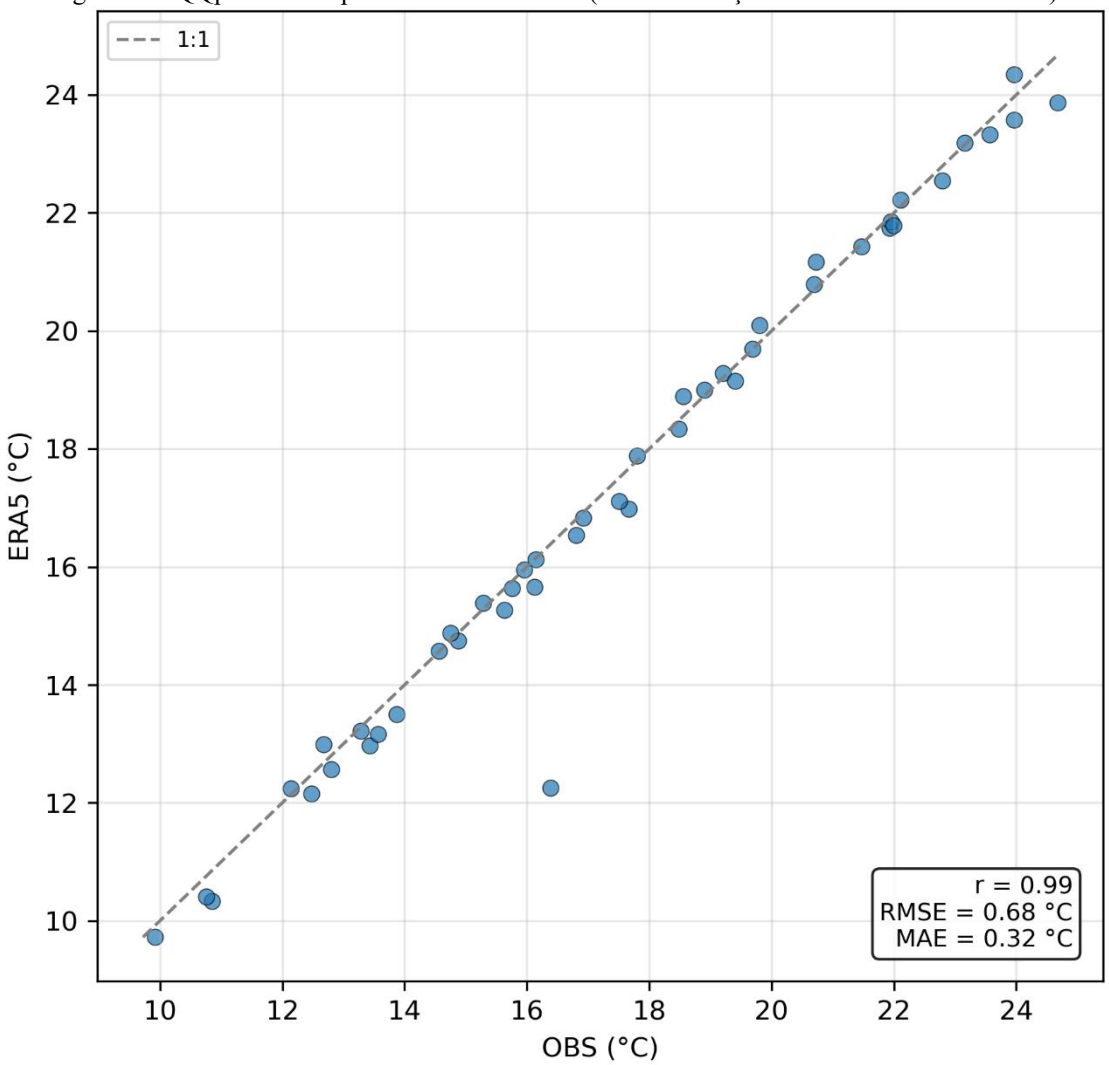
Fonte: Autores.

Figura 9 - Temperatura média diária [ERA5 (em azul) x estação de Piratini do SIMAGRO (em laranja)]



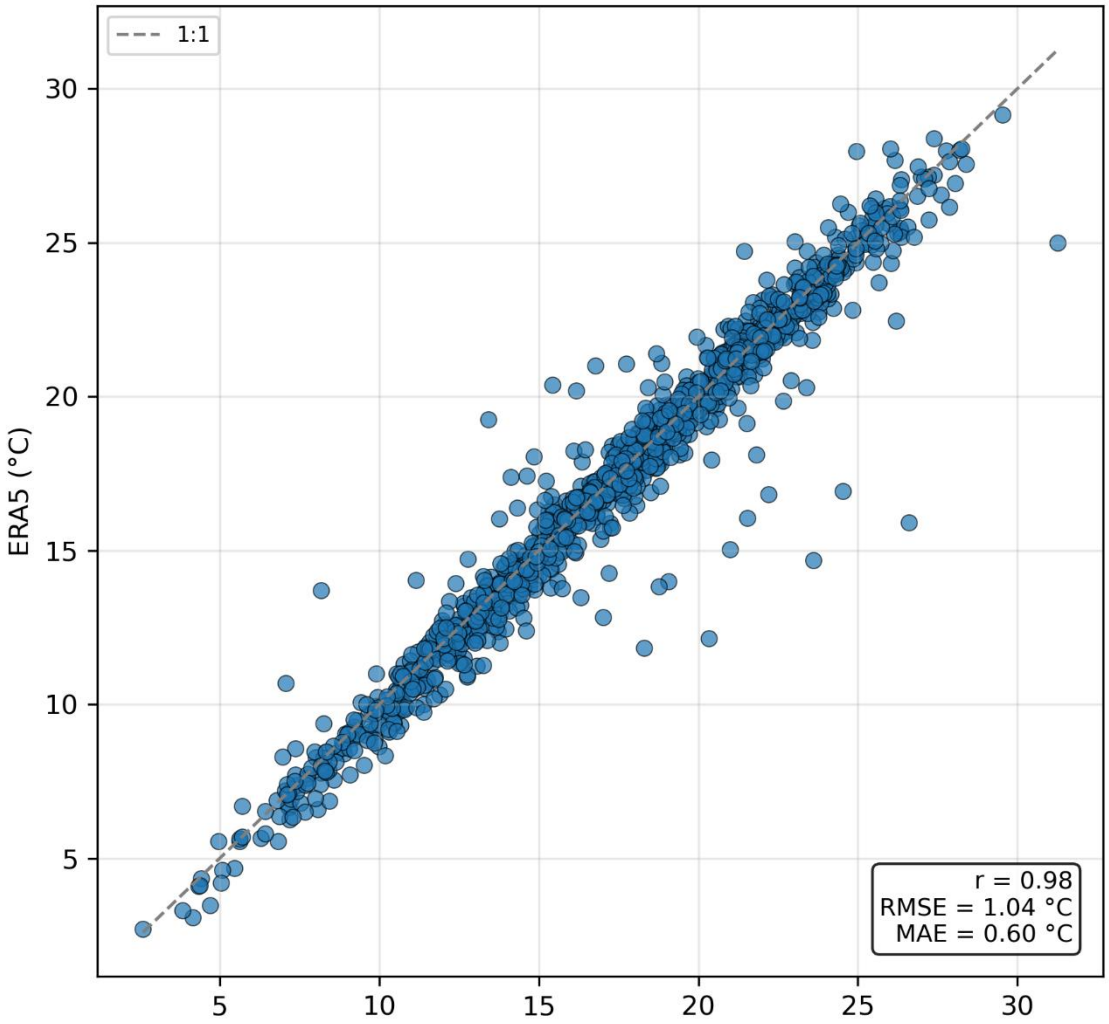
Fonte: Autores.

Figura 10 - QQplot da Temperatura média mensal (ERA5 x estação de Piratini do SIMAGRO)



Fonte: Autores.

Figura 11 - QQplot da Temperatura média diária (ERA5 x estação de Piratini do SIMAGRO)



Fonte: Autores.

Já nas Figuras 12 e 13, são apresentados o VIÉS (BIAS) entre as duas fontes de dados. Na Figura 12, é apresentado a comparação mensal do VIÉS entre o ERA5 e a estação de Pinheiro Machado - Olival Batalha do SIMAGRO e na Figura 13 entre o ERA5 e a estação de Piratini - Olival Olivae do SIMAGRO.

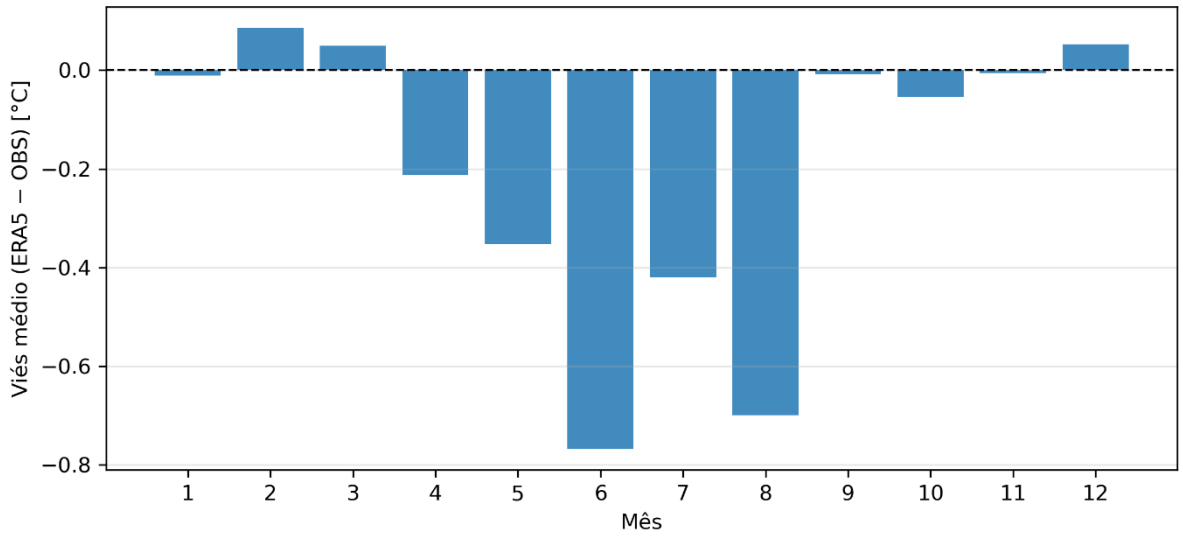
Nota-se que os erros não foram uniformes ao longo do ciclo anual. Ou seja, nas duas estações, os maiores valores negativos ocorreram predominantemente entre abril e agosto, indicando que o ERA5-Land teve maior dificuldade na representação de temperaturas mais baixas. Ou seja, tendo uma ligeira diferença entre os valores na época mais fria do ano.

Entretanto, apesar de as diferenças serem maiores nos meses mais frios, vale ressaltar que os valores ainda foram relativamente baixos. Por conseguinte, em Pinheiro Machado, a maior subestimativa ocorreu em junho, com viés próximo de −0,8 °C, seguida por agosto, com valor próximo de −0,7 °C. Entre setembro e março, os vieses permaneceram próximos de zero, com pequenas superestimativas em alguns meses. Já em Piratini, o maior viés negativo também foi registrado em junho, aproximando-se de −1,2 °C, valores menores também entre fevereiro e agosto, embora com

magnitudes menores nos demais meses. Já em novembro e dezembro, foram observados apenas pequenos vieses positivos.

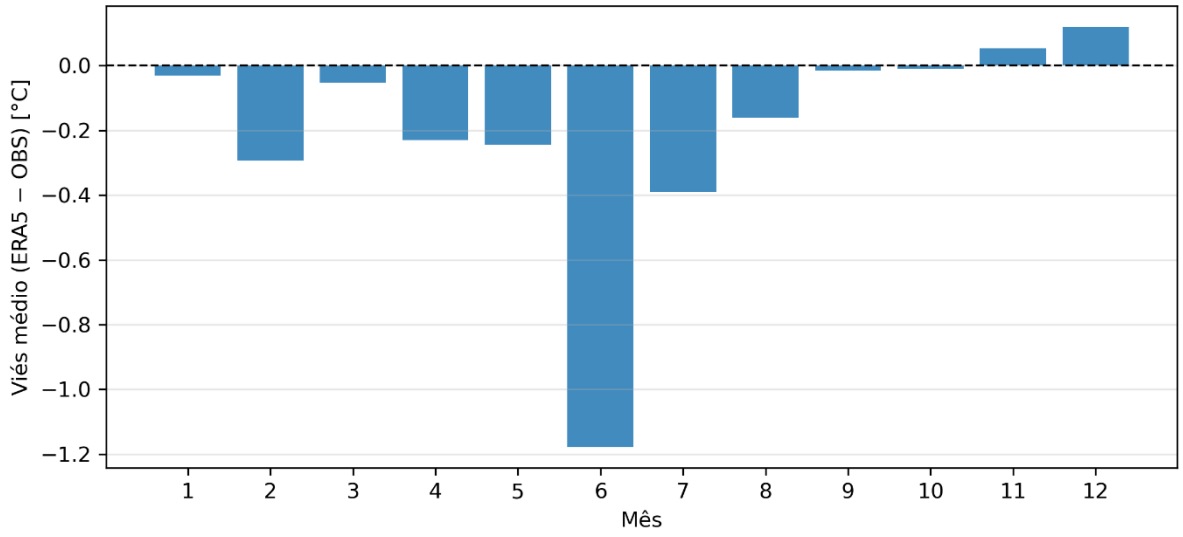
Em suma, esses resultados apresentados mostraram que, apesar de ter uma elevada correlação global entre o ERA5 e as estações, há vieses diferentes de acordo com as estações do ano. De forma geral, os resultados mostraram que os maiores erros se concentraram nos meses mais frios, embora suas magnitudes tenham permanecido relativamente baixas.

Figura 12 - BIAS (vies) mensal da temperatura média mensal (ERA5 - estação de Pinheiro Machado do SIMAGRO)



Fonte: Autores.

Figura 13 - BIAS (vies) mensal da temperatura média mensal (ERA5 - estação de Pinheiro Machado do SIMAGRO)



Fonte: Autores.

Por fim, nas Tabelas 2 e 3 encontram-se as métricas estatísticas de cada uma das estações e do ERA5. Na Tabela 2, encontram-se as médias e desvio padrão para as estações meteorológicas de Pinheiro Machado - Olival Batalha (SIMAGRO), Piratini - Olival Olivae (SIMAGRO) e do ERA5; e na Tabela 3 a correlação (R), BIAS, erro médio quadrático (RMSE) e erro médio absoluto (MAE) entre

o ERA5 e as estações de Pinheiro Machado - Olival Batalha (SIMAGRO) e Piratini - Olival Olivae (SIMAGRO).

Na avaliação quantitativa, os resultados mostraram que as temperaturas diárias observadas do ERA5 estavam bem próximas das temperaturas das duas estações em questão. Para a estação de Pinheiro Machado, a temperatura média observada foi de aproximadamente 18,0°C, enquanto o ERA5 apresentou valor de aproximadamente 17,9 °C, com viés de apenas -0,09 °C, evidenciando a boa estimativa do ERA5.

Além disso, em Pinheiro Machado, a correlação foi muito elevada (R=0,99), acompanhada por baixos valores de RMSE (0,72 °C) e (MAE de 0,50 °C). Em Piratini, o desempenho também foi satisfatório, com a temperatura média de 17,5 °C na estação e de 17,3 °C no ERA5, com viés de apenas −0,10 °C, correlação de 0,98, RMSE de 1,04 °C e MAE de 0,60 °C. Os resultados mostraram novamente que a reanálise teve um resultado bem satisfatório para as temperaturas médias nas duas localidades estudadas.

Para as temperaturas máximas (TMAX) e mínimas (TMIN), a diferença entre os valores observados e estimados foi maior, ainda assim, para TMAX, o R permaneceu elevado, com R=0,97 nas duas estações. No Olival Batalha, a temperatura máxima média foi de 23,3 °C na estação e de 23,1 °C no ERA5, resultando em um pequeno viés de −0,15 °C, RMSE de 1,29 °C e MAE de 0,87 °C. No Olival Olivae, a máxima observada foi de 22,8 °C, enquanto o ERA5 apresentou 22,4 °C, com viés de −0,34 °C, RMSE de 1,46 °C e MAE de 0,93 °C. Ou seja, apesar da maior disparidade, quando comparados com a variável temperatura média, os dados provenientes do ERA5 ainda se mostraram satisfatórios para TMAX.

Já a temperatura mínima (TMIN) apresentou maiores erros do que a temperatura máxima (TMAX). No Olival Batalha, a média observada foi de 14,3 °C, enquanto o ERA5 apresentou 13,6 °C, com viés de −0,66 °C, RMSE de 1,32 °C e MAE de 0,95 °C. No Olival Olivae, o BIAS foi de −0,49 °C, seguidos pelo RMSE de 1,33 °C e MAE de 0,92 °C. E, por fim, as o R=0,97 mostrou que, apesar dos resultados terem sido um pouco piores do que a média e máxima, o ERA5 acompanhou adequadamente as variações temporais das mínimas. Entretanto, o BIAS negativo evidencia uma tendência em representar condições ligeiramente mais frias do que o ocorrido nas estações.

Em suma, a elevada correlação, acompanhado dos baixos valores de BIAS, RMSE e MAE, mostram que a reanálise foi capaz de, no geral, reproduzir de forma adequada o comportamento e evolução da temperatura máxima, média e mínima. Assim, a reanálise pode ser uma excelente alternativa quando não houverem dados observados na localidade de estudo, além do fato da reanálise ter um histórico bem completo.

Uma outra importante observação é que parte dessas diferenças entre as diferentes fontes de dados (estação e reanálise), podem estar associadas à própria incerteza da medição, ou então, algumas

diferenças pontuais de maior valor podem estar associadas ainda a eventos meteorológicos extremos, como o ocorrido no Rio Grande do Sul no ano de 2024. Assim, alguns eventos extremos localizados podem ter ajudado a piorar um pouco os resultados. Ou seja, isso evidencia que, em casos mais gerais, essa distância entre as medidas pode ter sido menor ainda. Isso fica claro, inclusive, nas análises entre temperatura mínima, máxima e média, onde as maiores diferenças foram encontradas nos extremos, ou seja, temperaturas máximas e mínimas.

Tabela 2 - Média e desvio padrão dos dados diários das estações de Pinheiro Machado e Piratini (SIMAGRO) e do ERA5, no período avaliado.

Estação	Variável	Média estação (°C)	Desvio Padrão (estação) °C	Média (ERA5) °C	Desvio Padrão (ERA5) °C
Pinheiro Machado - Olival Batalha (SIMAGRO)	Temperatura média	18,0	4,9	17,9	5,0
	Temperatura máxima	23,3	5,7	23,1	5,7
	Temperatura mínima	14,3	4,8	13,6	5,0
Piratini - Olival Olivae (SIMAGRO)	Temperatura média	17,5	5,0	17,3	5,1
	Temperatura máxima	22,8	5,9	22,4	5,7
	Temperatura mínima	13,7	4,9	13,2	5,2

Fonte: Autores.

Tabela 3 - Correlação, BIAS, RMSE e MAE dos dados diários do ERA5 em relação às temperaturas das estações de Pinheiro Machado e Piratini (SIMAGRO) e do ERA5, no período avaliado.

Estação	Variável	R	BIAS	RMSE	MAE
ERA5 x Pinheiro Machado - Olival Batalha (SIMAGRO)	Temperatura média	0,99	-0,09	0,72	0,50
	Temperatura máxima	0,97	-0,15	1,29	0,87
	Temperatura mínima	0,97	-0,66	1,32	0,95
ERA5 x Piratini - Olival Olivae (SIMAGRO)	Temperatura média	0,98	-0,10	1,04	0,60
	Temperatura máxima	0,97	-0,34	1,46	0,93
	Temperatura mínima	0,97	-0,49	1,33	0,92

Fonte: Autores.

4 CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo demonstraram que as estimativas de temperatura do ar fornecidas pelo ERA5-Land apresentaram elevada concordância com os dados observados nas duas estações meteorológicas do SIMAGRO-RS avaliadas. As altas correlações obtidas para as temperaturas média, máxima e mínima, nas escalas diária e mensal, indicam que a reanálise foi capaz de representar adequadamente a variabilidade temporal da temperatura nas localidades estudadas, embora tenham sido identificadas pequenas tendências de subestimação, principalmente nos períodos mais frios e para as temperaturas mínimas.

Dessa forma, o ERA5-Land apresenta potencial para complementar os registros observacionais, especialmente em localidades onde não existem estações meteorológicas, em períodos com falhas nas séries observadas ou em estudos que necessitem de maior cobertura espacial e temporal. A disponibilidade de séries históricas longas e espacialmente contínuas também amplia as possibilidades de aplicação desses dados em estudos climatológicos e agrometeorológicos, incluindo análises relacionadas a graus-dia, horas de frio, unidades de frio e outros índices dependentes da temperatura.

Entretanto, a utilização da reanálise não elimina a importância das observações in situ. Diferenças associadas à resolução espacial, às condições microclimáticas, ao relevo e à ocorrência de eventos meteorológicos extremos ou muito localizados devem ser consideradas, principalmente em aplicações sensíveis aos extremos de temperatura. Além disso, as conclusões deste trabalho devem ser interpretadas considerando o número reduzido de estações e a extensão relativamente curta das séries observacionais. Assim, estudos futuros devem ampliar a avaliação para outras regiões do Rio Grande do Sul e investigar diretamente o desempenho do ERA5-Land na estimativa de índices agrometeorológicos derivados da temperatura.

REFERÊNCIAS

AlVAREZ-VARAS, R., BERZINS, R., BILO, K., CHEVALIER, J., CHEVALLIER, D., DE THOISY, B., FALLABRINO, A., CRUZ, M.G., KELEZ, S., LOPEZ-MENDILAHARSU, M., MARCOVALDI, M.A., MAST, R.B., MEDRANO, C., MIRANDA, C., NALOVIC, M.A., PROSDOCIMI, L., RGUEZ-BARON, J.M., SANTOS, A., SOARES, L., THOME, J., VALLEJO, F. AND VÉLEZ- RUBIO, G. Sea Turtles of South America, Vol. 11. Kentfield, CA: The State of the World's Sea Turtles, pp. 16–27, 2016.

HERSBACH, H.; BELL, B.; BERRISFORD, P.; et al. The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 146, n. 730, p. 1999–2049, 2020.

HOFSTRA, N.; HAYLOCK, M.; NEW, M.; JONES, P. D. Testing E-OBS European high-resolution gridded dataset of daily precipitation and surface temperature. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 113, D21101, 2008.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 77, n. 3, p. 437–471, 1996.

MUÑOZ-SABATER, J.; DUTRA, E.; AGUSTÍ-PANAREDA, A.; et al. ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. Earth System Science Data, v. 13, p. 4349–4383, 2021.

PETERSON, T. C.; EASTERLING, D. R.; KARL, T. R.; et al. Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: A review. International Journal of Climatology, v. 18, n. 13, p. 1493–1517, 1998.

ROZANTE, J. R.; RAMIREZ, E.; FERNANDES, A. A.: A newly developed South American Mapping of Temperature with estimated lapse rate corrections. International Journal of Climatology, v. 42, n. 4, p. 2135–2152, 2022.

TAREK, M.; BRISSETTE, F.; ARSENAULT, R. Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America. Hydrology and Earth System Sciences, v. 24, p. 2527–2544, 2020.

URRACA, R.; HULD, T.; GRACIA-AMILLO, A.; MARTINEZ-DE-PISON, F. J.; KASPAR, F.; SANZ-GARCIA, A. Evaluation of global horizontal irradiance estimates from ERA5 and COSMO-REA6 reanalyses using ground and satellite-based data. Solar Energy, v. 164, p. 339–354, 2018.