



MODELAGEM COMPUTACIONAL DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA EM SANTA ROSA - RS: A UTILIZAÇÃO DO ARIMA NA PROJEÇÃO PARA OS PRÓXIMOS ANOS¹

Kelvin Jardel Robe², Marcia de Fatima Brondani Binelo³, Manuel Osorio Binelo⁴

¹ MESTRADO EM MODELAGEM MATEMÁTICA UNIJUÍ

² Bolsista de Iniciação Científica, Aluno do Curso de Modelagem Matemática e Computacional - GMAC da Unijuí.

³ Profa. Dra. Pesquisadora do Grupo de Matemática Aplicada e Computacional– GMAC – Unijuí.

⁴ Prof. Dr. Pesquisador do Grupo de Matemática Aplicada e Computacional– GMAC – Unijuí.

RESUMO

Este estudo tem por objetivo analisar a variação da temperatura do município de Santa Rosa, RS, ao longo dos últimos sete anos (2017-2023) e projetar tendências para os próximos três anos (2024-2026). Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizados dados fornecidos pelo INMET, e aplicada a técnica de modelagem computacional do modelo ARIMA, deste modo, foi identificada uma tendência de aumento nas temperaturas médias anuais, alinhada com as mudanças climáticas globais. Os resultados revelam variações significativas e demonstram um possível aquecimento para os próximos anos. Portanto, é possível inferir que essas tendências impactam setores como agricultura e saúde pública, destacando a necessidade de políticas de mitigação e adaptação. Este trabalho busca contribuir para a compreensão das mudanças climáticas locais, além de fundamentar futuras pesquisas e ações estratégicas capazes de amenizar os impactos climatológicos.

Palavras-chave: Modelagem Computacional. Mudanças Climáticas. ARIMA.

ABSTRACT

This study aims to analyze the temperature variation in the municipality of Santa Rosa, RS, over the past seven years (2017-2023) and project trends for the next three years (2024-2026). Data provided by INMET was used for this research, applying the ARIMA computational modeling technique. This approach enabled the identification of an upward trend in annual average temperatures, consistent with global climate change patterns. The results reveal significant variations and suggest a possible warming in the coming years. These trends are likely to impact sectors such as agriculture and public health, emphasizing the need for mitigation and adaptation policies. This work seeks to contribute to the understanding of local climate changes and provide a basis for future research and strategic actions to mitigate climatological impacts.

Keywords: Computational Modeling. Climate Changes. ARIMA.



INTRODUÇÃO

Monitorar as variações de temperatura é fundamental para a compreensão das mudanças climáticas e seus impactos locais. Santa Rosa, município localizado no estado do Rio Grande do Sul, possui características climáticas que tornam a análise das suas variações de temperatura relevantes para diversos setores, como a agricultura, a economia e a saúde pública (PINTO et al., 2008). Portanto, este estudo objetiva analisar a variação da temperatura no município de Santa Rosa ao longo dos últimos sete anos (2017-2023) e projetar tendências para os próximos três anos (2024-2026).

No desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizados dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As técnicas de modelagem aplicadas incluem modelos computacionais ARIMA (*AutoRegressive Integrated Moving Average*) e de regressão linear. Visto que esses modelos constituem-se como ferramentas essenciais para prever mudanças futuras e auxiliar na formulação de políticas de adaptação (LIMA & COELHO, 2013).

A aplicação de modelos matemáticos, como ARIMA e a regressão linear na análise de dados meteorológicos permite uma melhor compreensão sobre as variações climáticas, possibilitando a formulação de previsões confiáveis, sendo assim, essas técnicas são essenciais para a avaliação de padrões históricos e para a projeção de mudanças futuras, auxiliando na tomada de decisões, bem como, estratégias de resposta às mudanças climáticas (HYNDMAN & ATHANASOPOULOS, 2018).

Portanto, o trabalho busca contribuir para a compreensão da variação climática local, oferecer subsídios para futuras pesquisas e ações estratégicas capazes de amenizar os impactos climatológicos locais, auxiliar nas tomadas de decisões das políticas públicas, bem como conscientizar a comunidade acerca destas alterações (NOBRE et al., 2007). Uma vez que o aumento das temperaturas e a intensificação de eventos extremos, como secas e enchentes, exigem a implementação de políticas públicas de adaptação e mitigação para reduzir os impactos negativos sobre a população e a economia (MARENGO, 2021).

Este trabalho também se alinha com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). Em particular, o estudo contribui para o ODS 13, que visa tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos. Ao fornecer análises e projeções de tendências de temperatura, este



estudo oferece uma base científica para a formulação de estratégias de adaptação e mitigação localizadas, contribuindo assim para a sustentabilidade e resiliência da comunidade local.

METODOLOGIA

Para realizar o estudo sobre a análise da variação de temperatura no município de Santa Rosa, RS, ao longo dos últimos sete anos, foram utilizados dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), os quais incluem as temperaturas máximas e mínimas registradas diariamente na estação meteorológica local (Estação A810). A escolha do período de estudo deve-se à disponibilidade de dados completos e à necessidade de uma análise robusta das tendências de longo prazo. Os dados do início do ano de 2024 foram descartados, devido a escassez de valores presentes neste período.

Com a disponibilidade das informações mencionadas, foi possível realizar um tratamento dos dados, visto que alguns valores não estavam presentes na tabela analisada. Para garantir a precisão e a integridade das análises de temperatura, foi realizado um processo de limpeza dos dados coletados. Alguns valores não constam no banco de dados obtido, os quais foram tratados utilizando a técnica de regressão linear para preencher lacunas, garantindo a continuidade temporal, através de dados estatisticamente próximos aos índices ausentes. Além disso, foi aplicado um método estatístico para identificar e remover *outliers*, baseando-se no intervalo interquartil (IQR), de forma a mitigar o impacto de valores anômalos que pudessem distorcer os resultados.

Para a análise das tendências de temperatura e de projeções futuras, foi aplicado o modelo *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA). Para isto, foi utilizado o pacote *forecast* (HYNDMAN e KHANDAKAR, 2008), por meio da função “*arima()*”. Sendo assim, os resultados das modelagens ARIMA e de regressão linear foram analisados com o propósito de identificar padrões e tendências nas temperaturas do município, sendo possível determinar projeções para os próximos três anos (2024-2026).

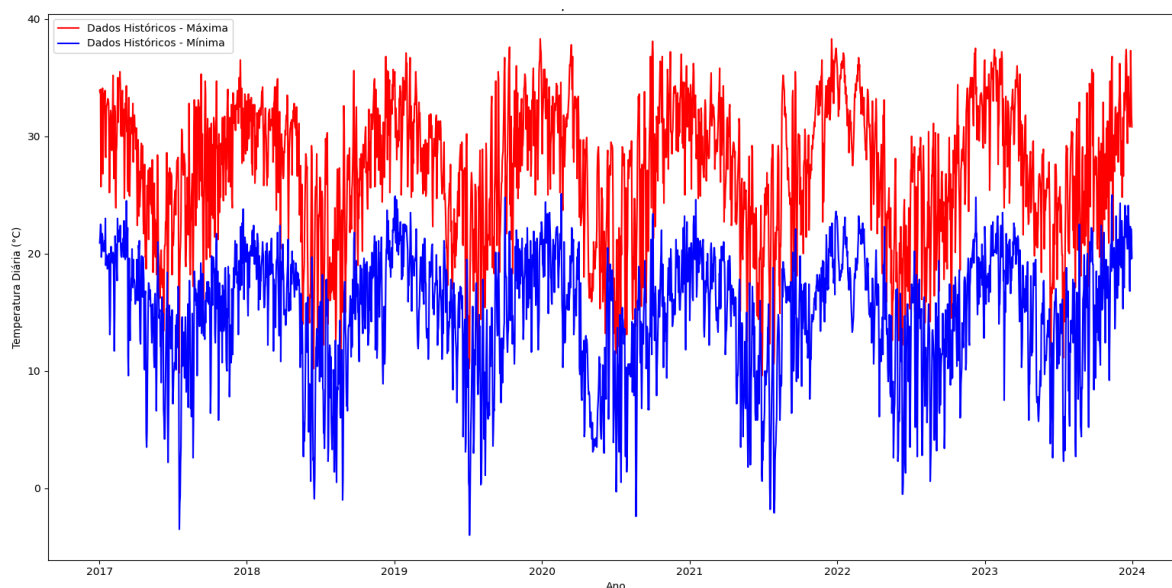
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a obtenção dos dados faltantes, com a utilização do *Python* foi possível plotar o gráfico da variação das temperaturas máximas e mínimas do município de Santa Rosa, RS



para os referidos anos. Conforme a figura 1 indica, podemos observar essas alterações climáticas ao longo do tempo estudado.

Figura 1: Variação da temperatura diária ao longo dos anos de 2017 a 2023 do município de Santa Rosa, RS.



Fonte: Autores, 2024.

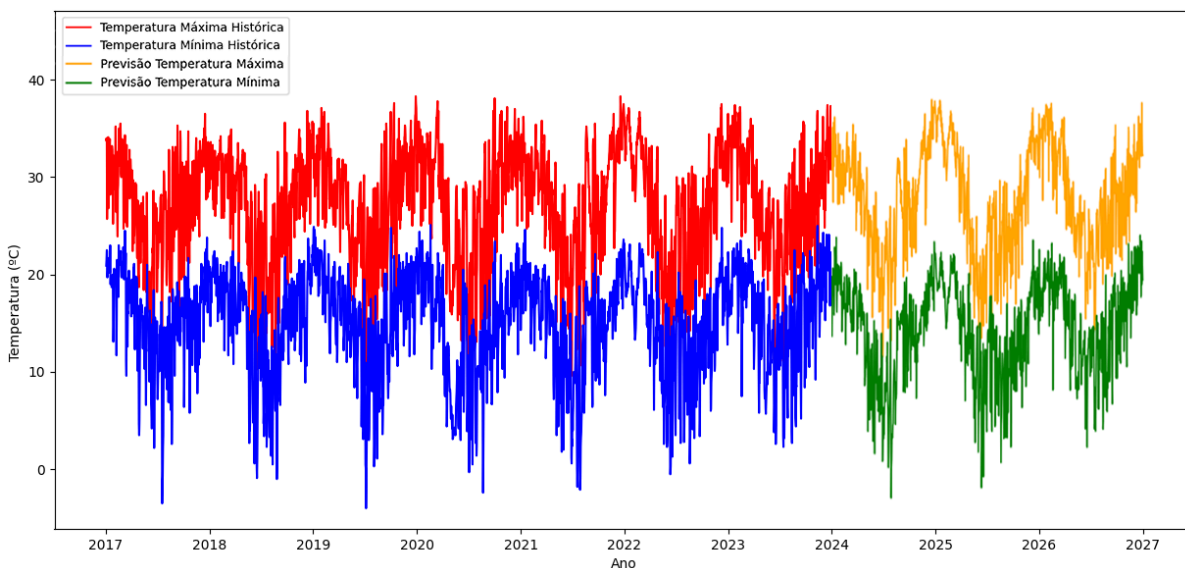
Ao analisarmos o gráfico gerado, é possível identificar uma alteração climática com o passar dos anos, estando visível que os últimos invernos não foram tão rigorosos, especialmente os de 2022 e 2023, quando comparados aos invernos de 2017 e 2019 por exemplo. Para as temperaturas máximas, podemos identificar um pequeno aumento nas temperaturas, principalmente a partir do ano de 2020.

Para a projeção das temperaturas dos três anos seguintes, utilizou-se o modelo ARIMA. A seleção dos parâmetros de termos auto regressivos, a diferenciação e a média móvel (p, d, q) foi realizada com base nos critérios AIC (*Akaike Information Criterion*) e BIC (*Bayesian Information Criterion*), resultando na escolha do modelo ARIMA(2,1,1) para ambas as séries temporais (temperaturas máxima e mínima). Para prever as variações climáticas, foi utilizada a função *predict*, definindo-se o intervalo de 1095 unidades, referentes a cada dia do período de três anos.



Na figura 2, é possível verificar a variação climática do período inicialmente estudado, bem como, observar as projeções fornecidas pela modelagem para os anos de 2024, 2025 e 2026, sendo possível identificar uma sazonalidade na projeção da variação climática, permitindo assim, fazer constatações acerca do comportamento obtido.

Figura 2: Variação da temperatura diária ao longo dos anos de 2017 a 2023 e previsão da temperatura para os anos de 2024 a 2026 do município de Santa Rosa, RS.



Fonte: Autores, 2024.

Ao analisarmos as previsões futuras obtidas pelo nosso modelo, é possível inferir que há uma expectativa de invernos mais frios para os anos de 2024 e 2025 (em relação aos dois anos anteriores), porém para o ano de 2026 a expectativa é de que o inverno não seja tão rigoroso, comparando com os primeiros anos da análise (em especial de 2017 a 2019), podemos destacar que a previsão é de que períodos com dias extremamente frios sejam mais escassos, com períodos mais curtos e temperaturas mais elevadas durante o inverno.

Já para as temperaturas máximas, podemos observar uma projeção de mais períodos quentes no verão, não ocorrendo tanta oscilação de temperatura, principalmente conforme ocorrido nos primeiros anos do estudo. De modo semelhante, é possível identificar a tendência de verões com temperaturas cada vez mais elevadas.



Para validar o modelo, foram estudados os coeficientes auto regressivos (ar) e de média móvel (ma), os quais mostraram-se altamente significativos, indicando uma forte dependência temporal das séries de temperatura. Conforme os quadros 1 e 2 é possível observar estas informações, indicando a significância deste modelo para a previsão de temperatura.

Quadro 1: Parâmetros obtidos da modelagem ARIMA para as temperaturas máximas.

	coef	erro padrão	z	P> z
ar.L1	0,7221	0,019	37,545	0,000
ar.L2	-0,2049	0,018	-11,708	0,000
ma.L1	-0,9132	0,011	-86,853	0,000
sigma2	9,7704	0,246	39,670	0,000

Fonte: Autores, 2024.

Quadro 2: Parâmetros obtidos da modelagem ARIMA para as temperaturas mínimas.

	coef	erro padrão	z	P> z
ar.L1	0,8002	0,019	41,223	0,000
ar.L2	-0,2671	0,018	-14,926	0,000
ma.L1	-0,9129	0,011	-85,334	0,000
sigma2	7,8241	0,172	45,557	0,000

Fonte: Autores, 2024.

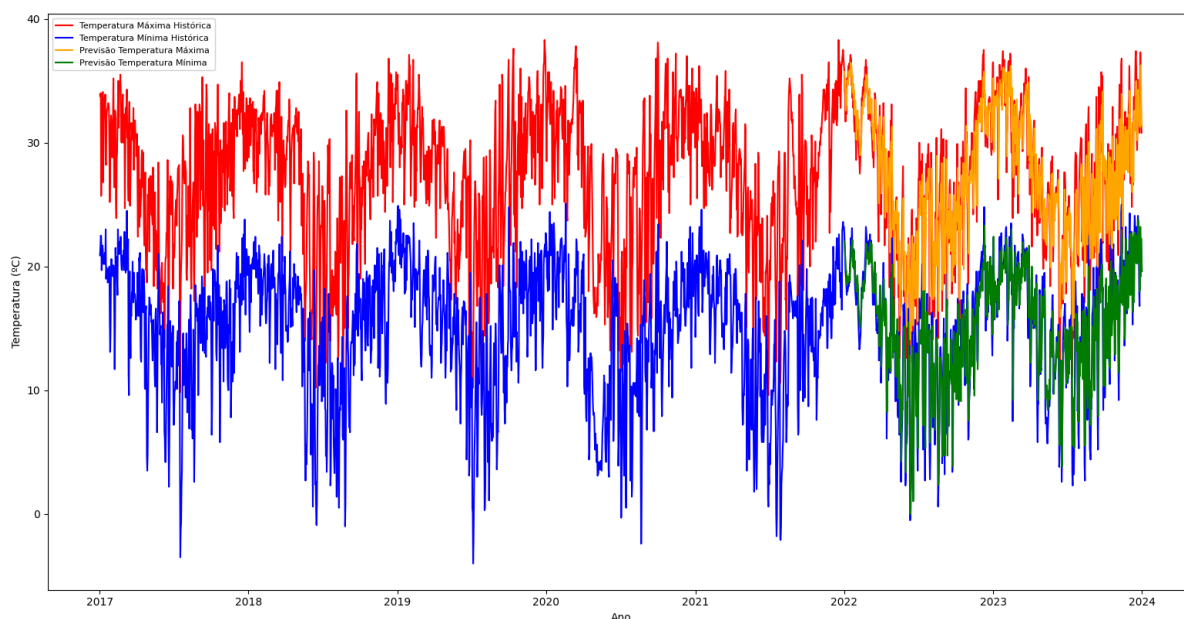
Os modelos ARIMA (2, 1, 1) aplicados aos dados de temperatura máxima e mínima do município, mostraram coeficientes autoregressivos e de média móvel altamente significativos, indicando uma forte influência temporal nas séries de temperatura. Para a temperatura máxima, os coeficientes ar.L1, ar.L2 e ma.L1 foram significativos ($P < 0.001$), assim como a variância dos erros (sigma2). Resultados semelhantes foram encontrados para a temperatura mínima, com todos os coeficientes e a variância dos erros sendo altamente significativos. Sendo possível assim, constatar que estes modelos capturam efetivamente a estrutura temporal das temperaturas, proporcionando previsões confiáveis.

Para finalizar o experimento, foi utilizado o ARIMA para prever as temperaturas dos anos de 2022 e 2023, com o propósito de observar as características propostas pelo modelo



quando comparadas aos valores reais. Na figura 3 é possível verificar esta projeção, visualizando a projeção do modelo sobre os valores reais de temperatura.

Figura 3: Variação da temperatura diária ao longo dos anos de 2017 a 2023 e previsão da temperatura para os anos de 2022 e 2023 do município de Santa Rosa, RS.



Fonte: Autores, 2024.

Através da projeção das variações climáticas para os anos de 2022 e 2023, podemos verificar que o modelo apresentou uma considerável precisão quando comparado aos dados reais. Isso se deve ao modelo detectar a sazonalidade (identificando um perfil de ocorrência de dias quentes e frios), possibilitando deste modo criar previsões assertivas para a variação da temperatura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo aplicou modelos ARIMA às séries temporais de temperatura máxima e mínima de Santa Rosa, RS, com o objetivo de analisar e prever as variações de temperatura para os próximos anos. Os resultados obtidos demonstraram a eficácia dos modelos em capturar a estrutura sazonal das temperaturas, com coeficientes autoregressivos e de média móvel significativos. Estes coeficientes revelaram uma forte dependência das



temperaturas atuais em relação aos valores observados nos dias anteriores, proporcionando uma compreensão aprofundada das dinâmicas climáticas locais.

Os parâmetros obtidos pelo modelo reforçaram sua eficácia, indicando ausência de autocorrelação nos resíduos e variância constante. A variância dos erros (σ^2) foi relativamente baixa, sugerindo que os modelos ARIMA fornecem previsões precisas. O que indica a precisão para a modelagem climática, demonstrando assim ser uma ferramenta eficaz na projeção de variações climáticas, auxiliando nas tomadas de decisões por parte das políticas públicas, bem como possibilitando a criação de estratégias de adaptação às mudanças climáticas.

Este estudo também destaca a importância da análise de séries temporais para a previsão de fenômenos climáticos. Ao entender melhor as tendências e padrões históricos, é possível antecipar eventos extremos e planejar medidas de mitigação mais eficazes. Isso é particularmente relevante no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e da Agenda 2030 da ONU, que visam promover a resiliência e a sustentabilidade ambiental.

Por fim, foi possível constatar que os modelos ARIMA provaram ser ferramentas valiosas para a previsão de temperaturas. Futuras pesquisas podem explorar a integração desses modelos com outras técnicas para melhorar ainda mais a precisão das previsões. Além disso, a análise de outras variáveis climáticas, como precipitação e umidade, pode fornecer uma visão mais abrangente das mudanças climáticas, contribuindo para a formulação de dados cada vez mais precisos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HYNDMAN, R. J., & ATHANASOPOULOS, G. **Forecasting: Principles and Practice**, 2018.

HYNDMAN, R. J., & KHANDAKAR, Y. **Automatic time series forecasting: the forecast package** for R. J. Stat. Softw, 2008.

INMET - **Instituto Nacional de Meteorologia**, Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>, Acesso em 22 de julho de 2024.

LIMA, D.R., & COELHO, C.A.S.. Análise de Tendências Climáticas no Brasil Utilizando Modelos de Séries Temporais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 28(3), p. 283-294, 2013.



MARENGO, J.A., ALVES, L.M., ALVALA, R.C.S., CUNHA, A.P., BRITO, S., & MORAES, O.L.L. Climate Change in Brazil: Current and Future Trends. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 36, p. 41-56, 2021.

NOBRE, C.A., MARENGO, J.A., & SELUCHI, M.E. Cenários Climáticos e Recursos Hídricos no Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, p. 35-50, 2007.

PINTO, H.S., ASSAD, E.D., ZULLO JUNIOR, J., & EVANGELISTA, S.R.M.. Impactos das Mudanças Climáticas na Agricultura Brasileira. **Boletim Técnico da Embrapa**, 78, p. 1-34, 2008.