



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ANDRÉ LUÍS NOCÊRA MANSOUR

**ANÁLISE E MAPEAMENTO DOS EXTREMOS CLIMÁTICOS
DE TEMPERATURA DO AR UTILIZANDO DADOS DE
REANÁLISE PARA O ESTADO DO PARANÁ-BRASIL**

Londrina
2024

ANDRÉ LUÍS NOCÊRA MANSOUR

**ANÁLISE E MAPEAMENTO DOS EXTREMOS CLIMÁTICOS
DE TEMPERATURA DO AR UTILIZANDO DADOS DE
REANÁLISE PARA O ESTADO DO PARANÁ-BRASIL**

Tese apresentado ao curso de Pós-graduação
em Doutorado em Engenharia Civil da
Universidade Estadual de Londrina.

Orientador: Prof. Dr. Hemerson Donizete
Pinheiro

Londrina
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Mansour, André Luís Nocêra.

Análise e mapeamento dos extremos climáticos de temperatura do ar utilizando dados de reanálise para o estado do Paraná-Brasil. / André Luís Nocêra Mansour. - Londrina, 2024.
169 f.

Orientador: Hemerson Donizete Pinheiro.

Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2024.

Inclui bibliografia.

1. ERA5 - Tese. 2. JRA-55 - Tese. 3. Índices de extremos climáticos - Tese. 4. Temperatura do ar - Tese. I. Pinheiro, Hemerson Donizete. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 62

ANDRÉ LUÍS NOCÊRA MANSOUR

**ANÁLISE E MAPEAMENTO DOS EXTREMOS CLIMÁTICOS
DE TEMPERATURA DO AR UTILIZANDO DADOS DE
REANÁLISE PARA O ESTADO DO PARANÁ-BRASIL**

Tese apresentado ao curso de Pós-graduação em Doutorado em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Hemerson Donizete Pinheiro
Departamento de Construção Civil
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dra. Deize Dias Lopes
Departamento de Construção Civil
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dra. Thalita Gorban Ferreira Giglio
Departamento de Construção Civil
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Marcelo Augusto de Aguiar e Silva
Departamento de Agronomia
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Jorge Alberto Martins
Campus Londrina
Universidade Tecnol. Federal do Paraná – UTFPR

Londrina, 11 de outubro de 2024.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me conceder saúde, sabedoria e resiliência necessárias para iniciar e concluir este trabalho. Em Sua infinita graça, Ele direciona meus passos e me fortalece, e é com humildade e gratidão que aceito Seus desígnios.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Hemerson Donizete Pinheiro, que me acompanha desde a graduação no curso de Engenharia Civil, pela atenção, presteza e dedicação ao conduzir esta pesquisa.

Aos professores que integraram a banca de avaliação deste trabalho, pelo tempo generosamente dedicado a participar deste processo e pelas valiosas sugestões e observações, que foram essenciais para o aprimoramento e conclusão desta pesquisa.

À minha querida esposa, Amanda Marques Terciotti Mansour, pelo constante incentivo a enfrentar novos desafios e por estar ao meu lado em todos os momentos da vida. Sua presença e apoio incondicional são a base sobre a qual construo minhas conquistas.

Ao meu filho, Miguel Terciotti Mansour, cuja alegria e inocência iluminam meus dias e me inspiram a buscar constantemente a melhoria pessoal e profissional. Ele é a razão pela qual me empenho em construir um futuro melhor, garantindo-lhe as melhores condições de vida e esforçando-me para ser um exemplo digno a ser seguido.

Aos meus pais, Aníbal Mansour e Silvana Lima Nocêra Mansour, que desde os primeiros anos da minha vida me incentivaram a desenvolver o hábito da leitura e a paixão pela busca do conhecimento.

Aos engenheiros Edson Nishioka e Ricardo Matoba, por todos os ensinamentos, tanto profissionais, quanto pessoais.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão desta pesquisa.

“Quer você ache que pode, ou ache que não pode—você está certo.”
(Henry Ford)

RESUMO

MANSOUR, André Luís Nocêra. **Análise e mapeamento dos extremos climáticos de temperatura do ar utilizando dados de reanálise para o estado do Paraná-Brasil**. 2024. 169p. Tese apresentado à Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Londrina, 2024.

Os programas de reanálise fornecem estimativas contínuas de diversos elementos meteorológicos, incluindo a temperatura do ar. Porém, a capacidade desses programas em gerar dados diários confiáveis de temperatura do ar para calcular os índices de extremos climáticos no estado do Paraná ainda é indefinida. Esta pesquisa avaliou a acurácia dos programas de reanálise ERA5, quinta reanálise atmosférica global conduzida pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF – sigla em inglês), e JRA-55, reanálise japonesa de 55 anos da Agência Meteorológica do Japão (JMA – sigla em inglês), na estimativa das temperaturas do ar e dos índices de extremos climáticos de temperatura do ar definidos pela Equipe de Especialistas em Detecção e Índices de Mudanças Climáticas (ETCCDI – sigla em inglês) na região do estado do Paraná. Como referência, foram utilizados os registros de 42 estações meteorológicas com períodos temporais variados. Posteriormente, os índices obtidos pelo programa com melhor desempenho foram mapeados. Além disso, a presença e a magnitude das tendências foram analisadas utilizando o teste de Mann-Kendall e o teste da declividade de Sen, respectivamente. Os resultados mostraram que as temperaturas diárias do ar máxima (TX), mínima (TN) e média (TM) estimadas pelos programas de reanálise apresentaram boa correlação com os registros das estações meteorológicas, com melhor desempenho do ERA5, que se destacou ao resultar em coeficientes de correlação (CC) com valores 6,4%, 9,1% e 4,2% maiores para TX, TN e TM, respectivamente, em comparação ao JRA-55. Ademais, as duas reanálises superestimaram os valores das temperaturas mínimas e subestimaram as máximas. O JRA-55, em particular, apresentou maiores vieses (BIAS), com valores 1,9 vezes maiores para TX e 6,5 vezes maiores para TN em relação ao ERA5, quando comparados com as estações meteorológicas de referência. Em relação aos índices de extremos climáticos, o ERA5 obteve melhores resultados, estimando bem 7 dos 15 índices avaliados, são eles: TXx (Dias mais quente), TXn (Noite mais quente), TNx (Dia mais frio), TNn (Noite mais fria), DTR (Amplitude térmica diária), SU (Dias de verão) e GSL (Duração de crescimento da estação). Após mapear esses índices, observou-se que todos, exceto TNn, que apresentou uma tendência significativa de diminuição, mostraram tendências significativas de aumento em grandes áreas do estado ao considerar a série temporal completa fornecida pelo ERA5, que abrangeu o período entre 1940 e 2023. As tendências para o GSL não foram avaliadas devido à pouca variação nos valores médios nos períodos analisados, indicando sua inaplicabilidade à área de estudo. De modo geral, ao avaliar os três períodos de 30 anos estipulados: 1940 a 1969, 1967 a 1996, e 1994 a 2023, as maiores áreas com tendências significativas e as magnitudes mais acentuadas foram observadas no período inicial, especialmente para o TNn.

Palavras-chave: ERA5; JRA-55; extremos de temperatura; índices de extremos climáticos; tendências; ETCCDI; temperatura do ar.

ABSTRACT

MANSOUR, André Luís Nocêra. **Analysis and mapping of air temperature climate extremes using reanalysis data for the state of Paraná, Brazil**. 2024. 169p. Thesis presented to the State University of Londrina - UEL, as a partial requirement for obtaining the title of Doctor in Civil Engineering. Londrina, 2024.

Reanalysis programs provide continuous estimates of various climatic elements, including air temperature. However, the ability of these programs to generate reliable daily air temperature data for calculating climate extreme indices in the state of Paraná remains uncertain. This research assessed the accuracy of the ERA5 reanalysis program, the fifth global atmospheric reanalysis conducted by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), and the JRA-55 reanalysis, the 55-year Japanese reanalysis from the Japan Meteorological Agency (JMA), in estimating air temperatures and the air temperature climate extreme indices defined by the Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) in the Paraná region. The study used records from 42 meteorological stations with varying time periods as reference data. Subsequently, the indices obtained by the best-performing program were mapped. Additionally, the presence and magnitude of trends were analyzed using the Mann-Kendall test and the Sen's slope test, respectively. The results showed that the daily maximum (TX), minimum (TN), and mean (TM) air temperatures estimated by the reanalysis programs had a good correlation with the station records, with ERA5 performing better, showing correlation coefficients (CC) that were 6.4%, 9.1%, and 4.2% higher for TX, TN, and TM, respectively, compared to JRA-55. Furthermore, both reanalyses overestimated minimum temperatures and underestimated maximum temperatures. JRA-55, in particular, showed greater biases (BIAS), with values 1.9 times higher for TX and 6.5 times higher for TN compared to ERA5, when referenced against the weather stations. Regarding climate extremes indices, ERA5 achieved better results, accurately estimating 7 out of the 15 evaluated indices, namely: TXx (Hottest day), TXn (Hottest night), TNx (Coldest day), TNn (Coldest night), DTR (Diurnal temperature range), SU (Summer days), and GSL (Growing season length). After mapping these indices, it was observed that all, except TNn, which showed a significant decreasing trend, presented significant increasing trends over large areas of the state when considering the complete time series provided by ERA5, which covered the period from 1940 to 2023. Trends for GSL were not assessed due to the little variation in average values during the analyzed periods, indicating its inapplicability to the study area. Overall, when evaluating the three established 30-year periods: 1940 to 1969, 1967 to 1996, and 1994 to 2023, the largest areas with significant trends and the most pronounced magnitudes were observed in the initial period, especially for TNn.

Key-words: ERA5; JRA-55; temperature extremes; climate extreme indices; trends; ETCCDI; air temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variação da concentração de CO ₂ na atmosfera, em fração molar expressa em partes por milhão (ppm).	30
Figura 2 – Fluxograma com a metodologia resumida do presente estudo.	54
Figura 3 – Região de Estudo.....	55
Figura 4 – Classificação Climática de Köppen para o estado do Paraná.	56
Figura 5 – Temperaturas médias anuais do ar para o estado do Paraná para o período compreendido entre 1976 e 2015.....	56
Figura 6 – Hipsometria do Estado do Paraná.....	57
Figura 7 – Posição geográfica das estações meteorológicas do IDR (vermelho) e Agritempo (azul) no estado do Paraná.....	59
Figura 8 – Distribuição geográfica das estações meteorológicas e seus coeficientes de correlação (CC) com os dados de reanálise do ERA5.	70
Figura 9 – Distribuição geográfica das estações meteorológicas e seus coeficientes de correlação (CC) com os dados de reanálise do JRA-55.	71
Figura 10 - Células de grade do ERA5 no interior do estado do Paraná com as estações meteorológicas representadas em vermelho (IDR) e azul (Agritempo).....	85
Figura 11 – Distribuição espacial e variações temporais do índice TXx no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023.....	86
Figura 12 – Variação anual dos valores de TXx para cinco municípios localizados em regiões distintas do estado do Paraná.	88
Figura 13 – Distribuição espacial das tendências significativas de TXx no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023 ($p < 0,05$).	88
Figura 14 – Distribuição espacial das tendências significativas de TXx para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).	89
Figura 15 – Distribuição espacial das tendências significativas de TXx sazonal para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).	91
Figura 16 – Distribuição espacial e variações temporais do índice TXn no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023.....	92
Figura 17 – Variação anual dos valores de TXn para cinco municípios localizados em regiões distintas do estado do Paraná.	93
Figura 18 – Distribuição espacial das tendências significativas de TXn no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023 ($p < 0,05$).	93

Figura 19 – Distribuição espacial das tendências significativas de TXn para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).....	94
Figura 20 – Distribuição espacial das tendências significativas de TXn sazonal para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).....	95
Figura 21 – Distribuição espacial e variações temporais do índice TNx no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023.....	96
Figura 22 – Variação anual dos valores de TNx para cinco municípios localizados em regiões distintas do estado do Paraná.	97
Figura 23 – Distribuição espacial das tendências significativas de TNx no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023 ($p < 0,05$).	97
Figura 24 – Distribuição espacial das tendências significativas de TNx para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).....	98
Figura 25 – Distribuição espacial das tendências significativas de TNx sazonal para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).....	99
Figura 26 – Distribuição espacial e variações temporais do índice TNn no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023.....	100
Figura 27 – Variação anual dos valores de TNn para cinco municípios localizados em regiões distintas do estado do Paraná.	101
Figura 28 – Distribuição espacial das tendências significativas de TNn no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023 ($p < 0,05$).	102
Figura 29 – Distribuição espacial das tendências significativas de TNn para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).....	104
Figura 30 – Distribuição espacial das tendências significativas de TNn sazonal para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).....	105
Figura 31 – Distribuição espacial e variações temporais do índice DTR no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023.....	106
Figura 32 – Variação anual dos valores de DTR para cinco municípios localizados em regiões distintas do estado do Paraná.	107
Figura 33 – Distribuição espacial das tendências significativas de DTR no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023 ($p < 0,05$).	108
Figura 34 – Distribuição espacial das tendências significativas de DTR para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).....	109
Figura 35 – Distribuição espacial das tendências significativas de DTR sazonal para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).....	110

Figura 36 – Distribuição espacial e variações temporais do índice SU no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023.....	111
Figura 37 – Variação anual dos valores de SU para cinco municípios localizados em regiões distintas do estado do Paraná.	112
Figura 38 – Distribuição espacial das tendências significativas de SU no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023 ($p < 0,05$).	113
Figura 39 – Distribuição espacial das tendências significativas de SU para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).....	113
Figura 40 – Distribuição espacial das tendências significativas de SU sazonal para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).....	115
Figura 41 – Distribuição espacial e variações temporais do índice GSL no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023.....	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição percentual das estações meteorológicas agrupadas por intervalos de Coeficiente de Correlação (CC) para os conjuntos de dados ERA5 e JRA-55.	68
Tabela 2 – Distribuição percentual das estações meteorológicas por faixas de Distância entre Índices de Simulação e Observação (DISO) nas reanálises ERA5 e JRA-55-.....	69
Tabela 3 - Coeficientes de correlação das estações meteorológicas por instituição em relação aos dados de reanálise do ERA5.	72
Tabela 4 - Coeficientes de correlação das estações meteorológicas por instituição em relação aos dados de reanálise do JRA-55.....	72
Tabela 5 – Média das métricas estatísticas de temperatura do ar (TX, TN, TM) para o conjunto de dados do ERA5 e JRA-55 comparados com as estações meteorológicas de referência.	74
Tabela 6 – Distribuição percentual das estações meteorológicas agrupadas por intervalo de CC e DISO para o conjunto de dados do ERA5.	77
Tabela 7 – Distribuição percentual das estações meteorológicas agrupadas por intervalo de CC e DISO para o conjunto de dados do JRA-55.....	78
Tabela 8 – Média das métricas estatísticas para os índices de extremos climáticos do conjunto de dados do ERA5 e JRA-55 quando comparadas aos dados das estações meteorológicas.	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estratégias de buscas utilizadas para pesquisa no banco de dados da Scopus e Web of Science.	23
Quadro 2 - Índices de Extremos Climáticos de Temperatura desenvolvidos pelo ETCCDI.	32
Quadro 3 - Classes de Estações Meteorológicas.	35
Quadro 4 - Instrumentos e satélites que mensuram a temperatura da superfície terrestre.	37
Quadro 5 - Programas de reanálise que apresentam dados de temperatura do ar. .	38
Quadro 6 - Informações das estações utilizadas no estudo. As estações com marcação (*) são estações meteorológicas automáticas.	60
Quadro 7 – Informações dos conjuntos de dados obtidos das reanálises.	61
Quadro 8 –Índices de Extremos Climáticos de Temperatura obtidos neste estudo. .	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLIVAR	Clima e Oceano: Variabilidade, Previsibilidade e Mudança
CSDI	Índice de duração de onda fria
DTR	Amplitude térmica diária
ECMWF	Centro Europeu de Previsões Meteorológicas a Médio Prazo
ERA5	Quinta reanálise atmosférica global da ECMWF
ETCCDI	Equipe de especialistas em detecção e índices de mudanças climáticas
FD	Dias de geada
GCOS	Sistema Global de Observação do Clima
GMT	Tempo Médio de Greenwich
GSL	Duração de crescimento da estação
ID	Dias congelantes
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
JMA	Agência Meteorológica do Japão
JRA-55	Reanálise Japonesa de 55 anos da JMA
NCAR	Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas
NCEP	Centro Nacional de Previsão Ambiental
NOAA	Administração Oceânica e Atmosférica Nacional
PIB	Produto Interno Bruto
SU	Dias de verão
TN10p	Noites frias
TN90p	Noites quentes
TNn	Noite mais fria
TNx	Dia mais frio
TR	Noites tropicais
TX10p	Dias frios

TX90p	Dias quentes
TXn	Noite mais quente
TXx	Dia mais quente
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
UTC	Tempo Universal Coordenado
WCRP	Programa Mundial de Pesquisa Climática
WMO	Organização Meteorológica Mundial
WSDI	Índice de duração de onda quente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Contextualização e Justificativa	17
1.2	Objetivos	22
1.3	Lacuna do Conhecimento	23
1.4	Questão de Pesquisa	26
1.5	Hipótese de Pesquisa	26
1.6	Delimitação da Pesquisa.....	26
1.7	Estrutura da Tese.....	26
1.8	Definição dos Principais Termos.....	27
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1	Índices de Extremos Climáticos	29
2.2	Mensuração de Dados de Temperatura do Ar	33
2.2.1	Estações meteorológicas.....	34
2.2.2	Satélites	36
2.2.3	Reanálises	37
2.3	Confiabilidade dos Dados Atmosféricos Obtidos por Medições Indiretas ...	41
2.4	Métricas Estatísticas	46
2.4.1	Coeficiente de correlação (CC).....	46
2.4.2	Viés relativo (RB).....	47
2.4.3	Viés (BIAS)	48
2.4.4	Raiz do erro quadrático médio (RMSE)	48
2.4.5	Erro absoluto médio (MAE).....	49
2.4.6	Distância entre os índices de simulação e observação (DISO)	49
2.5	Tendências em Séries de Dados Climáticos.....	50
3	MATERIAIS E MÉTODOS	53
3.1	Área de Estudo	54
3.2	Dados.....	58
3.2.1	Dados das estações meteorológicas	58
3.2.2	Dados de reanálise	61
3.3	Obtenção dos Índices de Extremos Climáticos	62
3.4	Correlação entre Dados de Referência e Reanálises	63
3.5	Mapeamento dos Índices Climáticos para o Estado do Paraná	64

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4.1	Avaliação dos Dados Diários de Temperatura do Ar das Reanálises ERA5 e JRA-55.....	66
4.2	Avaliação Comparativa dos Índices de Extremos Climáticos Derivados dos Conjuntos de Reanálise ERA5 e JRA-55.....	76
4.3	Mapeamento dos Índices de Extremos Climáticos de Temperatura do Ar..	84
5	CONCLUSÕES	119
	Apêndice A	130
	Apêndice B	134
	Apêndice C	138
	Apêndice D	142
	Apêndice E	146
	Apêndice F.....	150
	Apêndice G.....	154
	Apêndice H	158
	Apêndice I.....	162
	Apêndice J.....	166

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A temperatura do ar é um parâmetro crucial para a compreensão dos processos físicos na superfície terrestre, exercendo impacto significativo sobre diversos aspectos da sociedade, como a economia, a agricultura e a saúde da população (Perez *et al.*, 2022). Mais especificamente, na engenharia civil, a temperatura do ar gera impactos em diversos setores, suscitando estudos que busquem pavimentos mais resistentes às altas temperaturas (Wang *et al.*, 2022), alternativas de urbanização que mitiguem os efeitos do calor (Krüger *et al.*, 2024; Chen *et al.*, 2017), avaliações a respeito dos impactos das temperaturas extremas na saúde da população (Hacon, Oliveira e Silveira, 2018), em especial às classes mais vulneráveis, como os trabalhadores da construção civil, impactando na sua saúde e produtividade, dentre outras áreas.

Diante deste contexto, tanto o setor público quanto as empresas privadas demandam dados quantitativos abrangentes sobre este elemento climático, no espaço e tempo, sendo essencial para antecipar-se a cenários futuros que possam diferir dos valores médios observados em períodos recentes.

As mudanças nos padrões e magnitude dos eventos climáticos extremos constituem-se em um dos sete principais desafios científicos abordados pelo Programa Mundial de Pesquisa Climática (WCRP, sigla em inglês), e têm sido o foco dos relatórios de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês). Segundo o Resumo Técnico do Grupo de Trabalho I para o 6º Relatório do IPCC (IPCC, 2023), a influência humana no sistema climático é um fato estabelecido, contribuindo para o aumento de dias e noites quentes em todo o planeta.

A fim de homogeneizar os estudos mundiais relacionados às variações climáticas, a Organização Meteorológica Mundial (WMO, sigla em inglês) organizou uma equipe formada por especialistas em detecção e índices de mudanças climáticas (ETCCDI – sigla em inglês). Esta equipe desenvolveu 27 índices de extremos climáticos, 16 relacionados à temperatura e 11 à precipitação (Peterson *et al.*, 2001). Deste modo, os estudos relacionados às tendências nestes elementos meteorológicos podem obter os mesmos índices e realizar comparações padronizadas para diversas

regiões do planeta.

Entretanto, a obtenção dos referidos índices requer a compilação de séries de dados dos fenômenos em análise, particularmente dados relacionados à temperatura do ar. De maneira ampla, estas séries são obtidas a partir de três fontes: observações medidas “*in situ*”, por meio de estações meteorológicas; dados coletados por satélites; e informações advindas de reanálises atmosféricas (Lavers *et al.*, 2022). As observações provenientes das estações meteorológicas representam medições diretas, enquanto os dados oriundos de satélites e reanálises são considerados medições indiretas (Vishwanathan *et al.*, 2023). Por fim, há os chamados produtos mesclados, que combinam múltiplos conjuntos de informações, provendo estimativas de temperatura em escala regional ou global (Sun *et al.*, 2018; Beck *et al.*, 2017).

Os dados provenientes das estações meteorológicas são amplamente reconhecidos como os mais confiáveis e são considerados a principal fonte de referência em numerosas pesquisas (Al-Sakkaf *et al.*, 2024; Zhu e Zhao, 2023; ZHAO *et al.*, 2023; Xu *et al.*, 2022; Balmaceda-Huarte *et al.*, 2021; Rusticucci e Zazulie, 2021; Avila-Diaz *et al.*, 2020). Entretanto, é essencial ressaltar que esses dados podem apresentar imprecisões em função das inconsistências espaciais, erros de instrumentação, entre outros desafios inerentes (Sun *et al.*, 2018). Por isso, recomenda-se a realização de rigorosos testes estatísticos de controle de qualidade nos dados provenientes das estações meteorológicas, para sua validação antes de serem empregados como referência (WMO, 2023).

Adicionalmente, vale ressaltar que as estações meteorológicas são distribuídas de forma esparsa em várias regiões pelo globo terrestre (Al-Sakkaf *et al.*, 2024), principalmente em áreas montanhosas e oceânicas. Em função dessa distribuição irregular, para alguns estudos é necessário recorrer à métodos de interpolação para espacialização dos dados, introduzindo incertezas aos resultados obtidos. Mesmo em regiões com boa cobertura dessas estações, as medições provenientes delas são muitas vezes insuficientes para abranger toda a área com alta resolução espacial (Vishwanathan *et al.*, 2023).

Para aumentar a resolução espacial, são empregadas medições indiretas, obtidas por meio de sensoriamento remoto. Nessa abordagem, os dados são adquiridos por satélites que escaneiam a superfície terrestre, fornecendo, dentre outras informações, dados relativos à temperatura superficial em escala global ou regional, dependendo da trajetória do satélite. No entanto, devido à natureza indireta

dessas medições e às limitações relacionadas ao desgaste dos equipamentos ao longo do tempo e pequenas alterações de suas órbitas, esses dados geralmente exibem menor acurácia em relação aos obtidos diretamente pelas estações meteorológicas (Yang *et al.*, 2013).

Por fim, as reanálises combinam uma ampla variedade de informações observadas e coletadas remotamente, integrando-as em um modelo numérico. Dessa forma, as reanálises representam uma análise retrospectiva de dados históricos, fazendo uso de recursos computacionais cada vez maiores e versões atualizadas de modelos numéricos e esquemas de assimilação (Tarek; Brissette; Arsenault, 2020; Balmaceda-Huarte *et al.*, 2021).

Portanto, além da notável vantagem relacionada à resolução espacial, característica compartilhada com os dados de satélites, a reanálise representa um significativo avanço no que tange à escala temporal dessas informações. Essa vantagem decorre do seu potencial em fornecer conjunto de dados globais ao longo de extensos períodos abrangendo diversos níveis da atmosfera (Malcheva e Chervenkov, 2016; Balmaceda-Huarte *et al.*, 2021). Consequentemente, a reanálise se apresenta como uma fonte atrativa para pesquisas climáticas, principalmente por apresentar conjuntos de dados abarcando períodos superiores a 30 anos – duração mínima recomendada pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, sigla em inglês) para caracterização do clima de uma determinada região (WMO, 2007).

Atualmente, um conjunto diversificado de programas de reanálise contemplam dados de temperatura, dentre eles podem-se citar o ERA5 (ECMWF), o NCEP/NCAR (NOAA), o MERRA-2 (NASA), o JRA-55 (JMA), entre outros. De acordo com Dunn, Donat e Alexander (2022), não existe um produto de reanálise superior em termos absolutos, pois a escolha deve se pautar em função de sua aplicação e de estudos relativos à acurácia dos dados de tal programa quando comparados com uma fonte confiável, geralmente as estações meteorológicas. Por exemplo, Balmaceda-Huarte *et al.* (2021) ao avaliarem dados de diversas reanálises na região sul da América do Sul, constataram que nenhuma delas apresentou melhor desempenho em todos os aspectos avaliados; destacaram-se, contudo, em aspectos isolados, como o bom desempenho do NCEP/NCAR na captura da variabilidade interanual e habilidade do ERA5 em representar bem a variabilidade espacial e temporal observada para temperatura do ar e precipitação.

Embora os produtos de reanálise forneçam informações meteorológicas

consistentes ao longo de períodos extensos e com resolução espacial aprimorada, eles enfrentam desafios associados aos erros e incertezas decorrentes da qualidade inferior dos dados, da falta de observações e deficiências nas parametrizações do modelo (Cui *et al.*, 2017). Portanto, é amplamente recomendado que os dados provenientes de reanálise sejam utilizados com cautela, preferencialmente como complemento das observações de estações meteorológicas ou para fornecer dados em regiões com redes de estações menos densas (Tarek; Brissette; Arsenault, 2020; Donat *et al.*, 2014; Thorne e Vose, 2010).

Dessa forma, apesar da qualidade da resolução espacial e da extensão temporal das séries fornecidas, considerando a complexidade dos fenômenos climáticos, os métodos de medição indireta apresentam incertezas em relação à acurácia dos dados fornecidos. Essa incerteza se torna evidente ao analisar os estudos que obtêm resultados divergentes quando adotam diferentes conjuntos de dados para analisar a mesma região. É o caso de Zhu e Zhao (2023), que obtiveram índices de extremos quentes diferentes de Dashkhuu *et al.* (2015) e Wang *et al.* (2016) no Planalto Mongol, ou You *et al.* (2013) na China, que obtiveram tendências opostas para três índices de extremos de temperatura, ao adotar os dados das reanálises ERA-Interim e NCEP/NCAR.

Considerando a importância na qualidade das informações relativas aos fenômenos meteorológicos para a obtenção de índices de extremos climáticos, é pertinente observar as divergências de tendências oriundas de pesquisas que utilizam distintas fontes de dados para uma mesma região de estudo. Neste contexto, a garantia da confiabilidade e validade dos resultados obtidos em estudos climatológicos se torna crucial.

No âmbito das pesquisas meteorológicas, a quantidade substancial de dados disponíveis provenientes de variados programas de satélites e reanálises suscita a necessidade de uma meticulosa avaliação do desempenho destes conjuntos de dados antes de sua aplicação em investigações científicas. Tal premissa é corroborada por autores distintos que ressaltam a importância de controlar e compreender a variabilidade dos resultados obtidos, a qual está intrinsecamente ligada à área geográfica sob análise.

A título de ilustração, Bhattacharyya, Sreekesh e King (2022) e Dollan, Maggioni e Johnston (2022) destacam a relevância das medições precisas na contextualização dos índices de extremos climáticos. Além disso, Wang, Zhang e

Zhang (2019) e Condom *et al.* (2020) enfatizam a necessidade de considerar a procedência e a qualidade dos dados utilizados como um passo preliminar imprescindível para estudos que abrangem questões climáticas complexas.

O Brasil apresenta uma economia fortemente atrelada ao agronegócio, ao passo que enfrenta desafios consideráveis relacionados à vulnerabilidade social de parte de sua população. Conforme dados publicados pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada em parceria com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil - CEPEA/CNA (2024), em 2023 o setor agroindustrial representou cerca de 24% do Produto Interno Bruto (PIB) do país, movimentando aproximadamente R\$ 2,68 trilhões. Simultaneamente, de acordo com análise conduzida pelo Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) em 2022, cerca de 40 milhões de crianças e adolescentes no Brasil, estão expostos aos riscos decorrentes dos eventos climáticos extremos.

Evidenciando uma realidade específica do panorama econômico, em um recorte temporal de 2017, o estado do Paraná destacava-se com 33,86% do seu PIB atrelado ao agronegócio (Oliveira; Kureski; Santos, 2020). Além disso, o estado em questão encontra-se localizado em uma região de transição climática – tropical para subtropical, conforme descrito por Novais e Machado (2023), caracterizado por uma topografia diversificada que abrange desde áreas montanhosas, como nas transições entre os planaltos, até áreas planas, como os Campos Gerais, localizados na porção centro-leste do estado.

Diferenciando-se de outras pesquisas conduzidas em território brasileiro, a exemplo do estudo realizado por Natividade, Garcia e Torres (2017) em Minas Gerais, que se basearam em apenas 9 estações meteorológicas como referência para o estado, ou ainda o trabalho de Araújo *et al.* (2022) que confrontaram os dados oriundos do ERA5 com um conjunto de referência composto por 12 estações em Pernambuco, ressalta-se que o Paraná dispõe de uma rede com 42 estações meteorológicas, da base de dados do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR/PR) e do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico – Agritempo.

Essas estações foram devidamente validadas e passaram por rigorosos processos de controle de qualidade, preenchimento de falhas e testes de homogeneidade conduzidos por Medeiros (2022), especialmente para a coleta de dados de temperatura do ar. Isso resulta em uma densidade média de uma estação por 4.745,22 km².

Portanto, em conformidade com a importância da densidade dos dados observados para uma análise consistente e comparativa entre informações provenientes de fontes incertas e parâmetros de referência (Xu *et al.*, 2022), considera-se que o estado do Paraná dispõe de uma densidade adequada de estações meteorológicas que podem servir como pontos de referência para a comparação e validação dos dados oriundos de medições indiretas. Considerando a identificação do programa de reanálise que demonstre o melhor desempenho entre os avaliados, é viável empregar toda a série temporal de dados gerada por tal programa para analisar e compreender as tendências nos índices extremos de temperatura do ar na região de interesse.

1.2 OBJETIVOS

Identificar, entre os conjuntos de dados climáticos disponibilizados pelas reanálises ERA5 e JRA-55, qual apresenta as estimativas mais precisas para os 15 índices de extremos climáticos de temperatura do ar delineados pelo ETCCDI, no contexto do estado do Paraná, Brasil, para posteriormente, mapear os índices obtidos pelo programa que obtiver a melhor correlação com os registros das estações meteorológicas selecionadas como referência.

Como objetivos específicos, tem-se:

- Analisar a correlação das temperaturas do ar mínima, média e máxima diárias obtidas através das reanálises com os valores observados nas estações meteorológicas.
- Comparar e correlacionar os índices de extremos climáticos de temperatura do ar obtidos pelas reanálises com aqueles provenientes das estações meteorológicas.
- Avaliar a acurácia e consistência dos conjuntos de dados de reanálises em relação às condições climáticas observadas em estações meteorológicas de referência.
- Estimar os índices de extremos climáticos de temperatura do ar para o estado do Paraná em períodos não cobertos pelas estações meteorológicas utilizando dados de reanálises e avaliar a existência de

tendências.

- Projetar tendências futuras para o estado do Paraná, utilizando a série de dados completa do programa de reanálise com melhor desempenho dentre os avaliados.

1.3 LACUNA DO CONHECIMENTO

A partir de uma revisão bibliográfica de forma sistemática, realizada em 27/08/2024 na base de dados da *Scopus* e *Web of Science*, utilizando como estratégia de busca os termos descritos no Quadro 1, foram encontrados 63 artigos, sendo 35 na *Scopus* e 28 na *Web of Science*. Porém, do total de documentos encontrados, 27 estão nas duas bases de dados, restando 36 documentos após eliminar os artigos duplicados.

Quadro 1 - Estratégias de buscas utilizadas para pesquisa no banco de dados da *Scopus* e *Web of Science*.

Base de Dados	Estratégia de Busca
Scopus	(TITLE-ABS-KEY ("reanalysis") AND TITLE-ABS-KEY ("ETCCDI" OR "extreme climate indices") AND TITLE-ABS-KEY ("extreme temperature" OR "trends"))
Web of Science	((TI=("reanalysis") OR AB=("reanalysis") OR AK=("reanalysis")) AND (TI=("ETCCDI" OR "extreme climate indices") OR AB=("ETCCDI" OR "extreme climate indices") OR AK=("ETCCDI" OR "extreme climate indices"))) AND ((TI=("extreme temperature" OR "trends") OR AB=("extreme temperature" OR "trends") OR AK=("extreme temperature" OR "trends"))))

Fonte: o próprio autor.

Posteriormente, para filtrar os artigos que não correspondessem ao tema, realizou-se a análise do título, resumo e, eventualmente, dos materiais e métodos de todos os artigos coletados. Após esta etapa, 20 artigos foram excluídos por não terem relação expressa com o tema, restando 16 que foram mantidos e completamente revisados, uma vez que abordavam a comparação de extremos climáticos de temperatura, utilizando dados de estações meteorológicas e reanálises. O artigo mais antigo entre os selecionados foi publicado em 2015, e os mais recentes, em 2024, sugerindo que este é um campo de estudo em desenvolvimento recente.

Entre os estudos selecionados, 13 foram conduzidos em regiões localizadas no Hemisfério Norte, contemplando sete na Ásia, quatro na Europa e os demais em outros continentes, indicando uma predominância dos estudos no Hemisfério Norte. Por fim, restaram três artigos que abordaram o Hemisfério Sul com foco no território brasileiro. Tais pesquisas são as conduzidas por Balmaceda-Huarte *et al.* (2021), Avila-Diaz *et al.* (2020) e Rusticucci e Zazulie (2021).

Balmaceda-Huarte *et al.* (2021) investigaram a região sul da América do Sul, que inclui parte do Brasil, especificamente o estado do Paraná. No entanto, os autores usaram apenas 8 estações como referência para o estado, o que resultou em uma cobertura territorial limitada e poucos pontos de validação para os dados de reanálise. Os pesquisadores sugeriram a necessidade de uma rede mais extensa de estações meteorológicas, com cobertura espacial e temporal ampliada, para uma avaliação mais precisa da qualidade dos dados de reanálises.

Além disso, os autores identificaram consideráveis variações nos índices extremos entre os diferentes conjuntos de dados analisados. Portanto, eles recomendaram uma avaliação regional dos índices para uma compreensão mais aprofundada das mudanças temporais associadas a esses extremos climáticos.

Na pesquisa de Avila-Diaz *et al.* (2020), que avaliou dados de temperatura do ar e precipitação utilizando a reanálise ERA5 e produtos mesclados GMFD (Conjunto de Dados de Forçamento Meteorológico Global) e MSWEP (Precipitação de Conjunto Ponderado Multi-Fonte) para todo o território brasileiro, não houve o uso direto de estações meteorológicas como referência. Em vez disso, foi empregada uma observação em grade alcançada por meio da interpolação de dados de temperatura do ar e precipitação, fornecido por Xavier, King e Scanlon (2016).

No estudo de Rusticucci e Zazulie (2021), foram avaliados índices extremos de temperatura do ar da reanálise ERA-Interim (versão anterior ao ERA5) e de modelos climáticos do CMIP5 (Fase 5 do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados) para parte significativa do território da Argentina, Chile e Paraguai, adentrando aos territórios do Brasil e Bolívia. Assim como em Avila-Diaz *et al.* (2020), os autores usaram dados em grade interpolados a partir de estações meteorológicas (HadEX2), sem comparações diretas com informações das estações meteorológicas.

Embora existam outros trabalhos que abordam a mesma região de estudo, alguns deles não foram obtidos na pesquisa sistemática realizada. Num contexto mais amplo, destaca-se o estudo de Dufek, Ambrizzi e da Rocha (2008), que avaliaram os

índices de precipitação e temperatura do ar obtidos pela reanálise NCEP/NCAR para o Brasil, mas que contemplaram o estado do Paraná com apenas 2 estações, localizadas próximas à Curitiba.

Para análises regionais, podemos mencionar os trabalhos de Araújo *et al.* (2022), que analisaram os dados do ERA5-Land (ECMWF) para temperatura do ar no estado de Pernambuco; Aparecido *et al.* (2019), que avaliaram a acurácia dos dados do ERA-Interim (ECMWF) para temperatura do ar e precipitação no Paraná; e Lima e Alcântara (2019) que, além de avaliarem os dados de temperaturas máximas e mínimas, também investigaram índices climáticos extremos derivados de reanálises para o nordeste do Brasil.

Portanto, entende-se que a pesquisa proposta tem o potencial de gerar contribuições para o avanço do conhecimento sobre a confiabilidade dos dados de reanálise na obtenção de índices climáticos extremos, especialmente ao avaliar índices para extremos de temperatura do ar em uma região que até então foi pouco explorada em outras pesquisas. Ao mapear esses dados no território, a análise das tendências climáticas futuras para todas as regiões do estado poderá oferecer bases para a compreensão das variabilidades climáticas locais e regionais.

Sun *et al.* (2018) ressalta a importância de considerar a variabilidade espacial e temporal no desempenho dos conjuntos de dados climáticos de diversas fontes, o que reforça a relevância dos resultados esperados deste estudo. Ao elucidar as discrepâncias e correlações entre os índices climáticos da reanálise e as observações das estações meteorológicas, esta pesquisa pode contribuir para o aprimoramento contínuo dos dados de reanálise.

Além disso, o estudo promove uma análise regional das tendências relacionadas à temperatura do ar, fornecendo informações fundamentais para orientar decisões estratégicas tanto no setor público quanto privado. O aumento da resiliência do estado diante dos desafios climáticos futuros é um aspecto crucial que pode ser beneficiado pelas conclusões e recomendações resultantes da pesquisa, conforme apontado por Xu *et al.* (2022).

Dessa forma, o trabalho se propõe a contribuir para a base de conhecimento atual sobre o tema, podendo ter implicações práticas e relevantes para a gestão ambiental, planejamento urbano, agricultura, recursos hídricos e outras áreas que dependem de informações climáticas precisas e confiáveis para tomada de decisões informadas e estrategicamente embasadas.

1.4 QUESTÃO DE PESQUISA

Qual a confiabilidade dos dados de reanálise ERA5 e JRA-55 como fonte de dados para a avaliação dos extremos climáticos de temperatura do ar no estado do Paraná e suas tendências?

1.5 HIPÓTESE DE PESQUISA

A análise dos índices de extremos climáticos de temperatura do ar derivados dos programas de reanálise pode contribuir para os estudos relacionados às tendências climáticas para o estado do Paraná. A pesquisa tem como objetivo principal identificar conjuntos de dados confiáveis para a estimativa de eventos climáticos extremos. Adicionalmente, pretende-se que os resultados obtidos possam ser utilizados pelos programas de reanálise para aprimorar seus métodos de aquisição de dados, com potenciais repercussões positivas em pesquisas similares realizadas globalmente.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa se concentrará exclusivamente na avaliação da confiabilidade dos dados de reanálise derivados dos programas ERA5 e JRA-55. Adicionalmente, devido à relevância da posição geográfica, topografia e características climáticas específicas do estado do Paraná, os resultados e conclusões deste estudo serão estritamente aplicáveis à região em questão, sem extrapolá-los para outras áreas geográficas.

1.7 ESTRUTURA DA TESE

O Capítulo 1 inicia com a contextualização do tema, justificando sua relevância e necessidade de estudo, também destacando a lacuna no conhecimento. Ele define os objetivos principais e específicos, juntamente com as questões e hipóteses de pesquisa.

No Capítulo 2 é abordada a revisão bibliográfica, tratando de assuntos como

variabilidade climática, métodos de medição e coleta de dados de temperatura, descrição de estudos precedentes e os conhecimentos estatísticos essenciais para esta pesquisa.

O Capítulo 3 detalha a metodologia da pesquisa, delineando o processo a ser seguido pelo pesquisador para atingir os objetivos propostos. Por outro lado, o Capítulo 4 apresenta os resultados e discussões, com a compilação e apresentação clara dos dados ao leitor, seguida de uma análise aprofundada.

Finalmente, o Capítulo 5 expõe as principais conclusões desta pesquisa e propõe áreas para estudos futuros que possam aprofundar e expandir o conhecimento sobre o tema abordado.

1.8 DEFINIÇÃO DOS PRINCIPAIS TERMOS

Clima	Estado típico ou médio das condições atmosféricas de uma região ao longo de um período prolongado, geralmente de 30 anos (WMO, 2007).
Estação Meteorológica	Estação de solo provida de uma fonte de medição direta de elementos meteorológicos (WMO, 2023).
Índices de Extremos Climáticos	Variáveis quantitativas que avaliam a ocorrência, intensidade e duração de eventos climáticos extremos (Peterson <i>et al.</i> , 2001).
Mudanças Climáticas	Alterações significativas e de longo prazo nos padrões climáticos globais ou regionais (Marin; Assad; Pilau, 2008).
Resolução Espacial	Menor unidade de área que pode ser distinguida ou medida em um modelo (Sun <i>et al.</i> , 2018).
Série Temporal	Sequência de observações ou medições coletadas continuamente ao longo do tempo (Sun <i>et al.</i> , 2018).
Temperatura	Medida da energia cinética média associada ao movimento (vibração) aleatório das partículas que compõe um sistema num dado meio físico (Marin; Assad; Pilau, 2008).

Tempo	Refere-se às condições atmosféricas em um curto período e em uma localização específica (Pereira; Angelocci; Sentelhas, 2002).
Variabilidade Climática	Flutuações de um dado elemento climático em torno do valor médio ao longo de um período (Marin; Assad; Pilau, 2008).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

O clima do planeta é, basicamente, resultado do balanço de energia entre a recebida do sol, absorvida e refletida pela atmosfera, emitida pela superfície e absorvida pelos gases de efeito estufa (Haigh *et al.*, 2010). No entanto, o sistema é bastante complexo, envolvendo uma série de processos e interações entre os diversos componentes do sistema climático – atmosfera, hidrosfera, criosfera, litosfera e biosfera (Monteiro *et al.*, 2021).

De acordo com Hartmann (2016, p.9), a atmosfera é composta, majoritariamente, por nitrogênio, oxigênio e argônio, que correspondem à, respectivamente, 78,08%, 20,95% e 0,934% da composição do ar seco. Os gases atmosféricos que absorvem e emitem energia radiante compreendem menos de 1% da massa atmosférica. Em ordem de importância com relação à temperatura da superfície terrestre, tem-se o vapor d'água (H_2O_v), o dióxido de carbono (CO_2) e o ozônio (O_3), seguidos pelo metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e uma série de outros componentes.

Desta forma, devido à existência dos gases citados anteriormente, ocorre o efeito estufa, que é fundamental para a vida na Terra, pois é o fenômeno que permite que parte da radiação recebida pelo sol permaneça no planeta, mantendo a temperatura do ar em condições normais para habitabilidade. Sem este efeito, a temperatura média global seria em torno de 255 K (- 18 °C) (Hartmann, 2016, p.32),

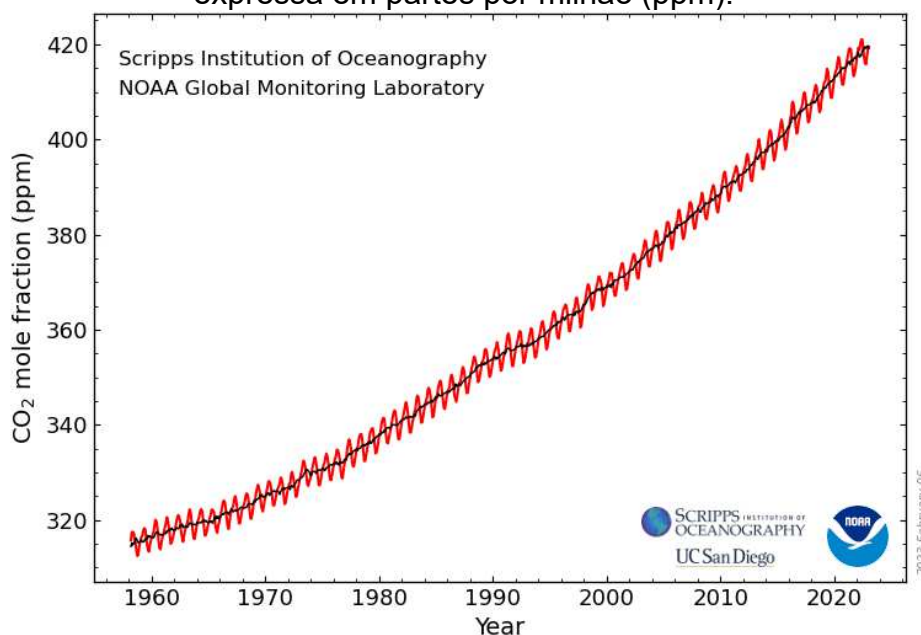
Para compreender melhor o efeito estufa, deve-se primeiramente entender como o planeta é aquecido pela energia solar. Em resumo, o sol emite energia em comprimentos de ondas curtas (< 3.000 nm). A atmosfera absorve cerca de 15% desta energia e outros 30% retornam ao espaço sideral, restando aproximadamente 55%, que atingem a superfície terrestre (Marin; Assad; Pilau, 2008). A superfície absorve essa radiação e, em seguida, emite energia de volta para a atmosfera na forma de radiação de comprimento de onda longo (> 3.000 nm), que é a radiação térmica ou infravermelha. Os gases de efeito estufa na atmosfera absorvem essa radiação de onda longa e reemitem parte dela de volta para a superfície, contribuindo para o aquecimento adicional da Terra e mantendo parte do calor na atmosfera (Mitchell,

1989).

Ocorre que, a partir da Revolução Industrial, observa-se o aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera, em especial do dióxido de carbono (CO₂). De acordo com Arias *et al* (2021), em 1850 a concentração estimada de CO₂ na atmosfera era de 286 ppm (partes por milhão), já em abril de 2024, o valor era de 426,57 ppm (GML/NOAA, 2024).

O *Mauna Loa Observatory*, localizado no Hawaii, fornece o registro mais longo de medições diretas de dióxido de carbono na atmosfera, com medições iniciadas em março de 1958, por C. David Keeling em uma instalação da Administração Oceânica e Atmosférica Nacional – NOAA, sigla em inglês (GML/NOAA, 2024). O gráfico da Figura 1 mostra toda a série histórica de medições do observatório, indicando, em vermelho, os valores médios mensais, centralizados no meio de cada mês e, em preto, os mesmos valores após correção para o ciclo sazonal médio.

Figura 1 - Variação da concentração de CO₂ na atmosfera, em fração molar expressa em partes por milhão (ppm).



Fonte: GML/NOAA (2024)

Tendo em vista que, na segunda metade do século XX, iniciaram-se muitas discussões e estudos climáticos, houve a criação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês), em 1988, pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, sigla em inglês) e Programa das Nações Unidas para

o Meio Ambiente (UNEP, sigla em inglês). Este painel tem como principal objetivo fornecer informações científicas para o poder público, por meio da compilação de diversas pesquisas realizadas em todo o mundo e apresentar os resultados compilados do que se sabe sobre os motores das mudanças climáticas, seus impactos e riscos futuros, e como a adaptação e mitigação podem reduzir esses riscos (IPCC, 2024).

Posteriormente, no final do século XX, em um *workshop* organizado pelo CLIVAR (Clima e Oceano: Variabilidade, Previsibilidade e Mudança), GCOS (Sistema Global de Observação do Clima) e WMO (Organização Meteorológica Mundial), em meio a diversos trabalhos regionais sobre extremos climáticos, a Equipe de Especialistas em Detecção e Índices de Mudanças Climáticas (ETCCDI, sigla em inglês) sugeriu a criação de métodos de identificação e análise de extremos climáticos, como tempestades, secas e ondas de calor. De acordo com os integrantes, esse esforço seria importante a fim de padronizar os índices para caracterizar esses eventos e monitorar as tendências climáticas (Karl; Nicholls; Ghazi, 1999).

Deste modo, alguns anos depois, Peterson *et al.* (2001) apresentaram os índices criados pela equipe, contemplando 27 índices de extremos climáticos, sendo 11 relacionados à precipitação e 16 à temperatura. Com relação à temperatura, os índices podem ser agrupados em várias categorias: a frequência (número de dias) em que os limiares percentuais são excedidos (TX90p, TN90p, TX10p, TN10p); os valores extremos em um período específico (TXx, TXn, TNx, TNn); a contagem de dias que excedem limiares específicos e fixos (SU, TR, FD, ID); as durações das ultrapassagens de limiares (WSDI, CSDI, GSL); e as amplitudes (DTR). Os referidos índices e suas definições podem ser observados no Quadro 2.

Além da criação dos índices citados, os esforços liderados pela WMO também se concentraram na obtenção e disponibilização de dados diários para todos os continentes. Necessidade evidenciada após a pesquisa realizada por Frich *et al.* (2002), que ao buscarem obter um conjunto de 10 índices de extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação para todo o globo, a partir de dados diários entre os anos de 1946 e 1999, tiveram que excluir diversas áreas do estudo, entre elas toda a região da América do Sul e da África, devido à falta de dados disponíveis.

Quadro 2 - Índices de Extremos Climáticos de Temperatura desenvolvidos pelo ETCCDI.

Índice	Nome	Descrição	Unidade
TXx	Dia mais quente	Valor máximo mensal ou anual da temperatura máxima diária	°C
TXn	Noite mais quente	Valor máximo mensal ou anual da temperatura mínima diária	°C
TNx	Dia mais frio	Valor mínimo mensal ou anual da temperatura máxima diária	°C
TNn	Noite mais fria	Valor mínimo mensal ou anual da temperatura mínima diária	°C
TX10p	Dias frios	Porcentagem de dias em que TX < percentil 10	%
TX90p	Dias quentes	Porcentagem de dias em que TX > percentil 90	%
TN10p	Noites frias	Porcentagem de dias em que TN < percentil 10	%
TN90p	Noites quentes	Porcentagem de dias em que TN > percentil 90	%
DTR	Amplitude térmica diária	Diferença mensal ou anual média entre TX e TN	°C
GSL	Duração de crescimento de estação	Quantidade de dias no ano entre um período de 6 dias consecutivos com temperatura média (TG) > 5 °C e o primeiro período de 6 dias consecutivos com TG < 5 °C	Dias
ID	Dias congelantes	Quantidade anual de dias em que TX < 0 °C	Dias
FD	Dias de geada	Quantidade anual de dias em que TN < 0 °C	Dias
SU	Dias de verão	Quantidade anual de dias em que TX > 25 °C	Dias
TR	Noites tropicais	Quantidade anual de dias em que TN > 20 °C	Dias
WSDI	Índice de duração de onda quente	Quantidade anual de 6 dias em que TX > percentil 90	Dias
CSDI	Índice de duração de onda fria	Quantidade anual de 6 dias em que TN < percentil 90	Dias

Fonte: Adaptado de Peterson *et al.* (2001).

Diante deste cenário, um esforço global, coordenado pela WMO, WCRP e CLIVAR, criou um grupo de especialistas que realizou inúmeros *workshops* com objetivo de apresentar os benefícios dos índices criados pelo ETCCDI e reforçar a necessidade do compartilhamento dos dados de precipitação e temperatura do ar. Isso possibilitou que novas pesquisas fossem desenvolvidas e, com isso, os resultados obtidos por tais pesquisas pudessem ser comparados, resultando na criação de uma base de dados global de informações relativas aos estudos climáticos (Peterson, 2005).

Portanto, a partir deste momento, diversos trabalhos têm sido realizados buscando identificar padrões de tendências na temperatura do ar e precipitação de uma região e, por meio de modelos estatísticos, realizar previsões das tendências futuras para a área estudada. Tais iniciativas são importantes, pois a existência, e posterior unificação, de diversos estudos nesta linha irão contribuir para o melhor entendimento do clima global e regional.

2.2 MENSURAÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA DO AR

A fim de monitorar as condições climáticas são necessárias séries de dados, que podem ser obtidas a partir de três fontes: medidas “*in situ*” (de estações meteorológicas), satélites e modelos estimados baseados em leis da física, como produtos de reanálise, que combinam modelos de previsões numéricas meteorológicas recentes com dados observados (Lavers *et al.*, 2022).

De modo geral, observações baseadas em medidores são coletadas por serviços meteorológicos nacionais e, para padronização de pesquisas e fornecimento de dados globais, faz-se necessário reunir todos os dados em um conjunto global (Sun *et al.*, 2018). Neste sentido, o GCOS (Sistema Global de Observação do Clima), fundado em 1992, vem para atender esta demanda e disponibilizar os dados gratuitamente para todas as nações (GCOS, 2024). Já, as medições indiretas, obtidas por satélites ou por reanálises são disponibilizadas pelos programas que controlam tais missões.

Nos próximos sub-capítulos serão descritas, em maiores detalhes, cada uma das formas de obtenção de dados de temperatura do ar.

2.2.1 Estações meteorológicas

As estações meteorológicas têm como principal objetivo a realização de observações precisas e representativas, por meio de instrumentos adequados, mantendo os equipamentos, a documentação de metadados e os locais de observação em bom estado (WMO, 2023).

Neste sentido, é importante que os instrumentos de mensuração dos fenômenos meteorológicos tenham confiabilidade e estabilidade, adequada calibração, manutenção periódica, simplicidade, durabilidade, custo aceitável e disponibilidade de peças de manutenção e segurança na operação (WMO, 2023).

As estações meteorológicas podem ser divididas em dois grandes grupos, as estações convencionais e automáticas. A diferença fundamental é que uma estação convencional necessita do trabalho de um observador meteorológico para registrar os dados, com observações em vários períodos do dia para anotação das variáveis meteorológicas observadas. Por outro lado, nas estações automáticas, as variáveis são registradas eletronicamente e enviadas a uma central via tecnologia de satélites ou telefonia celular (IDR/PR, 2024).

Conforme a ISO 19.289 (ISO, 2015), as estações meteorológicas podem ser divididas em cinco classes, que irão variar conforme o relevo do local instalado, a altura da vegetação, a proximidade das construções, parques, lagos, entre outros fatores. As medições mais confiáveis são oriundas de estações classes 1 e 2, uma vez que registros provenientes de estações das classes 3, 4 e 5 possuem incertezas estimadas em 1 °C, 2 °C e 5 °C, respectivamente. Em função disso, a WMO (2023) recomenda que sejam mantidos registros, não apenas dos dados de temperatura, mas também das circunstâncias em que as medições são realizadas, são os chamados metadados. Maiores detalhes a respeito das especificações para cada classe de estação meteorológica podem ser verificados no Quadro 3.

Os termômetros são os instrumentos utilizados frequentemente para medição de temperatura. Tais equipamentos, ao serem colocados em contato com algum objeto, atingem a mesma temperatura que ele. Assim, a temperatura do objeto pode ser inferida a partir da temperatura do próprio termômetro (WMO, 2023).

Historicamente, os termômetros adotados em estações meteorológicas eram constituídos por mercúrio em vidro, porém, a partir de agosto de 2017, com a Convenção de Minamata sobre Mercúrio, do Programa das Nações Unidas para o

Meio Ambiente (UNEP, sigla em inglês), foi proibida toda a produção, importação e exportação de instrumentos de observação contendo mercúrio (UNEP, 2017). Por isso, a WMO (2023) recomenda o uso de termômetros eletrônicos digitais, que devido aos avanços tecnológicos, tornaram-se uma alternativa econômica, precisa e confiável contra seus antecessores à base de mercúrio e podem oferecer outras vantagens significativas em termos de armazenamento de dados e exibição de dados em tempo real.

Quadro 3 - Classes de Estações Meteorológicas.

Classe	Terreno	Altura da Vegetação	Afastamento de Fonte de Calor ou Superfície Refletora	Afastamento de Extensão de Água	Ângulo livre de sombra projetada
1	Plano, cercado por um espaço aberto, com declividade inferior a 19°.	< 10 cm	> 100 metros	> 100 metros	5°
2	Plano, cercado por um espaço aberto, com declividade inferior a 19°.	< 10 cm	> 30 metros	> 30 metros	7°
3	-	< 25 cm	> 10 metros	> 10 metros	7°
4	-	-	(I) ou (II)	-	20°
5	Local que não atende aos requisitos da classe 4.				

Observações:

(I) Menos de 50% da superfície dentro de um raio de 10 m ao redor da tela

(II) Menos de 30% da superfície dentro de um raio de 3 m ao redor da tela

Fonte: adaptado de WMO (2023)

Para fins meteorológicos, a temperatura pode ser mensurada em vários meios, como a temperatura do solo, do solo subsuperficial, da água doce ou salgada e, mais comumente, a temperatura do ar, que, de acordo com a WMO (1992), pode ser definida como "a temperatura indicada por um termômetro exposto ao ar em um local protegido da radiação solar direta". Esta variável pode ser expressa em graus Celsius (°C), graus Fahrenheit (°F) ou kelvin (K), adequando-se a realidade de cada país ou

cultura.

Quanto à instalação, a ISO 19.289 (ISO, 2015) prescreve que os termômetros equipados nas estações meteorológicas devem estar entre 1,25 e 2,0 metros de altura e possuir capacidade para leitura em um intervalo de -80 °C a 60 °C, que é o intervalo de temperatura do ar de interesse meteorológico, com resolução de 0,1 °C.

Portanto, os dados provenientes das estações meteorológicas constituem-se em uma fonte direta de mensuração de elementos meteorológicos que, se bem operados, fornecem dados pontuais bastante confiáveis. No entanto, devido à característica de medição pontual, o uso destes dados é limitado devido à baixa densidade de estações em muitas regiões do planeta, além dos erros relacionados à falta de dados e incertezas relacionadas à calibragem dos equipamentos ou falha de leitura do operador responsável (Valeriano *et al.*, 2019).

Desta forma, a identificação e remoção das discrepâncias das séries históricas provenientes das estações meteorológicas, por meio de procedimentos de homogeneização e preenchimento de falhas, são essenciais antes de realizar estudos climáticos (WMO, 2023).

2.2.2 Satélites

Conforme mencionado anteriormente, devido à grande variabilidade da temperatura sobre a superfície terrestre e às características de medições pontuais das estações meteorológicas, torna-se complexo o fornecimento de valores de temperatura sobre áreas extensas e com poucas estações (Valeriano *et al.*, 2019). Neste sentido, com o desenvolvimento do sensoriamento remoto a partir do espaço, os dados de satélite passaram a oferecer uma possibilidade única de mensurar a temperatura da superfície terrestre globalmente, com resolução temporal suficientemente alta e com valores médios espacialmente completos em vez de valores pontuais (Li *et al.*, 2013).

Deste modo, os satélites, por meio de sensores, podem mensurar diversos parâmetros atmosféricos em intervalos regulares de tempo, fornecendo informações de elementos meteorológicos globais e homogêneos (Sun *et al.*, 2018).

De acordo com Li *et al.* (2013), a temperatura da superfície terrestre obtida mediante sensoriamento remoto se dá por meio dos satélites equipados com instrumentos que conseguem mensurar a radiação térmica emitida pela superfície

terrestre na faixa do infravermelho. Desta forma, a partir de técnicas e algoritmos que convertem dados brutos de radiação detectados pelos sensores, a temperatura do ar é determinada.

O Quadro 4 fornece uma lista dos principais instrumentos e missões de satélites globais que fornecem dados da temperatura do ar a partir de sensoriamento remoto.

Quadro 4 - Instrumentos e satélites que mensuram a temperatura da superfície terrestre.

Instrumento	Satélites	Resolução Espacial	Período de Revisita	Intervalo compreendido
MODIS	Terra /Aqua	1 km	1 a 2 dias	2000-2024
AVHRR	NOAA-6 a NOAA-19	1,1 km	1 dia	1980-2024
TM / ETM / TIRS	Landsat-4 a Landsat-8	30 m	16 dias	1983-2024
SLSTR	Sentinel-3	1 km	27 dias	2019-2024

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2024).

2.2.3 Reanálises

Os produtos de reanálise meteorológica começaram a ser desenvolvidos nos anos 90, a partir de uma iniciativa do Centro Nacional de Proteção Ambiental (NCEP, sigla em inglês) e do Centro Nacional para Pesquisas Atmosféricas (NCAR, sigla em inglês), motivados pelas crescentes pesquisas relacionadas às mudanças climáticas (Kalnay *et al.*, 1996).

As reanálises são conjuntos de dados climáticos gerados ao combinar dados observacionais com modelos numéricos semelhantes aos usados para previsões do tempo (Dunn; Donat; Alexander, 2022). Esses sistemas mesclam observações irregulares com modelos que abrangem muitos processos físicos e dinâmicos, gerando dados sintetizados de fenômenos atmosféricos, com grade uniforme, homogeneidade espacial e continuidade temporal (Sun *et al.*, 2018).

Os programas de reanálise possuem um modelo de previsão de fundo e um procedimento de assimilação de dados. As observações assimiladas no sistema de reanálise, as parametrizações do modelo e as interações complexas entre o modelo e as observações influenciam a previsão subsequente de fenômenos meteorológicos geradas pelo sistema (Bosilovich *et al.*, 2008).

Portanto, a reanálise é o uso de leis físicas para combinar dados de modelos com dados observacionais de todo o mundo, formando, em última análise, um conjunto de dados globalmente completo e consistente (Liu *et al.*, 2024).

Atualmente, existe uma ampla variedade de produtos de reanálise desenvolvidas por diversos centros de pesquisas meteorológicas, sendo a maioria deles atualizada frequentemente (Dunn; Donat; Alexander, 2022). A relação dos programas de reanálise com abrangência global, que fornecem dados de temperatura do ar e contemplam o objeto de estudo deste trabalho estão descritos no Quadro 5.

Quadro 5 - Programas de reanálise que apresentam dados de temperatura do ar.

Nome	Resolução Espacial	Intervalo compreendido	Fonte	Referência
20CRv3	1 x 1°	1980 - 2024	NOAA PSL	Slivinski <i>et al.</i> , 2019
CFSR	0,5 x 0,5°	1979 - 2011	NCAR - RDA	Saha <i>et al.</i> , 2010
ERA5	0,25 x 0,25°	1940 - 2024	Copernicus CDS	Hersbach <i>et al.</i> , 2020
JRA-55	0,56 x 0,56°	1958 - 2024	JMA	Kobayashi <i>et al.</i> , 2015
NCEP1	2,5 x 2,5°	1948 - 2024	NCEP / NCAR	Kalnay <i>et al.</i> , 1996
NCEP2	2,5 x 2,5°	1979 - 2024	NCEP / NCAR	Kanamitsu <i>et al.</i> , 2002
MERRA2	0,625 x 0,5°	1980 - 2024	NASA GES DISC	Gelaro <i>et al.</i> , 2017

Fonte: o próprio autor.

Sabendo que estudos relacionados à extremos e variabilidade climática demandam longas séries temporais e alta resolução espacial (Lei *et al.*, 2022), dentre os programas citados, os que possuem maior série temporal são o ERA5, o NCEP1 e o JRA-55, com dados de temperatura do ar fornecidos a partir de 1940, 1948 e 1958, respectivamente (Hersbach *et al.*, 2020; Kanamitsu *et al.*, 2002; Kobayashi *et al.*, 2015), ou seja, os três programas citados contemplam, ao menos um período de 65 anos de dados.

Além disso, diferentemente do ERA5 e JRA-55, que são os programas a serem analisados neste estudo, o NCEP1 possui baixa resolução espacial (2,5 x 2,5°), portanto, ele não é recomendado para utilização em áreas pequenas, tendo em vista que iria contemplar a área de estudo com poucos pontos e, conseqüentemente,

poucas observações.

De modo geral, as principais diferenças entre os valores apresentados pelas diversas reanálises têm relação com a fonte das observações assimiladas no sistema, as parametrizações do modelo e as interações entre o modelo e as observações (Bosilovich *et al.*, 2008). Deste modo, como cada reanálise possui seu próprio modelo numérico, as estimativas de cada programa apresentam diferenças entre si, levando à realização de diversos estudos de comparação entre os dados oriundos destes programas (Limberger; Silva, 2018).

A seguir serão apresentados, em maiores detalhes, os programas de reanálise avaliados neste estudo, o ERA5 e o JRA-55.

2.2.3.1 ERA5

O ERA5 é a quinta versão da reanálise atmosférica desenvolvida pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas a Médio Prazo (ECMWF – sigla em inglês), cobrindo um período entre 1940 e os dias atuais, substituindo a reanálise ERA-Interim, que fornecia dados a partir de 1979. Esta reanálise fornece estimativas horárias para um grande número de variáveis atmosféricas, de ondas oceânicas e de superfície terrestre e é atualizado diariamente, com uma latência de 5 dias (COPERNICUS, 2024).

De acordo com Hersbach *et al.* (2020), o ERA5 integra dados obtidos por satélites, estações meteorológicas, radares, pluviômetros, escaterômetros e altímetros para acoplá-los no modelo de previsão numérica Sistema Integrado de Previsão (IFS – sigla em inglês) Cy41r2, que apresenta melhorias em todos os seus componentes em comparação ao seu antecessor, o IFS Cy31r2, que era utilizado no ERA-Interim. Portanto, a reanálise incorpora melhorias na assimilação de dados, ao adotar o sistema híbrido incremental 4D-Var, descrito por Bonavita *et al.* (2016), e inclui um componente de conjunto para estimar a incerteza, permitindo uma melhor compreensão e avaliação das previsões e reanálises climáticas.

Ainda segundo Hersbach *et al.* (2020), no que diz respeito à temperatura do ar, o ERA5 tem uma abordagem mais avançada e detalhada em comparação ao seu antecessor, incorporando melhorias significativas em vários aspectos do sistema de modelagem, desde a representação das nuvens e radiação até a correção de erros

numéricos, proporcionando estimativas de temperatura do ar mais precisas e confiáveis. Desempenho evidenciado por estudos posteriores (Betts; Chan; Desjardins, 2019; Lima; Alcântara, 2019; Balmaceda-Huarte et al, 2021) que ao avaliar estimativas de temperatura do ar provenientes do ERA-Interim e ERA5 para a mesma região obtiveram melhores correlações com as estações meteorológicas usando os registros do ERA5.

O ERA5 fornece dados com grade regular de latitude e longitude de 0,25° contando com produtos horários e mensais, ambos em vários níveis de pressões atmosféricas (campos atmosféricos superiores) ou em níveis únicos (variáveis atmosféricas, superficiais e ondas oceânicas) (COPERNICUS, 2024). Tais dados podem ser obtidos em formatos GRIB ou NETCDF (.ncdf) acessando os endereços eletrônicos do Armazenamento de Dados Climáticos (CDS – sigla em inglês) do programa Copernicus ou do Arquivamento de Dados de Pesquisa (RDA – sigla em inglês) do Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas (NCAR – sigla em inglês).

2.2.3.2 JRA-55

O JRA-55, Reanálise Japonesa de 55 Anos, é a segunda reanálise atmosférica global produzida pela Agência Meteorológica do Japão (JMA – sigla em inglês), abrangendo o período compreendido entre 1958 e os dias atuais. De acordo com Kobayashi *et al.* (2015), o principal objetivo da JRA-55 é produzir um conjunto de dados atmosféricas abrangentes, adequado para estudos climáticos.

O conjunto de dados utilizados pela JRA-55 consiste, basicamente, nos usados na reanálise ERA-40 da ECMWF, que abrangem uma ampla variedade de dados de estações meteorológicas, satélites, radares, entre outros (Uppala *et al.*, 2005) e das arquivadas pela JMA, além de dados eventuais do NCEP/NCAR para complementar dados faltantes do ERA-40 para o ano de 1979 e registros de profundidades de neve fornecidos por órgãos de pesquisa da Rússia, EUA e Mongólia. A assimilação dos dados é realizada pelo sistema operacional TL319, que foi aprimorado desde a versão anterior da reanálise japonesa, JRA-25, que englobava um período de 25 anos, ao incluir os esquemas de radiação de ondas longas revisados 4D-Var e VarBC para radiancias de satélite (Kobayashi *et al.*, 2015).

Quanto aos registros de temperatura do JRA-55, Kobayashi *et al.* (2015) explica

que estimativas atualizadas de vieses para homogeneizar as temperaturas de radiossondas e avanços no manuseio das radiâncias de satélite trouxeram avanços significativos na consistência temporal da análise de temperatura, possuindo melhor desempenho em relação à reanálise anterior (JRA-25).

Os registros provenientes do JRA-55 podem ser obtidos por meio do Sistema de Integração e Análise de Dados (DIAS – sigla em inglês) da JMA ou pelo Arquivamento de Dados de Pesquisa (RDA – sigla em inglês) do Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas (NCAR – sigla em inglês), ambos em formato GRIB ou NETCDF (.ncdf).

2.3 CONFIABILIDADE DOS DADOS ATMOSFÉRICOS OBTIDOS POR MEDIÇÕES INDIRETAS

Conforme mencionado anteriormente, os dados medidos pelas estações meteorológicas são tidos como referência (Al-Sakkaf *et al.*, 2024; Zhu e Zhao, 2023; Zhao *et al.*, 2023; Xu *et al.*, 2022; Balmaceda-Huarte *et al.*, 2021; Rusticucci e Zazullie, 2021; Avila-Diaz *et al.*, 2020; Aparecido *et al.*, 2019). Portanto, as medições indiretas, que incluem dados de satélites e reanálises devem ser validadas antes da utilização nas mais diversas pesquisas relacionadas ao clima.

Neste sentido, em todo o mundo, vários autores têm realizado pesquisas que buscam comparar os mais diversos dados de medições indiretas com as medições diretas, a fim de validar e, posteriormente, utilizar os conjuntos de dados fornecidos pelas fontes indiretas (satélites ou reanálises). Como este trabalho se propõe a avaliar os dados de temperatura do ar obtidos por reanálise, serão descritas posteriormente as pesquisas que objetivaram analisar os dados obtidos por reanálise, utilizando como referência os dados das estações meteorológicas pontuais ou interpolados em grades.

No âmbito global, Dunn, Donat e Alexander (2022) compararam valores de temperatura do ar e índices de extremos de temperatura oriundos dos conjuntos de dados de seis reanálises diferentes (20CRv3, CFSR, ERA5, JRA-55, NCEP2 e MERRA2), utilizando como referência o conjunto de dados em grade interpolados de estações meteorológicas HadEX3 para o período de 1980 a 2018. Eles observaram que, enquanto os valores absolutos das temperaturas máximas e mínimas variavam entre os conjuntos de dados, as médias anuais ajustadas para as anomalias em relação ao período de referência de 1981 a 2010 mostraram consistência geral. Isso

sugere que, apesar de variações nos dados brutos, os conjuntos de dados capturaram tendências climáticas semelhantes ao longo do tempo, fortalecendo a confiabilidade das interpretações sobre a variabilidade climática e suas projeções futuras, uma vez que múltiplas fontes de dados corroboram essas tendências gerais.

Ainda com relação ao estudo de Dunn, Donat e Alexander (2022), para os índices de temperatura do ar, os coeficientes de correlação médios são altos com valores superiores a 0,8. No entanto, os autores salientam que regiões com correlações mais baixas podem ser observadas em áreas com baixas densidades de estações, como a América do Sul, África e regiões com altas altitudes, como a Cordilheira dos Andes e o Himalaia.

Na China, You *et al.* (2013) avaliaram 20 índices de extremos climáticos de temperatura obtidos a partir das reanálises NCEP/NCAR e ERA-40 (ECMWF), tendo como referência os dados de 303 estações meteorológicas. O intervalo temporal adotado foi de 1958 a 2011. De modo geral, os autores obtiveram bons resultados, com coeficientes de correlação acima de 0,66 para todos os índices de ambos os programas, com exceção da amplitude térmica diária (DTR), que ao ser obtido pelo NCEP/NCAR não mostrou resultados satisfatórios, com coeficiente de correlação igual a -0,47.

Em outro estudo realizado no território chinês, Xu *et al.* (2022) observaram que os dados do ERA5 podem reproduzir bem as temperaturas médias, máximas e mínimas do ar ao obterem coeficientes de correlação médios de 0,84; 0,85 e 0,72, respectivamente. No que diz respeito aos extremos climáticos, os autores concluíram que o ERA5 performou bem ao simular índices absolutos de temperatura extrema (TXx e TNx) e índices baseados em percentis (TX10p, TX90p, TN10p e TN90p), ou seja, foi bem ao avaliar intensidade e frequência de eventos extremos de temperatura. No entanto, a capacidade desta reanálise em estimar a duração de extremos de temperatura desapontou, pois ele superestimou os índices CSDI (Índice de duração de onda fria) e WSDI (Índice de duração de onda quente).

No Planalto Mongol, região que abrange parte do território da Mongólia e da China, Zhao *et al.* (2023), avaliaram as temperaturas máximas, mínimas e média do ar, bem como os índices de extremos climáticos de temperatura, obtidas por 17 estações meteorológicas com os valores provenientes do ERA5-Land. Os resultados demonstraram coeficientes de correlação de 0,99 para temperaturas máximas e mínimas, respectivamente, indicando que o ERA5-Land pode capturar muito bem as

temperaturas diárias do ar. No entanto, ao avaliar a distância entre os dados observados e estimados (DISO, sigla em inglês), foi possível observar que a habilidade em capturar temperaturas máximas é melhor do que as mínimas e médias para o ERA5-Land.

Ainda na região do Planalto Mongol, Zhu e Zhao (2023) encontraram coeficiente de correlação igual a 1,0 para temperatura do ar ao comparar os dados do ERA5 com 134 estações meteorológicas. Este estudo ainda apresenta outras métricas, como o viés médio (MB, sigla em inglês) de 1,41 °C e -0,17 °C para temperaturas máximas e mínimas, respectivamente, a raiz do erro quadrático médio (RMSE, em inglês), variando entre 1,55 °C para temperatura máxima e 0,68 °C para temperatura mínima.

Na Índia, Kumar, Chanda e Pasupuleti (2020) compararam os índices de extremos climáticos de temperatura obtidos a partir de um conjunto de dados de referência do Departamento de Meteorologia da Índia (IMD, sigla em inglês), ao obter uma grade com resolução de 1° x 1°, a partir de interpolação derivada de 395 estações meteorológicas que passaram por controle de qualidade, com os dados obtidos do Centro de Previsão Climática (CPC, sigla em inglês) para o período entre 1971 e 2013. De modo geral, observaram que as tendências de extremos climáticos de temperatura obtidas a partir dos dados do CPC estão de acordo com as obtidas pelo IMD, observando um aumento significativo de dias quentes por ano em 14% das estações da região de estudo, enquanto o número de dias frios, noites quentes e noites frias por ano diminuiu significativamente em 42%, 34% e 39% das estações, respectivamente.

Nas Ilhas Canárias, Pérez *et al.* (2022) obtiveram coeficiente de correlação acima de 0,98 para os índices extremos TXx (dia mais quente) e TNn (noite mais fria), ao comparar as saídas de simulação de modelos do Centro de Pesquisa e Previsão Meteorológica (WRF – sigla em inglês), alimentados com dados da reanálise ERA-Interim com dados de oito estações meteorológicas do Conjunto de Avaliação e Dados Climáticos Europeus (ECAD, sigla em inglês).

Por fim, tem-se os estudos mais recentes, que já consideram os dados de reanálise validados, devido às pesquisas realizadas anteriormente na mesma região de estudo e, por isso, não fazem nenhum tipo de verificação. É o caso de Al-Sakkaf *et al.* (2024), que analisaram a Península Arábica e obtiveram os índices de extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação a partir da série de dados do ERA-5

com intervalo entre 1951 a 2020, uma vez que estudos anteriores (Fonseca *et al.*, 2022; Odnoletkova; Patzek, 2021) haviam apresentados bons resultados para a região estudada ao utilizar o conjunto de dados provenientes do ERA-5.

Na América do Sul, Balmaceda-Huarte *et al.* (2021) avaliaram os dados médios e extremos de precipitação e temperatura do ar obtidos pelos programas de reanálise ERA-Interim, ERA-5, JRA-55, NCEP1 e NCE2, tendo dados pontuais de 232 estações meteorológicas como referência. Para os valores médios de temperaturas mínimas e máximas diárias do ar, os coeficientes de correlação foram bons, com valores variando entre 0,7 e 0,9, a depender da reanálise observada.

Rusticucci e Zazulie (2021), em estudo que contempla a porção sul da América do Sul, englobando as regiões centro-oeste, sul e parte do sudeste do Brasil, avaliaram reanálises e modelos climáticos globais acoplados do CMIP5 (Fase 5 do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados) para América do Sul, porém diferentemente de Balmaceda-Huarte *et al.* (2021) que adotaram estações pontuais como referência, neste estudo os autores utilizaram dados em grade, provenientes do HadEX2. De modo geral, toda a região apresentou aumento nas noites quentes (TR), número de dias em que a temperatura mínima diária excedeu 20°C, com aumento significativo na região sul do Brasil.

No Brasil, Dufek, Ambrizzi e Rocha (2008) compararam os índices de extremos de temperatura (TX10p, TX90p, TN10p, TN90p) derivados dos dados de temperatura do ar do programa de reanálise NCEP1 com 28 estações meteorológicas distribuídas pelo território brasileiro, para o período compreendido entre 1961 e 1990. Os resultados mostraram correlações positivas para todos os índices avaliados com coeficiente de correlação variando de 0,30 a 0,80 a depender da estação analisada.

Avila-Diaz *et al.* (2020), também em estudo realizado no território brasileiro, analisaram eventos climáticos extremos nas últimas quatro décadas (1980–2016) usando vários conjuntos de dados de observação e reanálises em grade (ERA5, GMFD e MSWEP). Ao comparar os resultados obtidos pelo parâmetro de referência, grade de dados (OBS-BR) observacionais proposto por Xavier, King e Scanlon (2016) com as reanálises, observaram que o ERA5 apresentou melhor desempenho em comparação aos outros programas de reanálise na captura dos padrões espaço-temporais de extremos climáticos históricos. De qualquer forma, a maioria dos conjuntos de dados mostraram padrões de aquecimento estatisticamente significativos para índices de extremos quentes (TXx, TX90, TN90 e WSDI) e frios

(TNn, TX10 e TN10) em quase todas as regiões brasileiras.

Em relação às pesquisas regionais no território brasileiro, alguns estudos foram conduzidos com o objetivo de avaliar dados de temperatura do ar provenientes de reanálises em comparação com dados de estações meteorológicas (Araújo *et al.*, 2022; Lima e Alcântara, 2019; Aparecido *et al.*, 2019; Natividade; Garcia; Torres, 2017).

Araújo *et al.* (2022), ao avaliarem dados do ERA5-Land para o período compreendido entre 2011 e 2020 para o estado de Pernambuco, encontraram coeficientes de correlação variáveis entre 0,98 para o município de Ibimirim e 0,57 para Caruaru, mostrando acentuada variação entre os municípios que se encontram a uma distância aproximada de 190 quilômetros.

No estado do Paraná, Aparecido *et al.* (2019) em uma análise sazonal, visaram determinar a acurácia de dados decendiais de temperatura média do ar, oriundos da reanálise ERA-Interim, quando comparados com 399 estações meteorológicas controladas pelo SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná) e INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Os autores observaram altos coeficientes de correlação de 0,97 (verão e outono) e 0,98 (inverno e primavera) e RMSE variando entre 0,51 (verão e inverno) a 0,79 (inverno).

Portanto, de modo geral, os estudos regionais no Brasil que utilizaram estimativas provenientes dos programas de reanálise se concentraram em avaliar apenas os dados de temperatura máxima, mínima e média, em função do próprio objetivo dos estudos, que não contemplavam a obtenção de índices de extremos climáticos (Araújo *et al.*, 2022; Aparecido *et al.*, 2019) ou da grande descontinuidade dos dados das estações meteorológicas, que impediram a obtenção de tendências para os índices (Natividade, Garcia; Torres, 2017). A exceção é a pesquisa de Lima e Alcântara (2019) que, além de avaliarem os dados de temperatura máximas e mínimas, também analisaram os índices climáticos extremos derivados dos programas de reanálise ERA-Interim, NCEP1 e CFSR para o período compreendido entre 1996 e 2016, quando comparados aos dados de 36 estações meteorológicas distribuídas na região nordeste do Brasil. Os resultados mostraram melhores correlações para temperaturas altas (TX) quando comparados com temperaturas baixas (TN) para as três reanálises avaliadas, com valor máximo de 0,81 para o TXx, no ERA-Interim, e mínimo de 0,37 para o TNn, no NCEP1.

2.4 MÉTRICAS ESTATÍSTICAS

Para a avaliação e validação entre dados observados e estimados, é necessário aplicar métricas estatísticas que quantifiquem as variáveis de interesse. Essas métricas ajudam a determinar a acurácia das estimativas em relação aos dados observacionais.

De acordo com Moriasi *et al.* (2007), é crucial adotar várias métricas estatísticas para a avaliação e validação de dados observados e estimados, pois cada métrica oferecerá uma perspectiva diferente sobre a acurácia dos modelos. Deste modo, ao utilizar múltiplas métricas, é possível obter uma visão mais abrangente e robusta do desempenho do modelo.

Muitos estudos relativos a avaliação de dados climáticos obtidos por fonte duvidosa em relação a uma referência adotam as seguintes métricas: Coeficiente de Correlação ou Correlação de Pearson – CC (Zhu e Zhao, 2023; Zhao *et al.*, 2023; Xu *et al.*, 2022; Balmaceda-Huarte *et al.*, 2021; Avila-Diaz *et al.*, 2020; Aparecido *et al.*, 2019), Viés Relativo - RB (Zhao *et al.*, 2023; Xu *et al.*, 2022), média do erro absoluto – MAE (Zhao *et al.*, 2023; Xu *et al.*, 2022; Aparecido *et al.*, 2019) e a raiz do erro quadrático médio – RMSE (Zhu e Zhao, 2023; Xu *et al.*, 2022; Balmaceda-Huarte *et al.*, 2021; Aparecido *et al.*, 2019). Além das métricas citadas, trabalhos mais recentes que avaliam índices de extremos climáticos têm adotado a distância entre índices de simulação e observação – DISO (Zhao *et al.*, 2023; Lei *et al.*, 2022; Xu *et al.*, 2022).

Os próximos sub-capítulos irão abordar as métricas utilizadas nesta pesquisa.

2.4.1 Coeficiente de correlação (CC)

O coeficiente de correlação, apresentado pela Equação (1), apresenta uma medida numérica entre o grau de concordância, ou similaridade, entre duas variáveis. De modo geral, esta métrica expressa o quanto uma série de dados concorda com a outra, possuindo intervalo que varia entre “-1” (completamente não correlacionado) e “1” (completamente correlacionado).

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (EST_i - \overline{EST}) (OBS_i - \overline{OBS})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (EST_i - \overline{EST})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (OBS_i - \overline{OBS})^2}} \quad (1)$$

Onde:

CC: coeficiente de correlação;

OBS: variável observada;

EST: variável estimada;

n: número de dados.

Dentre os trabalhos referenciados no capítulo anterior, o estudo de Zhu e Zhao (2023) foi o que obteve melhor coeficiente de correlação entre dados fornecidos pelo ERA5 e dados de estações meteorológicas, resultado em CC igual a 1, indicando que o ERA5 consegue fornecer dados completamente correlacionados com os das estações meteorológicas para a região estudada.

2.4.2 Viés relativo (RB)

O viés relativo (RB, sigla em inglês) é uma métrica estatística utilizada para avaliar a diferença relativa entre dois conjuntos de dados e pode ser expresso pela Equação (2), que irá calcular a diferença relativa entre os valores previstos e observados, normalizada pelos valores observados. Desta forma, o valor final é expresso como uma porcentagem.

$$RB = \frac{\sum_{i=1}^n (EST_i - OBS_i)}{\sum_{i=1}^n OBS_i} * 100 \quad (2)$$

Onde:

RB: viés relativo, em porcentagem;

OBS: variável observada;

EST: variável estimada.

n: número de dados.

Neste sentido, o valor ideal será igual a zero, indicando que não existe viés entre os valores previstos e observados. Se o RB for positivo indicará que os valores previstos tendem a ser maiores que os observados, enquanto o RB negativo indica que os valores previstos tendem a ser menores do que os valores observados.

2.4.3 Viés (BIAS)

É uma métrica similar ao RB, porém enquanto o RB mede o viés relativo entre os valores, o BIAS mede o viés absoluto, conforme apresentado pela Equação (3). Portanto, ele não divide a diferença dos valores simulados e observados pelo valor observado. Desta forma, seus resultados podem variar entre “ $-\infty$ ” e “ $+\infty$ ”, sendo que quanto mais próximo de zero, melhor será a relação entre os dados.

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (EST_i - OBS_i) \quad (3)$$

Onde:

RB: viés relativo, em porcentagem;

OBS: variável observada;

EST: variável estimada.

n: número de dados.

2.4.4 Raiz do erro quadrático médio (RMSE)

A raiz do erro quadrático médio (RMSE, sigla em inglês) é uma métrica usada para avaliar a acurácia de um modelo de previsão ou de ajuste em relação aos dados observados. Ela é apresentada pela Equação (4), que basicamente irá medir a diferença entre os valores previstos pelo modelo e os valores reais observados, levando em consideração a magnitude desses erros. Basicamente, o RMSE eleva o BIAS à segunda potência para, posteriormente, aplicar a raiz quadrada ao valor encontrado.

O intervalo de RMSE varia de 0 a “ ∞ ”. Neste sentido, é desejável a obtenção de valores baixos, pois quanto menor o resultado, melhor será a capacidade de um modelo em prever os dados observados.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (EST_i - OBS_i)^2} \quad (4)$$

Onde:

RB: viés relativo, em porcentagem;

OBS: variável observada;

EST: variável estimada.

n: número de dados.

2.4.5 Erro absoluto médio (MAE)

O erro absoluto médio (MAE, sigla em inglês), conforme exibido pela Equação (5), representa a média das diferenças absolutas entre os valores previstos e observados, ou seja, ele irá quantificar a média dos erros absolutos entre as variáveis, medindo a acurácia de um modelo.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |EST_i - OBS_i| \quad (5)$$

Onde:

RB: viés relativo, em porcentagem;

OBS: variável observada;

EST: variável estimada.

n: número de dados.

Vale ressaltar que, por se tratar de valores absolutos, o MAE não leva em conta a direção dos erros (positivos ou negativos), ou seja, tal métrica é importante para avaliar a magnitude do erro. Deste modo, quanto mais próximo de zero, melhor será o modelo.

2.4.6 Distância entre os índices de simulação e observação (DISO)

A distância entre os índices de simulação e observação (DISO, sigla em inglês) combina quatro métricas estatísticas, são elas: a raiz do erro quadrático médio normalizada (NRMSE), o erro absoluto médio normalizado (NMAE), o viés relativo (RB) e o coeficiente de correlação (CC), conforme pode-se observar na Equação (6). O NRMSE e o NMAE são obtidos, respectivamente, ao dividir as métricas RMSE e

NMAE pela média dos valores observados.

$$DISO = \sqrt{NRMSE^2 + NMAE^2 + RB^2 + (CC - 1)^2} \quad (6)$$

Onde:

DISO: distância entre os índices de simulação e observação;

NRMSE: raiz do erro quadrático médio normalizada;

NMAE: erro absoluto médio normalizado;

RB: viés relativo;

CC: coeficiente de correlação.

Estudos recentes (Zhao *et al.*, 2023; Lei *et al.*, 2022; Xu *et al.*, 2022) adotaram o DISO para validar a utilização de reanálises para obtenção de índices de extremos climáticos de temperatura. De acordo com Hu *et al.* (2019), se os dados a serem avaliados apresentarem DISO menor do que 0,5 significa que ele pode capturar bem os extremos climáticos, em contrapartida, valores de DISO superiores a 0,5 indicam uma pobre simulação.

2.5 TENDÊNCIAS EM SÉRIES DE DADOS CLIMÁTICOS

A fim de avaliar a existência, ou não, de tendências em uma série de dados que não seguem a distribuição normal, podem-se utilizar os testes não paramétricos. Dentre eles, muitas pesquisas que visavam avaliar tendências em séries climáticas adotaram o Teste de Mann-Kendall (Zhu e Zhao, 2023; Balmaceda-Huarte *et al.*, 2021; Avila-Diaz *et al.*, 2020; Kumar, Chanda e Pasupuleti, 2020; Cornes e Jones, 2013).

O teste de Mann-Kendall é um teste não paramétrico que identifica tendências monotônicas em séries temporais e permite avaliar se tal tendência é significativa em um determinado nível de significância (Mann, 1945; Kendall, 1975). Para tanto, são consideradas duas hipóteses “H0” (Hipótese Nula) e “H1” (Hipótese Alternativa), que indicam que não há tendência ou há tendência significativa, respectivamente.

A estatística do teste se dá a partir da comparação entre cada par de valores (x_j, x_k) , conforme as Equações (7) e (8), sendo $i < j$.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (7)$$

$$\text{sign } x = \begin{cases} 1, & \text{se } x > 0 \\ 0, & \text{se } x = 0 \\ -1, & \text{se } x < 0 \end{cases} \quad (8)$$

Onde:

S: soma da diferença entre os pares

n: tamanho da série temporal.

A variância de S é calculada para ajustar a estatística para possíveis empates, ou seja, valores iguais, conforme representado pela Equação (9), na qual m é o número de grupos de empates e t é o tamanho do grupo de empates.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (9)$$

Onde:

n: tamanho da série temporal.

m: número de grupos de empate.

t: tamanho do grupo de empates.

Para amostras com tamanho superior a 10 valores, S segue, aproximadamente, uma distribuição normal. Assim, pela Equação (10), pode-se calcular o valor de Z.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (10)$$

Por fim, o valor de Z será comparado com os valores críticos da distribuição normal padrão, para o nível de significância desejado. Se $|Z|$ é maior que o valor crítico, rejeita-se a hipótese nula, indicando a existência de tendência significativa na série temporal.

Para complementar o teste de Mann-Kendall, a fim de estimar a inclinação de

uma tendência em uma série temporal e, com isso, quantificar a magnitude da tendência, muitos estudos (Al-Sakkaf *et al.*, 2024; Zhu e Zhao, 2023; Avila-Diaz *et al.*, 2020; Cornes e Jones, 2013) adotam o teste de declividade de Sen (Sen, 1968), que consiste no cálculo da mediana das inclinações (declividades) entre todos os pares possíveis de pontos de dados em uma série temporal, fornecendo uma estimativa robusta da taxa de mudança ao longo do tempo.

Para o cálculo da declividade de Sen, primeiramente aplica-se a Equação (11), que irá relacionar todos os pares de valores observados, sendo i e j a posição das observações na série temporal com $i < j$.

$$Q_{ij} = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad (11)$$

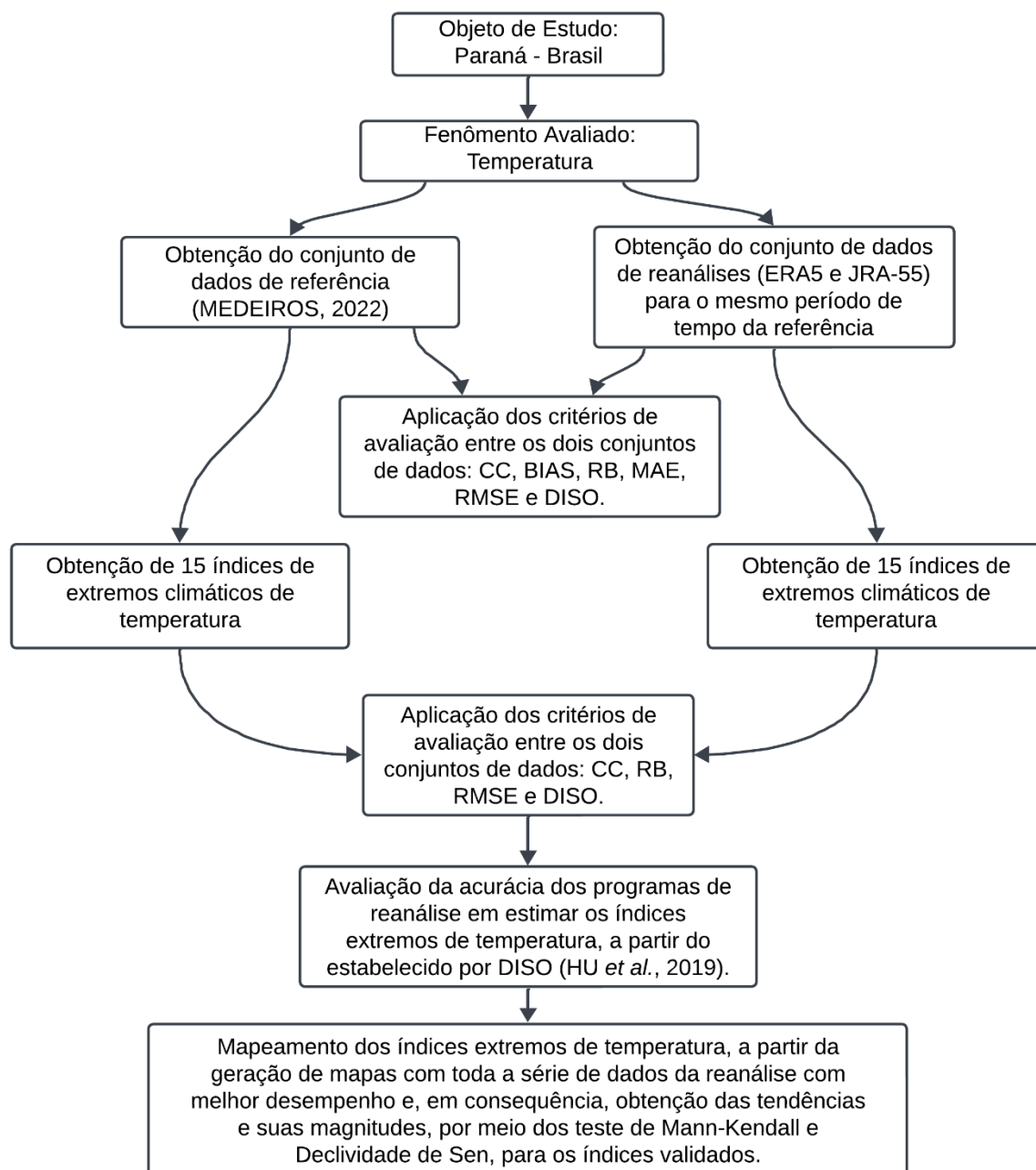
Logo após, deve-se ordenar as inclinações (Q) e obter a mediana delas. Isto é, se houver um número ímpar de inclinações, a mediana é o valor central. Se houver um número par de inclinações, a mediana é a média dos dois valores centrais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa se concentra na análise dos índices de extremos climáticos para o estado do Paraná, Brasil. Os registros diários de temperatura do ar provenientes dos conjuntos de dados de reanálise ERA5 e JRA-55 foram submetidos a uma análise comparativa, com base em métricas estatísticas, em relação às medições de temperatura mínima, máxima e média obtidas das estações meteorológicas. O mesmo procedimento foi aplicado aos índices extremos de temperatura do ar derivados dos dados de reanálise e dos dados das estações. O objetivo primordial consistiu em identificar qual conjunto de dados de reanálise apresenta a maior acurácia na representação dos índices de extremos climáticos de temperatura. Assim, os dados provenientes do programa de reanálise com melhor desempenho foram selecionados para o cálculo dos índices ao longo de todo o período coberto, abrangendo todos os pontos de grade disponíveis. Ao final, foi possível gerar uma cartografia dos índices de extremos climáticos de temperatura para todo o estado do Paraná, com base em uma série temporal de pelo menos 65 anos.

As etapas a seguir, ilustradas no fluxograma da Figura 2, orientaram o desenvolvimento deste estudo.

Figura 2 – Fluxograma com a metodologia resumida do presente estudo.



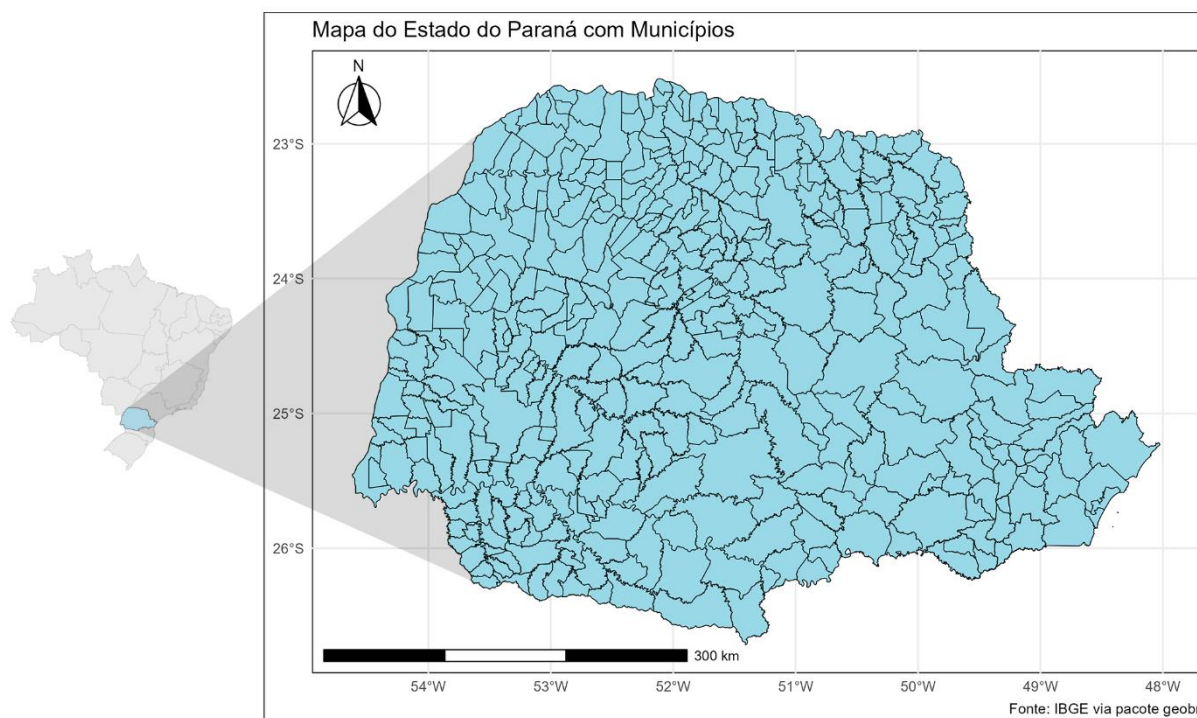
Fonte: o próprio autor.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estado do Paraná (Latitude Sul: 22°30'58" e 26°43'00" / Longitude Oeste: 48°05'37" e 54°37'08"), conforme representado na Figura 3, localiza-se na região sul do Brasil. A região compreende cerca de 25% do seu território na Zona Equatorial e 75% na Zona Temperada do Sul (SEED/PR, 2024), abrangendo uma área de

199.298,98 km², com população de 11.444.380 habitantes, resultando em uma densidade demográfica igual a 57,42 habitantes / km² (IBGE, 2022).

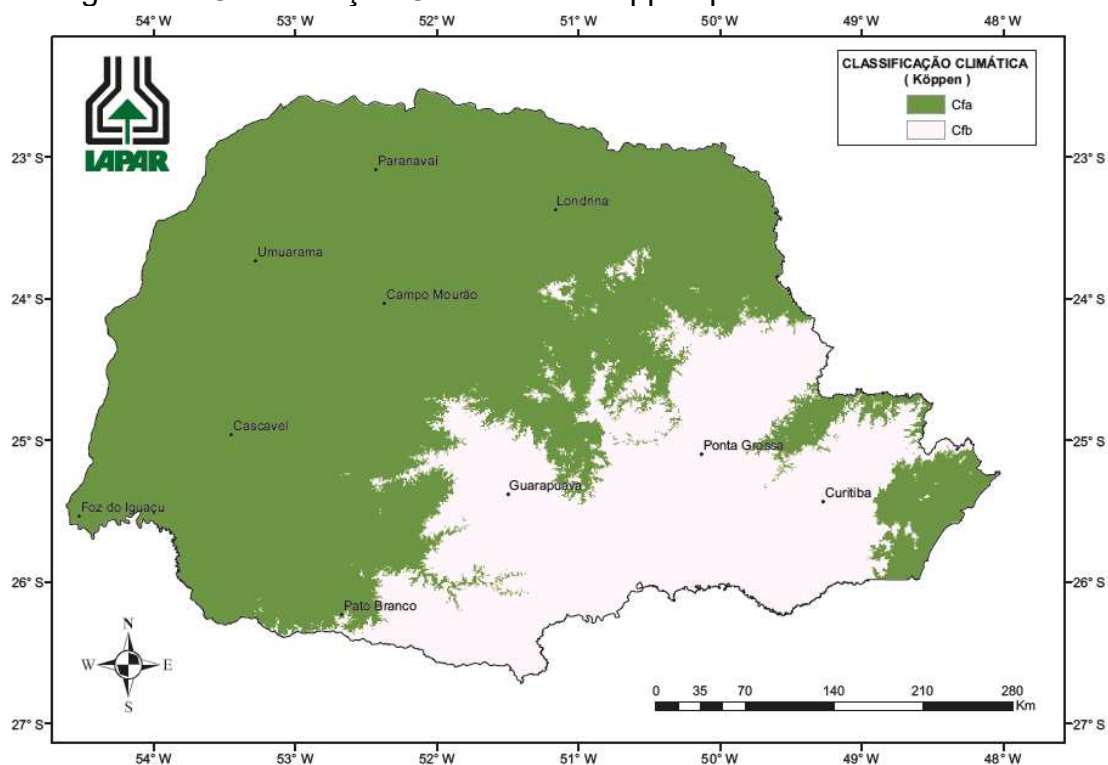
Figura 3 – Região de Estudo



Fonte: o próprio autor.

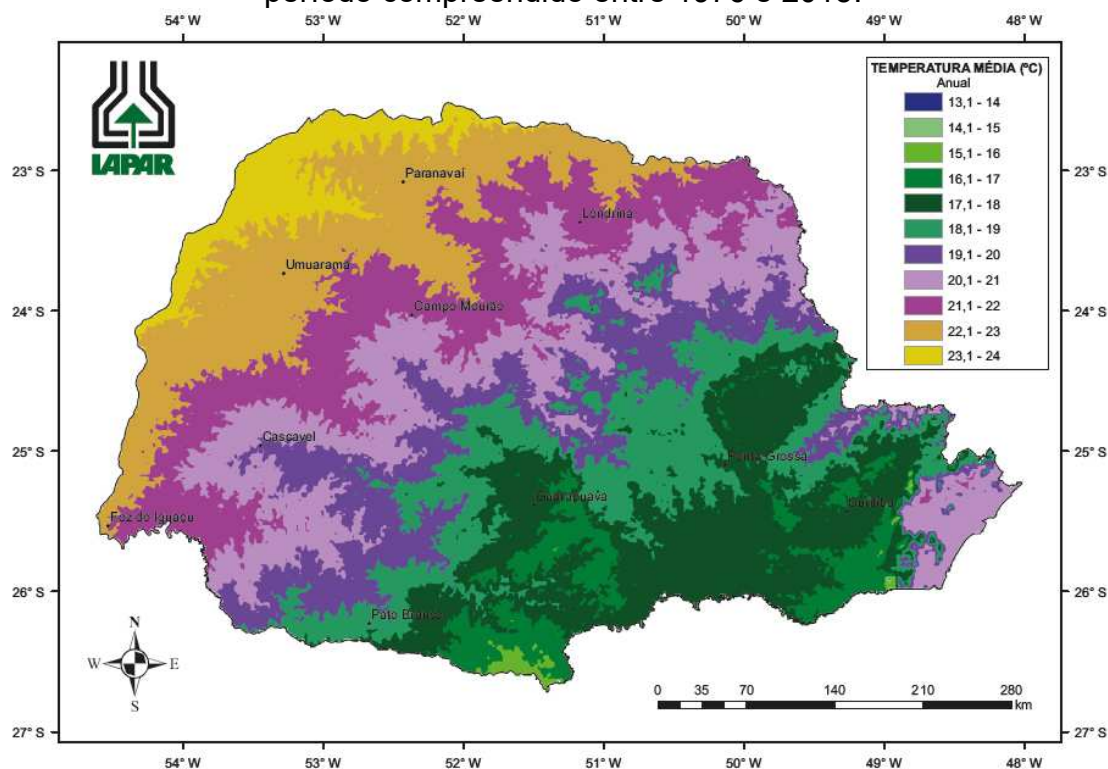
O estado está localizado em uma zona de transição climática, segundo a classificação climática de Köppen, abrangendo áreas com classificações Cfa e Cfb, que correspondem a um clima temperado e com precipitação bem distribuída durante o ano para ambos os casos, porém com verão quente (temperatura do ar média do mês mais quente acima de 22 °C) para o Cfa e verão ameno (temperatura do ar média do mês mais quente entre 10 °C de 22 °C) para o Cfb (EMBRAPA, 2024). Em virtude disso, as temperaturas médias anuais exibem uma notável variabilidade, oscilando entre 16 °C na região centro-sul e 24 °C na região noroeste do estado (Nitsche *et al.*, 2019). Os mapas temáticos que representam as classificações climáticas de Köppen e as temperaturas médias anuais encontram-se descritos nas Figura 4 e Figura 5, respectivamente.

Figura 4 – Classificação Climática de Köppen para o estado do Paraná.



Fonte: Nitsche *et al.* (2019).

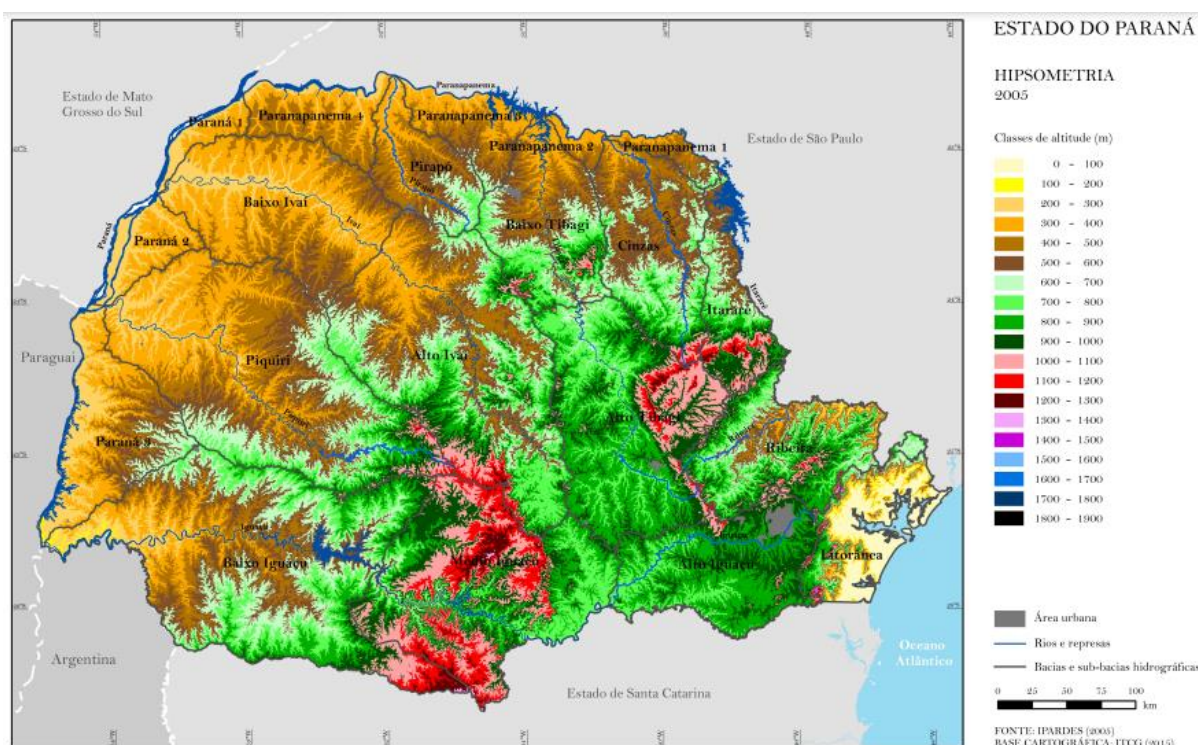
Figura 5 – Temperaturas médias anuais do ar para o estado do Paraná para o período compreendido entre 1976 e 2015.



Fonte: Nitsche *et al.* (2019).

A topografia da região se caracteriza por regiões acidentadas, planícies e faixas costeiras. O ponto culminante do estado é o Pico Paraná, localizado no município de Antonina (litoral do estado), com uma altitude de 1.877 metros, enquanto a região costeira se destaca por sua altitude mínima, ao nível do mar (IPARDES, 2019). A hipsometria do estado é evidenciada na Figura 6.

Figura 6 – Hipsometria do Estado do Paraná.



Fonte: IPARDES (2019).

Ao comparar a distribuição altimétrica do estado, conforme demonstrado na Figura 6, com as médias anuais de temperatura do ar ilustradas na Figura 5, constata-se que as regiões mais elevadas, localizadas no centro-sul do estado, correspondem às zonas de menor temperatura média. Por outro lado, as áreas ocidentais, na fronteira com o Paraguai e Mato Grosso do Sul, caracterizam-se por altitudes mais baixas e com temperaturas médias anuais mais elevadas.

No que tange à economia, o Paraná figura como a quinta maior economia estadual do país, com um PIB de 665,652 bilhões de reais (IPARDES, 2024a), posicionando-se atrás apenas de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. A economia paranaense é notadamente centrada no setor agroindustrial, destacando-se na produção de *commodities* como soja, milho e trigo,

além de produtos de valor agregado, como óleos vegetais, laticínios e proteína animal, com ênfase na avicultura. Além disso, o estado ostenta uma relevante atividade industrial, que engloba desde bens de consumo não duráveis até bens de capital, como tratores e máquinas. Desta forma, o Paraná desempenha um papel relevante no contexto nacional e internacional, posicionando-se entre os dez maiores estados exportadores do país (IPARDES, 2024b).

3.2 DADOS

3.2.1 Dados das estações meteorológicas

Os dados de temperatura do ar utilizados como base para este trabalho foram compilados por Medeiros (2022), a partir dos registros das estações meteorológicas disponibilizadas pelo Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PR) e pelo Sistema de Monitoramento Agrometeorológico - Agritempo.

O IDR-PR foi criado a partir da promulgação da Lei 20.121/19, contemplando a incorporação, pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), do Instituto de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), Companhia de Desenvolvimento Agropecuário do Paraná (CODAPAR) e Centro Paranaense de Referência de Agroecologia (CPRA). Desta forma, o IDR-PR tem por objetivo auxiliar as práticas rurais, agrícolas e agroecologia por meio de pesquisa e experimentação (IDR-PR, 2024).

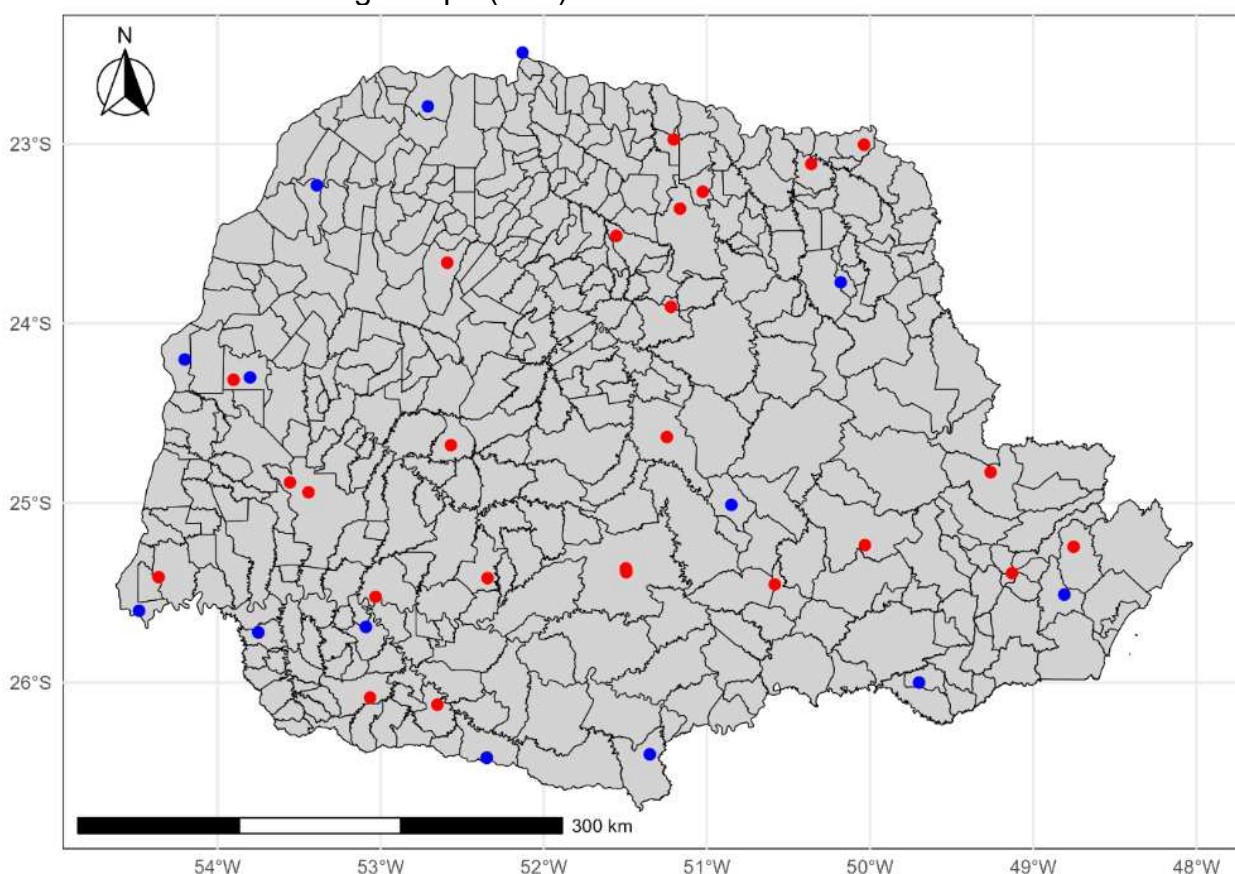
O Agritempo é desenvolvido e mantido pela Embrapa Agricultura Digital em parceria com o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) da Unicamp. Ele reúne dados de mais de 1.600 estações meteorológicas de diversas instituições, localizadas no território brasileiro que são disponibilizados de forma gratuita, via Internet (AGRITEMPO, 2024). Para esta pesquisa, os dados das estações provenientes do Agritempo são fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com exceção da estação denominada Usina Santa Terezinha, localizada no município de Terra Rica/ PR, que possui dados oriundos do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC).

Inicialmente, o autor teve acesso a 69 estações na região de estudo, 33 provenientes do banco de dados do IDR-PR e 36 do Agritempo. Após a realização de

testes para garantir a qualidade dos dados, preencher falhas e verificar a homogeneidade das séries, foi possível manter 42 estações para análise, sendo 28 do IDR-PR, todas convencionais, e 14 do Agritempo, das quais 9 são automáticas e o restante convencionais.

É importante ressaltar que o intervalo de tempo dos dados não é uniforme para todas as estações, ou seja, cada estação possui um período de dados distinto. O Quadro 6 fornece as informações das 42 estações consideradas neste estudo. Por sua vez, a Figura 7 exibe o mapa do estado do Paraná com a localização de cada estação analisada, proporcionando uma visualização espacial dos pontos de coleta de dados de temperatura do ar.

Figura 7 – Posição geográfica das estações meteorológicas do IDR (vermelho) e Agritempo (azul) no estado do Paraná.



Fonte: Adaptado de Medeiros (2022).

Quadro 6 - Informações das estações utilizadas no estudo. As estações com marcação (*) são estações meteorológicas automáticas.

Estação	Responsável	Período	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude (m)
Antonina	IDR-PR	1978-1999	-25,24	-48,75	69
Apucarana	IDR-PR	1962-2002	-23,51	-51,55	744
Bandeirantes	IDR-PR	1976-2019	-23,11	-50,36	446
Bela Vista do Paraíso	IDR-PR	1972-2015	-22,97	-51,20	623
Cambará	IDR-PR	1957-2010	-23,00	-50,04	442
Campo Tenente	Agritempo	2004-2021	-26,00	-49,70	661
Cândido de Abreu	IDR-PR	1989-1998	-24,63	-51,25	630
Cascavel	IDR-PR	1973-1989	-24,94	-53,44	772
Cascavel - Coodetec	IDR-PR	1989-1998	-24,88	-53,55	672
Cerro Azul	IDR-PR	1972-1997	-24,83	-49,26	330
Cianorte	IDR-PR	1972-2001	-23,66	-52,59	540
Clevelândia	IDR-PR	1973-2012	-26,42	-52,35	967
Clevelândia (*)	Agritempo	2011-2021	-26,42	-52,35	966
Dois Vizinhos	Agritempo	2007-2021	-25,69	-53,09	525
Fernandes Pinheiro	IDR-PR	1963-2019	-25,45	-50,58	894
Foz do Iguaçu (*)	Agritempo	2011-2021	-25,60	-54,48	237
Francisco Beltrão	IDR-PR	1974-2019	-26,08	-53,06	629
General Carneiro (*)	Agritempo	2011-2021	-26,40	-51,35	1007
Guaira	Agritempo	2004-2021	-24,20	-54,20	311
Guarapuava – Cedeteg	IDR-PR	2005-2019	-25,38	-51,49	1029
Guarapuava – Col. Agr.	IDR-PR	1976-2005	-25,36	-51,50	1051
Ibaiti (*)	Agritempo	2011-2021	-23,77	-50,18	694
Ibiporã	IDR-PR	1973-2014	-23,27	-51,03	485
Icaraima (*)	Agritempo	2006-2020	-23,23	-53,39	241
Ivaí (*)	Agritempo	2006-2021	-25,01	50,85	797
Laranjeiras do Sul	IDR-PR	1974-2007	-25,42	-52,34	873
Londrina	IDR-PR	1976-2019	-23,36	-51,16	586
Mauá da Serra	IDR-PR	1979-1991	-23,91	-51,22	1037
Morretes	IDR-PR	1978-2015	-25,51	-48,81	50
Morretes (*)	Agritempo	2011-2021	-25,51	-48,81	53
Nova Cantu	IDR-PR	1976-2013	-24,68	-52,57	548
Palotina	IDR-PR	1973-2011	-24,31	-53,90	294
Palotina	Agritempo	2004-2021	-24,30	-53,80	316
Paranapoema (*)	Agritempo	2011-2022	-22,49	-52,13	355
Pato Branco	IDR-PR	1979-2016	-26,12	-52,65	716
Pinhais	IDR-PR	1070-1997	-25,39	-49,13	934
Planalto	IDR-PR	1972-2015	-25,72	-53,75	400
Planalto (*)	Agritempo	2011-2021	-25,72	-53,75	399
Ponta Grossa	IDR-PR	1954-2001	-25,23	-50,03	878
Quedas do Iguaçu	IDR-PR	1973-1998	-25,52	-53,03	514
São Miguel do Iguaçu	IDR-PR	1983-1997	-25,41	-54,36	270
Usina Santa Terezinha	Agritempo	2010-2017	-22,79	-52,71	463

Fonte: Adaptado de Medeiros (2022).

3.2.2 Dados de reanálise

Neste trabalho, foi realizada uma avaliação comparativa entre dois programas de reanálise, o ERA5 e o JRA-55, devido à sua abrangência global e extensas séries temporais, conforme indicado no Quadro 5. O ERA5 oferece dados a partir de 1940, enquanto o JRA-55 disponibiliza informações a partir de 1958.

Os dados do ERA5 foram acessados por meio do *Climate Data Store* (CDS) – traduzido livremente como Armazenamento de Dados Climáticos – mantido pelo Copernicus, um programa supervisionado pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF, sigla em inglês). Por outro lado, os dados do JRA-55 foram acessados pelo portal do Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas (NCAR, sigla em inglês), através do *Research Data Archive* (RDA) da instituição.

Para filtragem dos dados, foram selecionadas variáveis específicas, as quais estão delineadas no Quadro 7. Esta abordagem permitirá uma análise detalhada e comparativa dos conjuntos de dados disponibilizados pelo ERA5 e JRA-55 para a região em estudo.

Quadro 7 – Informações dos conjuntos de dados obtidos das reanálises.

	Programa de Reanálise	
	ERA5	JRA-55
Agência	Copernicus	Japan Meteorological Agency
Tipo de Dado	Grade	Grade
Resolução Espacial	0,25° x 0,25°	0,562° x 0,562°
Cobertura Temporal	1940-2024	1958-2024
Resolução Temporal	1 hora	3 horas
Variável	Temperatura (2 metros)	Temperatura (2 metros)
Unidade	kelvin	kelvin
Recorte Geográfico	22° e 27° S / 47°e 55° O	22° e 27° S / 47°e 55° O

Fonte: o próprio autor.

Em ambos os conjuntos de reanálises, os dados foram disponibilizados em arquivos no formato *netcdf* (ou *ncdf*), extensão muito utilizada para compilação e obtenção de dados climáticos. A partir deste arquivo, utilizou-se o software R para

extrair as tabelas com os dados diários de temperatura máxima (TX), mínima (TN) e média (TM) do ar.

O Tempo Universal Coordenado (UTC, sigla em inglês) dos programas de reanálise foi convertido para uma escala diária para assegurar a consistência com as estações meteorológicas utilizadas neste estudo. Nesse contexto, um dia é definido entre as 07:00 horas do dia em questão até às 07:00 horas do seguinte. Assim, para obter os dados diários dos programas de reanálise, considerou-se os valores medidos entre 10:00 horas do dia atual até às 10:00 horas do dia seguinte (GMT-0), uma vez que o estado do Paraná se encontra no GMT-3.

Os dados de temperatura do ar provenientes das reanálises, originalmente em kelvin, foram convertidos para graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) para manter a unidade de medida usada pelas estações meteorológicas. Para tanto, foi usada a relação estabelecida pela WMO (2023): que estipula que 273,15 K equivalem a 0 $^{\circ}\text{C}$. Essas considerações permitem a padronização e comparação dos dados de temperatura do ar das reanálises com os dados das estações meteorológicas utilizadas no estudo.

3.3 OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

O cálculo dos índices de extremos climáticos de temperatura foi realizado utilizando o pacote do software R denominado '*climdex.pcic*' (Bronaugh, 2020). Este pacote lê os dados de temperatura do ar e fornece os índices extremos climáticos configurados pelo usuário.

Para este trabalho, foram determinados os índices de extremos climáticos de temperatura recomendados pelo ETCCDI, descritos no Quadro 2, a partir dos dados das estações meteorológicas e dos programas de reanálise (ERA5 e JRA-55), primeiramente compreendidos dentro do período de observação de cada estação meteorológica. Faz-se exceção ao índice de dias congelantes (ID), que não se aplica a região de estudo, pois nenhuma estação relatou algum dia com temperatura máxima do ar inferior a 0 $^{\circ}\text{C}$. Por isso, o índice ID foi excluído deste estudo e, portanto, foram obtidos 15 índices de extremos climáticos de temperatura, conforme descritos no Quadro 8.

Quadro 8 – Índices de Extremos Climáticos de Temperatura obtidos neste estudo.

Índice	Nome	Descrição	Unidade
TXx	Dia mais quente	Valor máximo mensal ou anual da temperatura máxima diária	°C
TXn	Noite mais quente	Valor máximo mensal ou anual da temperatura mínima diária	°C
TNx	Dia mais frio	Valor mínimo mensal ou anual da temperatura máxima diária	°C
TNn	Noite mais fria	Valor mínimo mensal ou anual da temperatura mínima diária	°C
TX10p	Dias frios	Porcentagem de dias em que TX < percentil 10	%
TX90p	Dias quentes	Porcentagem de dias em que TX > percentil 90	%
TN10p	Noites frias	Porcentagem de dias em que TN < percentil 10	%
TN90p	Noites quentes	Porcentagem de dias em que TN > percentil 90	%
DTR	Amplitude térmica diária	Diferença mensal ou anual média entre TX e TN	°C
GSL	Duração de crescimento de estação	Quantidade de dias no ano entre um período de 6 dias consecutivos com temperatura média (TG) > 5 °C e o primeiro período de 6 dias consecutivos com TG < 5 °C	Dias
FD	Dias de geada	Quantidade anual de dias em que TN < 0 °C	Dias
SU	Dias de verão	Quantidade anual de dias em que TX > 25 °C	Dias
TR	Noites tropicais	Quantidade anual de dias em que TN > 20 °C	Dias
WSDI	Índice de duração de onda quente	Quantidade anual de 6 dias em que TX > percentil 90	Dias
CSDI	Índice de duração de onda fria	Quantidade anual de 6 dias em que TN < percentil 90	Dias

Fonte: Adaptado de Peterson *et al.* (2001).

3.4 CORRELAÇÃO ENTRE DADOS DE REFERÊNCIA E REANÁLISES

A comparação dos dados foi realizada entre as estações meteorológicas e a

célula mais próxima do programa de reanálise, para minimizar erros associados à interpolação espacial, conforme metodologia empregada por Zhu e Zhao (2023), Zhao e He (2022), Balmaceda-Huarte *et al.* (2021) e Sheridan, Lee e Smith (2020).

Inicialmente, as séries temporais de temperaturas diárias mínima, máxima e média do ar provenientes dos programas de reanálise foram avaliadas em comparação com as medições das estações meteorológicas. Em um segundo momento, o mesmo procedimento foi adotado para a análise dos índices de extremos climáticos de temperatura do ar derivados dessas séries de dados.

As métricas estatísticas utilizadas para essa análise compreendem o Coeficiente de Correlação (CC), o viés relativo (RB), o erro absoluto médio (MAE), a raiz do erro quadrático médio (RMSE,) e a distância entre os índices simulados e observados (DISO). Destaca-se o DISO como a principal métrica adotada para avaliar a capacidade da reanálise em reproduzir índices climáticos extremos. Nesse sentido, seguindo a referência de Hu *et al.* (2019), valores de DISO inferiores a 0,5 indicam que os dados do programa de reanálise em questão podem capturar bem os índices extremos, enquanto valores acima desse limiar sugerem inadequação do programa em questão.

3.5 MAPEAMENTO DOS ÍNDICES CLIMÁTICOS PARA O ESTADO DO PARANÁ

Após a obtenção das métricas estatísticas para todos os índices de extremos climáticos de temperatura do ar gerados pelos programas de reanálise, foram selecionados os índices que obtiveram DISO menor que 0,5, a partir do conjunto de dados de reanálise que demonstrou o melhor desempenho. Esse conjunto de dados foi utilizado em sua totalidade temporal para estimar os índices de extremos climáticos de temperatura em cada célula e, conseqüentemente, mapear as tendências climáticas para o estado do Paraná.

A presença ou ausência de tendências foi avaliada por meio do Teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), com significância de 5% (valor crítico $\pm 1,96$). Além disso, a magnitude das tendências foi determinada a partir do cálculo da Declividade de Sen (Sen, 1968).

Para essa análise as séries históricas foram consideradas em sua totalidade e subdividas em três intervalos de 30 anos, período mínimo estipulado pela

Organização Meteorológica Mundial para calcular a média climática – normal climatológica (WMO, 2007). O objetivo da subdivisão foi comparar as mudanças entre os períodos e, devido ao intervalo de tempo das observações disponibilizadas pelo ERA5 ou JRA-55, foi realizada a sobreposição de períodos, similar ao adotado por Al-Sakkaf *et al* (2024), para examinar os padrões de mudança dos extremos.

Além disso, foram realizadas análises sazonais para identificar tendências a nível sazonal, tendo em vista que alterações nesses períodos são importantes para diversas atividades econômicas, como a agricultura, abastecimento de água ou o planejamento urbano.

Os resultados foram obtidos com o auxílio do pacote '*climdex.pcic*' do software R (Bronaugh, 2020), que realizou os cálculos necessários para cada célula da grade. Esses resultados foram então representados em mapas gerados pelo software QGIS. A partir desses mapas, foi possível analisar a variação territorial de cada índice de extremo climático validado, utilizando o conjunto de dados da reanálise ERA5. Dessa forma, as tendências e suas magnitudes para todo o estado do Paraná puderam ser visualizadas, analisadas e discutidas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO DOS DADOS DIÁRIOS DE TEMPERATURA DO AR DAS REANÁLISES ERA5 E JRA-55

Esta seção apresenta uma avaliação comparativa dos dados diários de temperatura do ar obtidos pelas reanálises ERA5 e JRA-55, confrontando-os com as medições realizadas por estações meteorológicas de referência. O objetivo é verificar a acurácia e a consistência dos dados de reanálise em relação às observações diretas, permitindo identificar qual das duas reanálises oferece melhor desempenho nas variações diárias de temperatura no estado do Paraná.

Embasado nas métricas estatísticas detalhadas no capítulo 3.4 desta tese, foram analisadas as temperaturas máximas (TX), mínimas (TN) e médias (TM) do ar, todas em escala diária, utilizando os dados gerados pelos programas de reanálise ERA5 e JRA-55. Os valores de referência foram extraídos das estações meteorológicas descritas no Quadro 6. A partir desta seção, as estações serão designadas conforme a localidade em que estão instaladas, acompanhadas pelo prefixo “IDR” para aquelas geridas pelo Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PR), ou “AT” para as pertencentes ao sistema Agritempo.

Os indicadores estatísticos calculados para cada estação meteorológica estão compilados nos Apêndices A e B, correspondentes às reanálises ERA5 e JRA-55, respectivamente. Em relação ao CC, MAE, RMSE e DISO, com exceção dos valores de TM (Temperatura Média do Ar) da estação localizada em General Carneiro – AT, todas as estações apresentaram resultados superiores quando analisadas com os dados provenientes do ERA5. Com relação ao viés relativo (RB) e ao viés absoluto (BIAS), os resultados mostraram variações significativas entre as estações meteorológicas, indicando que, dependendo da localidade, os dados das reanálises subestimam ou superestimam as temperaturas do ar.

Especificamente em relação ao RB e BIAS, ao analisar cada estação individualmente, para os dados do ERA5, o BIAS variou de -3,28 °C na TX da estação de Cerro Azul – IDR a 1,97 °C na TN em Palotina – IDR. Em contraposição, a reanálise JRA-55 apresentou variações mais acentuadas, com BIAS variando de -5,49 °C na TX em Cerro Azul – IDR a 3,78 °C na TN para a estação de Pinhais – IDR.

Os melhores resultados observados para o JRA-55 foram registrados nas estações de Clevelândia – AT para TX, com CC igual a 0,92 e em Clevelândia – IDR para TN e TM, com CC de 0,86 e 0,96, respectivamente. Já o ERA5 demonstrou coeficientes de correlação acima de 0,90 em diversas estações para todas as temperaturas avaliadas.

Os resultados menos favoráveis foram observados na estação de Campo Tenente – AT para o ERA5 e em General Carneiro – AT para o JRA-55. Contudo, o ERA5 ainda apresentou valores de DISO inferiores a 0,5 para as três temperaturas analisadas. Em contraste, o JRA-55, embora tenha mostrado valores de DISO menor que 0,5 para TX e TM, obteve um valor de 0,62 para a TN. Assim, mesmo nas estações meteorológica com os desempenhos menos favoráveis, o ERA5 conseguiu estimar adequadamente as três categorias de temperatura do ar, conforme os critérios estabelecidos por Hu *et al.* (2019), os quais indicam que um conjunto de dados é capaz de capturar extremos climáticos se o DISO for inferior a 0,5.

Ao analisar os valores apresentados nos Apêndices A e B, observa-se que as estações de Campo Tenente – AT, Guaíra – AT, Palotina – AT e Usina Santa Terezinha – AT exibem valores de CC significativamente menores em comparação com as outras estações. Essas estações compartilham a característica de serem convencionais e possuírem séries temporais curtas e recentes, abrangendo o período de 2004 a 2021, com exceção da estação de Santa Terezinha – AT, cujos dados cobrem o intervalo de 2010 a 2017.

Essas diferenças podem estar associadas à curta duração das séries temporais e à instalação mais recente das estações, o que pode ter impactado na qualidade das medições. No entanto, essas características por si só não justificam completamente a redução dos coeficientes de correlação, uma vez que outras estações com séries igualmente curtas, como Paranapoema – AT e Clevelândia – AT, apresentaram valores de CC acima de 0,85 para todas as variáveis, exceto para o TN na reanálise JRA-55. Isso sugere que outros fatores, como a manutenção dos instrumentos ou características geográficas locais, como microclimas ou fatores topográficos, podem estar influenciando os resultados. Por exemplo, a estação de Paranapoema – AT, com uma série temporal similar, registrou CC de 0,92 para TX e 0,87 para TN considerando os registros do ERA5, evidenciando seu melhor desempenho.

Além disso, uma análise mais detalhada das métricas de erro, como MAE e RMSE, mostra que as estações com menor CC, como Campo Tenente – AT, também

apresentam valores mais altos de erro médio, com MAE de 3,35 e RMSE de 4,56 para TX com os dados do JRA-55, reforçando a hipótese de que essas estações enfrentam dificuldades na precisão das medições mais recentes.

A Tabela 1 apresenta a distribuição percentual das estações meteorológicas em diferentes intervalos de coeficiente de correlação (CC) para os dados das reanálises ERA5 e JRA-55. Esta análise permite observar a acurácia das estimativas de temperatura do ar fornecidas por cada reanálise em relação às observações realizadas pelas estações meteorológicas de referência. Com base na reanálise do ERA5, mais de 90% das estações meteorológicas avaliadas demonstraram CC superior a 0,9 para TX e TM. Em contraste, os dados do JRA-55 indicaram que 78,6% das estações apresentaram CC entre 0,8 e 0,9 para TX, e 76,2% das estações alcançaram CC superior a 0,9 para TM. No que diz respeito a TN, 76,2% das estações do ERA5 exibiram CC entre 0,8 e 0,9, enquanto metade das estações avaliadas com dados do JRA-55 apresentaram CC entre 0,7 e 0,8.

Tabela 1 – Distribuição percentual das estações meteorológicas agrupadas por intervalos de Coeficiente de Correlação (CC) para os conjuntos de dados ERA5 e JRA-55.

Obs.: Valores em negrito destacam termos mencionados diretamente no texto.

INTERVALO DE CC	ERA5			JRA-55		
	TX	TN	TM	TX	TN	TM
0,9 - 1,0	90,5%	16,7%	90,5%	11,9%	0,0%	76,2%
0,8 - 0,9	2,4%	76,2%	7,1%	78,6%	45,2%	21,4%
0,7 - 0,8	7,1%	4,8%	2,4%	9,5%	50,0%	2,4%
0,6 - 0,7	0,0%	2,4%	0,0%	0,0%	4,8%	0,0%

Fonte: o próprio autor

Em geral, a maioria das estações meteorológicas apresenta coeficientes de correlação elevados (acima de 0,80), particularmente para os dados do ERA5, indicando maior concordância entre as temperaturas estimadas e observadas. Já o JRA-55, embora também apresente um desempenho satisfatório, exibe uma porcentagem maior de estações com correlações mais baixas (abaixo de 0,70), sugerindo que o ERA5 oferece uma estimativa mais precisa para a maioria das estações analisadas.

A Tabela 2 expõe a distribuição percentual das estações meteorológicas

classificadas em faixas predefinidas de distância entre índices de simulação e observação (DISO), que é uma métrica utilizada por diversos autores (Zhao *et al.*, 2023; Lei *et al.*, 2022; Xu *et al.*, 2022) para avaliar a proximidade entre os valores simulados pelas reanálises e os valores observados. De modo geral, observa-se que os dados de temperatura do ar de todas as estações apresentam valores de DISO menor que 0,5, com exceção de 2 estações (General Carneiro – AT e Pinhais – IDR) avaliadas com os registros fornecidos pelo JRA-55 para TN, representando 4,8% das estações avaliadas. Isso sugere que, embora o ERA5 apresente um desempenho superior, ao adotar os critérios estabelecidos por Hu *et al.* (2019), ambos os programas de reanálise são capazes de estimar com sucesso as três categorias de temperatura do ar avaliadas.

Tabela 2 – Distribuição percentual das estações meteorológicas por faixas de Distância entre Índices de Simulação e Observação (DISO) nas reanálises ERA5 e JRA-55.

Obs.: Valores em negrito destacam termos mencionados diretamente no texto.

INTERVALO DE DISO	ERA5			JRA-55		
	TX	TN	TM	TX	TN	TM
< 0,2	83,3%	40,5%	92,9%	50,0%	0,0%	66,7%
0,2 - 0,5	16,7%	59,5%	7,1%	50,0%	95,2%	33,3%
> 0,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,8%	0,0%

Fonte: o próprio autor.

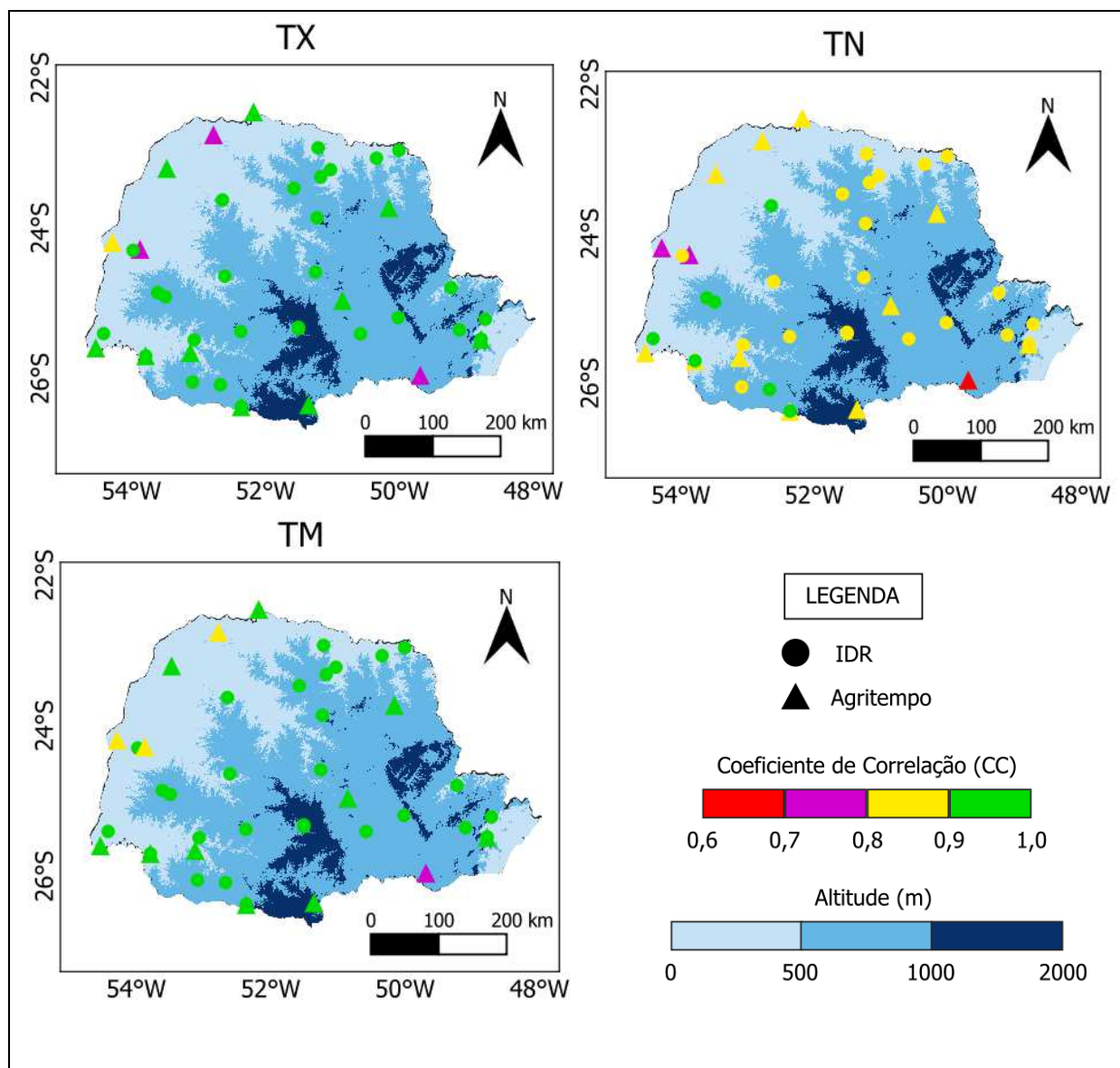
Além disso, destaca-se a elevada porcentagem de estações meteorológicas que apresentam DISO inferior a 0,2 para TX e TM ao utilizar os valores de temperatura do ar fornecidos pelo ERA5, representando 83,3% e 92,9% das estações, respectivamente.

Portanto, ao avaliar as informações contidas nas Tabela 1 e Tabela 2, verifica-se que a maioria das estações avaliadas apresenta boas métricas estatísticas para ambos os programas de reanálise. No entanto, uma análise mais detalhada indica que o desempenho do ERA5 é superior ao JRA-55 para as três classes de temperatura do ar avaliadas.

A fim de observar a distribuição geográfica das estações meteorológicas e os resultados do coeficiente de correlação (CC) para cada categoria de temperatura do ar, apresentam-se os mapas representados nas Figura 8 e Figura 9 para o ERA5 e

JRA-55, respectivamente. Esses mapas exibem a localização de cada estação e seu respectivo coeficiente de correlação, representado em uma escala de cores.

Figura 8 – Distribuição geográfica das estações meteorológicas e seus coeficientes de correlação (CC) com os dados de reanálise do ERA5.

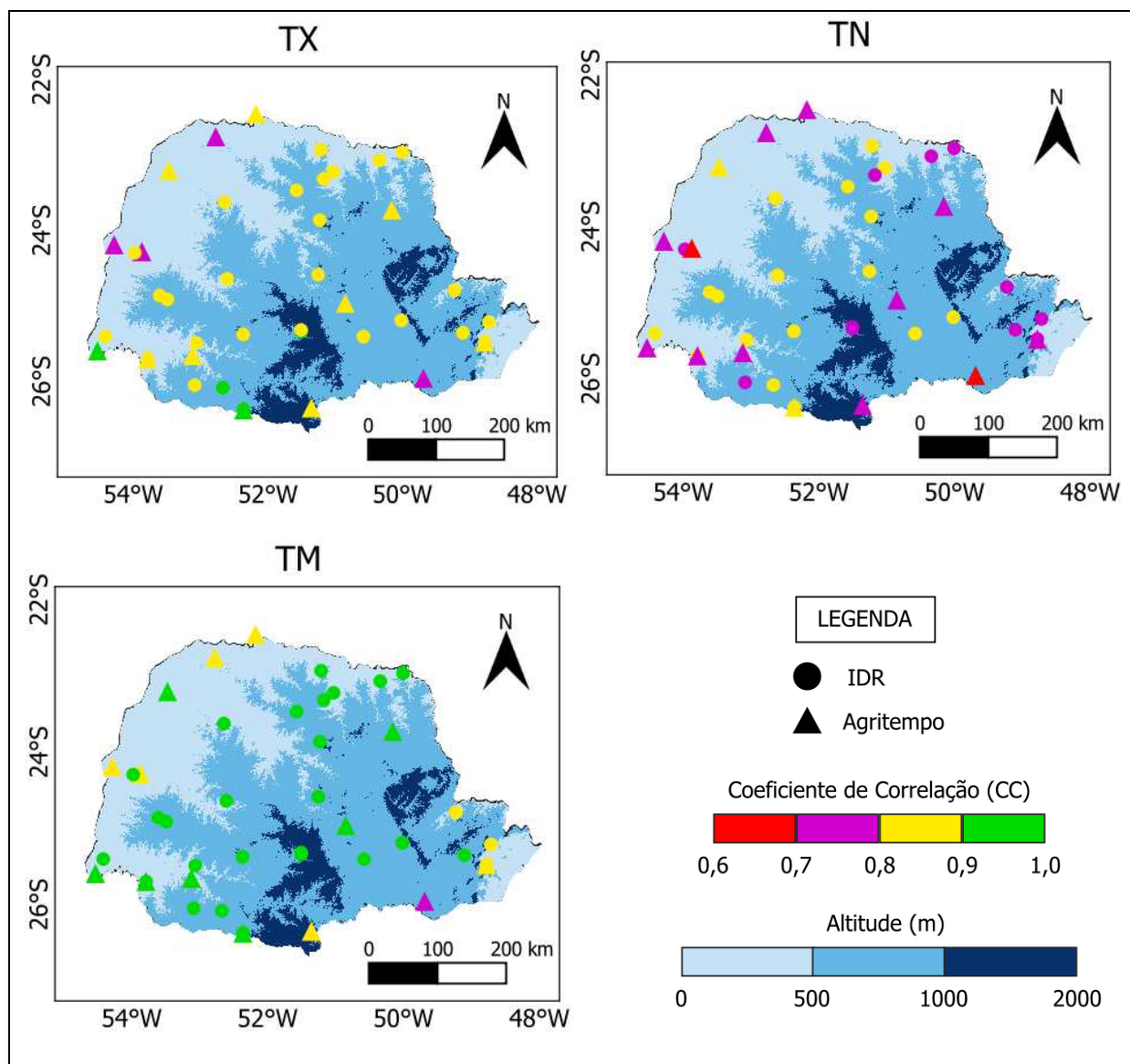


Fonte: o próprio autor.

Estudos em regiões de alta altitude, como o Planalto Tibetano, as montanhas Hengduan e a Cordilheira dos Andes (Xu *et al.*, 2022; Huang, Han e Shi, 2021; Balmaceda-Huarte *et al.*, 2021), indicaram que o ERA5 enfrenta desafios significativos na representação da temperatura do ar para essas áreas. Esses desafios geralmente estão associados à menor densidade de observações *in situ* em regiões remotas, à

complexidade da topografia e à variabilidade das condições atmosféricas em elevadas altitudes, que afetam a qualidade da assimilação de dados nas reanálises.

Figura 9 – Distribuição geográfica das estações meteorológicas e seus coeficientes de correlação (CC) com os dados de reanálise do JRA-55.



Fonte: o próprio autor.

No entanto, no estado do Paraná, não foi identificada uma correlação entre a altitude das estações, listadas no Quadro 6, e a qualidade dos dados de reanálises, representada pelos valores de CC nos Apêndices A e B. Estações localizadas em maiores altitudes, como Guarapuava Col. Agr. – IDR, a 1.051 metros, não demonstraram desempenho inferior em comparação com aquelas em altitudes mais

baixas. Isso sugere que os desafios enfrentados pelas reanálises, como o ERA5, em áreas de alta altitude, podem se manifestar de forma mais acentuada apenas em elevações extremas, a partir de uma certa cota, considerando que o Planalto Tibetano, as montanhas Hengduan e a Cordilheira dos Andes têm altitudes acima de 4.000 metros, onde os gradientes atmosféricos são mais complexos e as limitações dos modelos numéricos se tornam mais evidentes.

Ao comparar os dados fornecidos pelas duas instituições, observa-se que, na média, as estações do IDR-PR apresentam coeficientes de correlação (CC) superiores em relação às estações do AgriTempo para ambas as reanálises (ERA5 e JRA-55), como mostrado nas Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação das estações meteorológicas por instituição em relação aos dados de reanálise do ERA5.

Obs.: Valores em negrito destacam termos mencionados diretamente no texto.

Instituição	Nº de estações	CC Médio			CC Máximo			CC Mínimo		
		TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM
IDR	28	0,95	0,89	0,97	0,96	0,92	0,98	0,91	0,86	0,94
AgriTempo	14	0,89	0,84	0,91	0,95	0,89	0,96	0,74	0,70	0,76

Fonte: o próprio autor.

Tabela 4 - Coeficientes de correlação das estações meteorológicas por instituição em relação aos dados de reanálise do JRA-55.

Instituição	Nº de estações	CC Médio			CC Máximo			CC Mínimo		
		TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM
IDR	28	0,87	0,81	0,93	0,90	0,86	0,96	0,84	0,74	0,87
AgriTempo	14	0,85	0,76	0,88	0,92	0,82	0,94	0,73	0,64	0,74

Fonte: o próprio autor.

Essa diferença pode estar associada a uma maior consistência nas séries temporais fornecidas pelo IDR-PR, possivelmente devido a uma rede de estações melhor distribuída e com maior rigor nos processos de calibração e controle de qualidade dos dados. Outro ponto a ser considerado é a possível diferença nos critérios de instalação e manutenção das estações pelos órgãos controladores, o que pode impactar diretamente a precisão das observações *in situ* e, conseqüentemente, a qualidade dos dados de reanálise que utilizam essas estações como referência.

Esse tipo de análise reforça a importância de avaliar não apenas fatores

isolados, como a altitude, mas também o contexto geral em que os dados foram coletados, incluindo o tipo de estação, a metodologia de coleta e os processos de validação. A integração desses elementos permite uma avaliação mais robusta do desempenho dos dados de reanálise e das suas limitações, especialmente em regiões com características topográficas e climatológicas como as do Paraná.

De acordo com o exposto anteriormente, ao avaliar os valores mínimos de CC, observa-se que, para o ERA5, nenhuma das estações do IDR-PR registrou um CC inferior a 0,86 para as três categorias de temperatura do ar. Em contraste, as estações fornecidas pelo Agritempo apresentaram um valor mínimo de 0,70 para TN. Com relação aos dados oriundos do JRA-55, pode-se observar que os resultados foram semelhantes aos encontrados para o ERA5, com estações do IDR-PR novamente mostrando valores de CC ligeiramente superiores em comparação às do Agritempo.

A Tabela 5 é apresentada com o objetivo de fornecer uma visão consolidada das métricas estatísticas que avaliam o desempenho dos programas de reanálise ERA5 e JRA-55 na estimativa das temperaturas diárias do ar para o estado do Paraná. Para cada estação meteorológica analisada, foram calculadas métricas que quantificam a acurácia e a consistência dos dados de reanálise em relação às observações *in situ*, abrangendo as três categorias de temperatura do ar avaliadas (TX, TN e TM). Desenvolvida a partir dos dados dispostos nos Apêndices A e B, a Tabela 5 apresenta as médias aritméticas do coeficiente de correlação (CC), do viés absoluto (BIAS), do viés relativo (RB), do erro absoluto médio (MAE), da raiz do erro quadrático médio (RMSE) e da distância entre os índices de simulação e observação (DISO).

O resultado das métricas apresentados permitem uma comparação direta entre os dois conjuntos de dados de reanálise, destacando qual apresenta maior precisão e confiabilidade na estimativa das temperaturas do ar.

De modo geral, os resultados indicam que o ERA5 apresentou um desempenho superior na representação das temperaturas diárias, quando comparado ao JRA-55. Isso é evidenciado pelos valores mais altos de CC, o que sugere maior concordância entre as estimativas do ERA5 e os dados observados.

Além disso, as métricas de erro (BIAS, RB, MAE, RMSE) e a métrica DISO, apresentaram valores menores para o ERA5, indicando que esse programa oferece estimativas de temperatura mais próximas das observações reais. O que sugere ser a reanálise ERA5 mais confiável que a JRA-55 para estudos climáticos e modelagens

relacionadas às temperaturas diárias do ar no Paraná.

Tabela 5 – Média das métricas estatísticas de temperatura do ar (TX, TN, TM) para o conjunto de dados do ERA5 e JRA-55 comparados com as estações meteorológicas de referência.

Obs.: Valores em negrito destacam termos mencionados diretamente no texto.

MÉTRICA	VARIÁVEL	ERA5	JRA-55
CC	TX	0,93	0,87
	TN	0,87	0,79
	TM	0,95	0,91
BIAS	TX	-0,91	-1,73
	TN	0,27	1,77
	TM	-0,21	0,83
RB	TX	-3,46	-6,45
	TN	1,71	11,66
	TM	-1,03	4,31
MAE	TX	1,59	2,56
	TN	1,72	2,62
	TM	1,07	1,82
RMSE	TX	2,04	3,09
	TN	2,24	3,29
	TM	1,38	2,22
DISO	TX	0,13	0,22
	TN	0,23	0,37
	TM	0,11	0,19

Fonte: o próprio autor.

Os dois programas de reanálise apresentaram maior dificuldade em representar temperaturas baixas, uma vez que a TN apresenta os menores valores de CC e os valores mais elevados de BIAS, RB, MAE, RMSE e DISO. Esses resultados são consistentes com os obtidos por Xu *et al* (2022), Zhao *et al* (2023) e Lima e Alcântara (2019). Os dois primeiros estudos, realizados na China, e o último no nordeste do Brasil, ao avaliarem dados do ERA5, ERA5-Land, ERA-Interim e NCEP/NCAR, observaram um melhor desempenho na representação das temperaturas máximas (TX) em comparação com as temperaturas mínimas (TN).

Adicionalmente, a partir das métricas BIAS e RB, é possível observar que, em média, ambos os programas de reanálise tendem a subestimar a TX e superestimar a TN. Esses resultados são coerentes com os observados por Balmaceda-Huarte *et al* (2021) e Avila-Diaz (2020) para a região sul do Brasil. No entanto, a TM é

subestimada pelo ERA5 e superestimada pelo JRA-55.

Uma possível explicação para a dificuldade das reanálises na estimativa da temperatura mínima do ar (TN), inclusive com tendência em superestimar esta classe de temperatura, pode estar relacionada ao fenômeno da inversão térmica, que ocorre durante a madrugada e o início da manhã, os períodos mais frios do dia. Pois, durante a ocorrência deste fenômeno, o ar frio se concentra próximo à superfície, enquanto uma camada de ar mais quente se forma acima, criando desafios para os modelos de reanálise na captura precisa das temperaturas do ar próximas ao solo.

Os dois programas de reanálise apresentaram maiores valores de MAE e RMSE para TX e TN em relação à TM, com o ERA5 apresentando desempenho superior ao JRA-55 para as três categorias de temperatura do ar.

Quanto ao DISO, os resultados indicam valores abaixo de 0,5 para ambos os programas de reanálise, com menor resultado para TM no ERA5 (DISO=0,11) e maior valor para TN no JRA-55 (DISO=0,37). Isso sugere que, embora o ERA5 apresente valores menores, ambos os programas são capazes de capturar bem os valores medidos nas estações, conforme os critérios estabelecidos por Hu *et al* (2019).

Portanto, embora as duas reanálises analisadas – ERA5 e JRA-55 – utilizem fontes de dados comparáveis, as divergências nas métricas observadas provavelmente resultam das distinções nos modelos atmosféricos subjacentes, desenvolvidos pela ECMWF (ERA5) e pela JMA (JRA-55). Esses modelos aplicam técnicas distintas de assimilação e parametrização dos dados, além de divergirem na resolução espacial e temporal.

Além disso, os resultados sugerem que o ERA5 tem maior capacidade de representar variações das temperaturas do ar diárias, especialmente nas estações com séries temporais mais curtas e altitudes variáveis, ao passo que o JRA-55 apresentou maiores desvios em algumas estações.

Esses fatores apresentados nessa seção buscam destacar a importância de escolher cuidadosamente o conjunto de dados de reanálise para estudos regionais, especialmente em cenários de mudanças climáticas, onde a precisão na captura de extremos climáticos é essencial para uma modelagem mais robusta e confiável.

As diferenças entre as reanálises, embora esperadas, revelam a necessidade de avaliar não apenas a qualidade geral dos dados, mas também a adequação de cada reanálise para capturar eventos climáticos específicos e atender às particularidades regionais de cada estudo. Essa análise comparativa entre o ERA5 e

o JRA-55 no Paraná evidencia a superioridade do ERA5, consolidando-o como uma escolha preferencial para estudos futuros na região.

4.2 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS DERIVADOS DOS CONJUNTOS DE REANÁLISE ERA5 E JRA-55

Nesta seção, o objetivo é comparar e avaliar o desempenho das reanálises ERA5 e JRA-55 na estimativa dos índices de extremos climáticos estabelecidos pelo ETCCDI, a fim de identificar qual conjunto de dados representa, com maior acurácia, esses fenômenos no estado do Paraná.

A partir da série temporal de temperaturas mínima, média e máxima diárias do ar, os índices de extremos climáticos descritos no Quadro 8 foram calculados para as estações meteorológicas e reanálises, ERA5 e JRA-55, utilizando o pacote '*climdex.pcic*' no R (BRONAUGH, 2020). Esses índices fornecem uma análise detalhada das variações climáticas extremas, sendo indispensáveis para prever e compreender os impactos de eventos extremos.

Para avaliar o desempenho das reanálises, foram aplicadas as métricas estatísticas coeficiente de correlação (CC), viés relativo (RB), raiz do erro quadrático médio (RMSE) e distância entre os índices de simulação e observação (DISO), comparando os resultados de cada reanálise com os dados observacionais das estações meteorológicas. Os resultados estão disponíveis nos Apêndices C a F para os dados do ERA5, e nos Apêndices G a J para o JRA-55.

De modo geral, similarmente ao padrão observado para TX, TN e TM, o ERA5 demonstrou desempenho superior ao JRA-55 na maioria das estações meteorológicas ao considerar as métricas CC, RMSE e DISO, com exceções pontuais em algumas estações e índices. Os valores de RB tiveram maiores variações entre as estações analisadas, sugerindo que o viés pode ser influenciado por fatores locais, como as características topográficas e microclimáticas. E, embora o ERA5 tenha mostrado um desempenho geral superior, algumas estações e índices específicos revelaram exceções, o que indica a complexidade da simulação dos extremos climáticos em diferentes contextos regionais.

Ao analisar os Apêndices C, D, F, G, H e J, nota-se que os índices FD (dias de geada) e CSDI (índice de duração de onda fria) exibem valores "NA" para algumas estações nas métricas CC, RB e DISO. Isso ocorreu devido ao fato de que as séries

de dados de referência, proveniente das estações meteorológicas, continham apenas valores nulos (zero) para esses índices em determinadas localidades. Essa situação é comum em regiões onde as temperaturas do ar não atingem níveis suficientemente baixos para gerarem esses índices de extremos climáticos, como é o caso em diversas áreas do estado do Paraná.

Para compreender melhor a abrangência dos resultados obtidos, foram estabelecidos intervalos para os valores de CC e DISO, organizando as estações meteorológicas de acordo com sua performance nas reanálises ERA5 e JRA-55, conforme apresentado nas Tabela 6 e Tabela 7.

Tabela 6 – Distribuição percentual das estações meteorológicas agrupadas por intervalo de CC e DISO para o conjunto de dados do ERA5.

Obs.: Valores em negrito destacam termos mencionados diretamente no texto.

Índices de Extremos Climáticos	INTERVALOS DE CC			INTERVALOS DE DISO		
	≥ 0,8	0,5 - 0,8	≤ 0,5	≤ 0,2	0,2 - 0,5	≥ 0,5
TXx	92,9%	7,1%	0,0%	88,1%	11,9%	0,0%
TXn	100,0%	0,0%	0,0%	88,1%	11,9%	0,0%
TNx	78,6%	21,4%	0,0%	73,8%	23,8%	2,4%
TNn	100,0%	0,0%	0,0%	35,7%	59,5%	4,8%
DTR	69,0%	31,0%	0,0%	28,6%	66,7%	4,8%
FD	26,2%	21,4%	14,3%	0,0%	2,4%	59,5%
SU	64,3%	23,8%	11,9%	45,2%	31,0%	23,8%
TR	11,9%	76,2%	11,9%	4,8%	9,5%	85,7%
GSL	76,2%	7,1%	16,7%	76,2%	7,1%	16,7%
TX10p	33,3%	64,3%	2,4%	0,0%	0,0%	100,0%
TX90p	57,1%	40,5%	2,4%	0,0%	0,0%	100,0%
TN10p	59,5%	40,5%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
TN90p	7,1%	81,0%	11,9%	0,0%	0,0%	100,0%
WSDI	9,5%	57,1%	33,3%	0,0%	0,0%	100,0%
CSDI	11,9%	19,0%	59,5%	0,0%	2,4%	88,1%

Fonte: o próprio autor.

Em relação ao coeficiente de correlação (CC), todas as estações apresentaram valores superiores a 0,8 para os índices de temperatura máxima noturna (TXn) e mínima noturna (TNn) em ambas as reanálises, indicando uma forte correlação entre os dados simulados (reanálise) e os observados para essas variáveis (referência). Em contrapartida, os índices de extremos de temperatura máxima diária (TXx) e mínima

diária (TNx) apresentaram estações com correlações mais fracas, variando entre 0,5 e 0,8, com destaque negativo para o TNx na reanálise JRA-55, onde 64,3% das estações meteorológicas se situaram nessa faixa de correlação.

Os índices baseados em percentis, como o TX10p (dias frios), TX90p (dias quentes), TN10p (noites frias) e TN90p (noites quentes), também mostraram correlações fracas em ambas as reanálises. O JRA-55 em especial teve um desempenho inferior, com mais da metade das estações registrando valores de CC entre 0,5 e 0,8.

Tabela 7 – Distribuição percentual das estações meteorológicas agrupadas por intervalo de CC e DISO para o conjunto de dados do JRA-55.

Obs.: Valores em negrito destacam termos mencionados diretamente no texto.

Índices de Extremos Climáticos	INTERVALOS DE CC			INTERVALOS DE DISO		
	≥ 0,8	0,5 - 0,8	≤ 0,5	≤ 0,2	0,2 - 0,5	≥ 0,5
TXx	88,1%	11,9%	0,0%	69,0%	31,0%	0,0%
TXn	100,0%	0,0%	0,0%	66,7%	33,3%	0,0%
TNx	35,7%	64,3%	0,0%	2,4%	95,2%	2,4%
TNn	100,0%	0,0%	0,0%	7,1%	42,9%	50,0%
DTR	2,4%	47,6%	50,0%	0,0%	7,1%	92,9%
FD	0,0%	7,1%	23,8%	0,0%	0,0%	31,0%
SU	16,7%	61,9%	21,4%	9,5%	50,0%	40,5%
TR	7,1%	61,9%	31,0%	0,0%	4,8%	95,2%
GSL	78,6%	2,4%	19,0%	78,6%	2,4%	19,0%
TX10p	0,0%	95,2%	4,8%	0,0%	0,0%	100,0%
TX90p	0,0%	92,9%	7,1%	0,0%	0,0%	100,0%
TN10p	28,6%	69,0%	2,4%	0,0%	0,0%	100,0%
TN90p	0,0%	78,6%	21,4%	0,0%	0,0%	100,0%
WSDI	0,0%	28,6%	71,4%	0,0%	0,0%	100,0%
CSDI	7,1%	26,2%	52,4%	2,4%	0,0%	83,3%

Fonte: o próprio autor.

Ao analisar os dados provenientes do ERA5, mais de 95% das estações meteorológicas apresentaram DISO inferior a 0,5 para os índices absolutos de extremos de temperatura, como temperatura máxima diária (TXx), temperatura máxima noturna (TXn), temperatura mínima diária (TNx) e temperatura mínima noturna (TNn), bem como para a amplitude térmica diária (DTR). Esses resultados indicam que o ERA5 possui uma alta capacidade em estimar, de forma precisa, as

temperaturas diárias e a variação de amplitude térmica em grande parte das estações avaliadas, reforçando seu desempenho superior na captura de extremos climáticos em comparação ao JRA-55.

Por outro lado, ao utilizar os dados do JRA-55, mais de 95% das estações obtiveram DISO inferior a 0,5 apenas para TXx, TXn e TNx enquanto para TNn, metade das estações apresentou valores de DISO superior a 0,5, o que revela dificuldades dessa reanálise em estimar com precisão as temperaturas mínimas noturnas. Em relação ao DTR (amplitude térmica diária), 92,9% das estações apresentaram DISO acima de 0,5, destacando a menor eficácia do JRA-55 na estimativa da amplitude térmica diária.

Quando analisados os índices baseados em percentis, como TX10p (dias frios), TX90p (dias quentes), TN10p (noites frias) e TN90p (noites quentes), observou-se um desempenho insatisfatório em ambas as reanálises. Todas as estações apresentaram DISO superiores a 0,5, indicando uma baixa capacidade dos modelos de reanálise em estimar adequadamente esses índices percentuais. Esse resultado sugere que a simulação dos extremos climáticos baseados em percentis para a região de estudo é especialmente desafiadora para os modelos de reanálise, possivelmente devido à natureza não linear dos eventos extremos e à complexidade de sua captura espacial e temporal.

O mesmo padrão foi observado para os índices de duração que consideram valores de percentis, como o WSDI (índice de duração de ondas de calor) e o CSDI (índice de duração de ondas de frio), onde mais de 80% das estações meteorológicas mostraram DISO superiores a 0,5 em ambas as reanálises. Essa performance pode estar associada à dificuldade de simular com precisão a persistência de eventos extremos de longa duração, que envolvem variações meteorológicas complexas, muitas vezes influenciadas por condições locais que podem não ser capturadas adequadamente pelas resoluções espaciais dos modelos.

Considerando os dados do ERA5, os índices de SU (dias de verão) e GSL (duração da estação de crescimento) apresentaram um desempenho significativamente melhor, com 76,2% e 83,3% das estações, respectivamente, registrando DISO inferiores a 0,5. Esses resultados refletem a maior eficácia do ERA5 na estimativa de índices que não dependem diretamente de percentis ou de extremos isolados, mas sim de tendências sazonais mais amplas.

Por outro lado, os dados do JRA-55 indicam que 59,5% das estações para SU

(dias de verão) e 81% para GSL tiveram DISO inferior a 0,5, o que sugere uma maior dificuldade desse modelo em estimar corretamente a variação sazonal nas estações meteorológicas do Paraná. No entanto, para o índice TR (noites tropicais), mais de 80% das estações apresentaram DISO superiores a 0,5 em ambas as reanálises, apontando para um desafio comum nos dois modelos na representação desse índice específico.

É importante ressaltar que, conforme indicado nas Tabela 6 e Tabela 7, os índices CSDI e FD (dias de geada) não somam 100% para as métricas CC e DISO, uma vez que as estações com valores NA (não aplicáveis) foram excluídas da análise. Essa particularidade deve ser considerada ao interpretar os resultados, uma vez que as estações sem dados disponíveis podem influenciar a avaliação da performance geral das reanálises para esses índices.

Para realizar uma análise abrangente dos índices de extremos climáticos gerados a partir dos dados de reanálises no estado do Paraná, a Tabela 8 apresenta a média das métricas estatísticas para cada índice avaliado. A partir desses dados, observa-se que, em geral, os coeficientes de correlação (CC) foram mais elevados no ERA5, destacando-se pela melhor capacidade de capturar a variação dos extremos climáticos, quando comparado ao JRA-55. A única exceção foi o índice GSL (duração da estação de crescimento), que apresentou desempenho ligeiramente superior no JRA-55, sugerindo uma vantagem marginal dessa reanálise na representação de fenômenos sazonais.

Ao comparar os dois programas de reanálise, observa-se que os valores médios de CC encontrados nesta análise são superiores aos reportados por Lima e Alcantara (2019) em seu estudo sobre os índices TXx, TXn, TNx e TNn no nordeste do Brasil. Os autores, ao utilizarem as reanálises ERA-Interim, CFSR e NCEP, obtiveram valores de correlação menores em relação à presente pesquisa, sugerindo a existência de diferenças regionais no desempenho das reanálises, mesmo entre áreas geograficamente próximas.

Essas diferenças podem ser parcialmente atribuídas ao desempenho superior da versão mais recente da reanálise da ECMWF, o ERA5, em relação à versão anterior, o ERA-Interim. Esse resultado é esperado, uma vez que a qualidade das reanálises tem melhorado significativamente devido ao progresso na recuperação e homogeneização de observações passadas e aos avanços nas técnicas de assimilação de dados empregadas pelas agências que controlam tais programas

(KOBAYASHI et al., 2015). Quando comparado ao ERA-Interim, o ERA5 utiliza uma resolução espacial mais alta e algoritmos mais avançados de assimilação, o que contribui para uma melhor representação dos extremos climáticos.

Tabela 8 – Média das métricas estatísticas para os índices de extremos climáticos do conjunto de dados do ERA5 e JRA-55 quando comparadas aos dados das estações meteorológicas.

Obs.: Valores em negrito destacam termos mencionados diretamente no texto.

MÉTRICA	ÍNDICE	ERA5	JRA-55	MÉTRICA	ÍNDICE	ERA5	JRA-55
CC	TXx	0,92	0,88	RB	TXx	-3,10	-6,89
	TXn	0,94	0,91		TXn	-3,61	-3,37
	TNx	0,85	0,77		TNx	0,17	9,04
	TNn	0,96	0,94		TNn	7,14	27,49
	DTR	0,84	0,50		DTR	-10,66	-32,28
	FD	0,67	0,36		FD	-10,26	-95,81
	SU	0,77	0,61		SU	-8,82	-17,49
	TR	0,63	0,56		TR	40,33	571,19
	GSL	0,82	0,85		GSL	-0,02	0,01
	TX10p	0,75	0,61		TX10p	-12,74	0,04
	TX90p	0,78	0,68		TX90p	33,66	-1,81
	TN10p	0,80	0,73		TN10p	-7,48	-5,34
	TN90p	0,68	0,58		TN90p	26,81	4,20
	WSDI	0,56	0,40		WSDI	208,33	68,85
CSDI	0,43	0,37	CSDI	121,93	39,40		
RMSE	TXx	1,69	2,80	DISO	TXx	0,12	0,19
	TXn	1,77	2,41		TXn	0,14	0,20
	TNx	1,34	2,46		TNx	0,18	0,30
	TNn	1,68	3,04		TNn	0,27	0,55
	DTR	1,55	3,76		DTR	0,29	0,77
	FD	1,09	1,57		FD	1,92	1,98
	SU	27,21	47,67		SU	0,34	0,54
	TR	24,65	61,09		TR	1,41	10,37
	GSL	0,39	0,28		GSL	0,22	0,18
	TX10p	6,01	7,29		TX10p	0,76	0,95
	TX90p	9,17	9,10		TX90p	1,15	1,10
	TN10p	6,30	6,91		TN10p	0,76	0,84
	TN90p	9,56	9,32		TN90p	1,22	1,20
	WSDI	10,95	8,24		WSDI	4,60	3,04
CSDI	4,41	3,72	CSDI	4,65	3,72		

Fonte: o próprio autor.

Outro fator que pode ter influenciado as diferenças entre os resultados é o intervalo de tempo analisado por Lima e Alcântara (2019), que abrangeu o período de 1996 a 2016. Esse período relativamente limitado pode ter restringido a captura de variações climáticas de longo prazo, afetando a qualidade das correlações observadas. Em contrapartida, o uso de séries temporais mais longas ou a inclusão de dados mais recentes, como no caso da reanálise ERA5, tende a melhorar a confiabilidade das estimativas, proporcionando uma representação mais robusta das variações climáticas regionais.

Em conformidade com as observações dos valores diários de temperatura do ar, a análise dos valores médios do viés relativo (RB) revelou uma tendência comum em ambos os programas de reanálise, ERA5 e JRA-55: a subestimação dos índices relacionados às temperaturas máximas (TXx e TXn) e superestimação dos índices relacionados às temperaturas mínimas (TNx e TNn). Esses resultados refletem um padrão observado também em estudos regionais, como os de Avila-Diaz *et al* (2020) e Balmaceda-Huarte *et al* (2021), que identificaram tendências semelhantes ao avaliarem os dados do ERA5 na Região Hidrográfica do Rio Paraná e na região sul do Brasil, respectivamente.

Por outro lado, quando analisados os índices baseados em percentis, os resultados mostram uma inversão desse padrão. Os índices relacionados aos limiares inferiores como TX10p e TN10p (percentis de dias frios e noites frias), foram subestimados por ambos os programas de reanálise, com valores mais acentuados no ERA5, ao obter valores médios de RB de -12,74% para o TX10P e -7,48% para o TN10p. Em contraste, os limiares superiores, como TX90p e TN90p (percentis de dias quentes e noites quentes), foram superestimados, também sendo mais acentuado no ERA5, com valores médios de RB de 33,66% para o TX90p e 26,81% para o TN90p.

Essas observações sublinham a complexidade adicional ao lidar com extremos climáticos e ressaltam a necessidade de considerar múltiplos índices e metodologias para obter uma análise mais abrangente das variações climáticas em diferentes regiões e contextos.

Em relação à amplitude térmica diária (DTR), ambos os programas de reanálise subestimaram consistentemente esse índice, sendo o JRA-55 o que apresentou as maiores discrepâncias, com um RB médio de -32,28% comparado aos -10,66% no ERA5. Esse resultado reflete um padrão semelhante ao observado por Avila-Diaz *et al*. (2020), que identificaram tendências do ERA5 em subestimar os valores de DTR,

resultando em BIAS negativos, corroborando a dificuldade das reanálises em capturar adequadamente as variações diárias de temperatura em determinadas regiões.

Ao adotar as premissas estabelecidas por Hu *et al.* (2019), verifica-se que o ERA5 estimou adequadamente sete dos quinze índices avaliados, incluindo TXx, TXn, TNx, TNn, DTR, SU e GSL, todos com valores de DISO inferiores a 0,5. Em contrapartida, o JRA-55 apresentou valores de DISO abaixo de 0,5 para apenas quatro índices (TXx, TXn, TNx e GSL) refletindo, novamente, a superioridade do ERA5 para a região em estudo.

De modo geral, observa-se que ambos os programas de reanálise conseguem estimar satisfatoriamente os valores extremos de temperatura mínima e máxima do ar (TXx, TXn, TNx e TNn) para o período analisado, com melhor desempenho relacionado às temperaturas máximas e às amplitudes térmicas diária (DTR).

No entanto, quando se trata da contagem de dias que excedem limiares específicos, as reanálises apresentam maior acurácia no índice relacionado aos dias de verão (SU) com 76,2% das estações mostrando DISO inferiores a 0,5 no ERA5 e 59,5% no JRA-55. Por outro lado, os índices relacionados aos dias frios (TR e FD) enfrentam maiores dificuldades nas duas reanálises, com o ERA5 demonstrando DISO superior a 0,5 em mais de 80% das estações para TR, e o JRA-55 com desempenho ainda mais fraco para os mesmos índices. Essa dificuldade está alinhada com as limitações observadas na representação das temperaturas mais frias.

Além disso, os índices que avaliam a frequência com que os limiares dos percentis são excedidos (TX10p, TX90p, TN10p e TN90p) e a duração desses eventos (WSDI e CSDI), mostraram dificuldades de representação em ambas as reanálises. Os valores de DISO superiores a 0,5 para todos esses índices indicam que as reanálises não conseguem reproduzir esses extremos de maneira satisfatória.

Comparando os resultados desta pesquisa com um estudo conduzido na China por Xu *et al.* (2022), observa-se uma diferença significativa nos valores de DISO para os índices absolutos e para a amplitude térmica. Enquanto os valores de DISO na China foram maiores para esses índices, os valores para os índices baseados em percentis foram menores. A maioria das estações da China registrou DISO inferior a 0,5 para índices baseados em percentis, indicando um desempenho relativamente melhor nesse aspecto.

Essas divergências podem ser atribuídas às diferenças nas temperaturas médias do ar nos dois territórios. Na China, onde as temperaturas médias são mais

baixas, o ERA5 encontra maior dificuldade em estimar com precisão os índices absolutos, que são melhor representados em contextos de temperaturas mais elevadas. Por outro lado, a menor variação de temperatura do ar no território chinês contribui para o melhor desempenho dos índices baseados em percentis, que se mostram mais precisos nessa região.

Pelo exposto anteriormente, embora os resultados desta pesquisa sejam satisfatórios para estimativa das temperaturas diárias do ar e de uma parcela dos índices de extremos climáticos no Paraná, fica evidente a necessidade de aprimorar a acurácia das reanálises climáticas para diferentes regiões e condições. A análise reforça que o desempenho das reanálises pode variar significativamente dependendo das características climáticas locais, evidenciando a importância de uma abordagem adaptada regionalmente para a interpretação e aplicação dos dados.

4.3 MAPEAMENTO DOS ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS DE TEMPERATURA DO AR

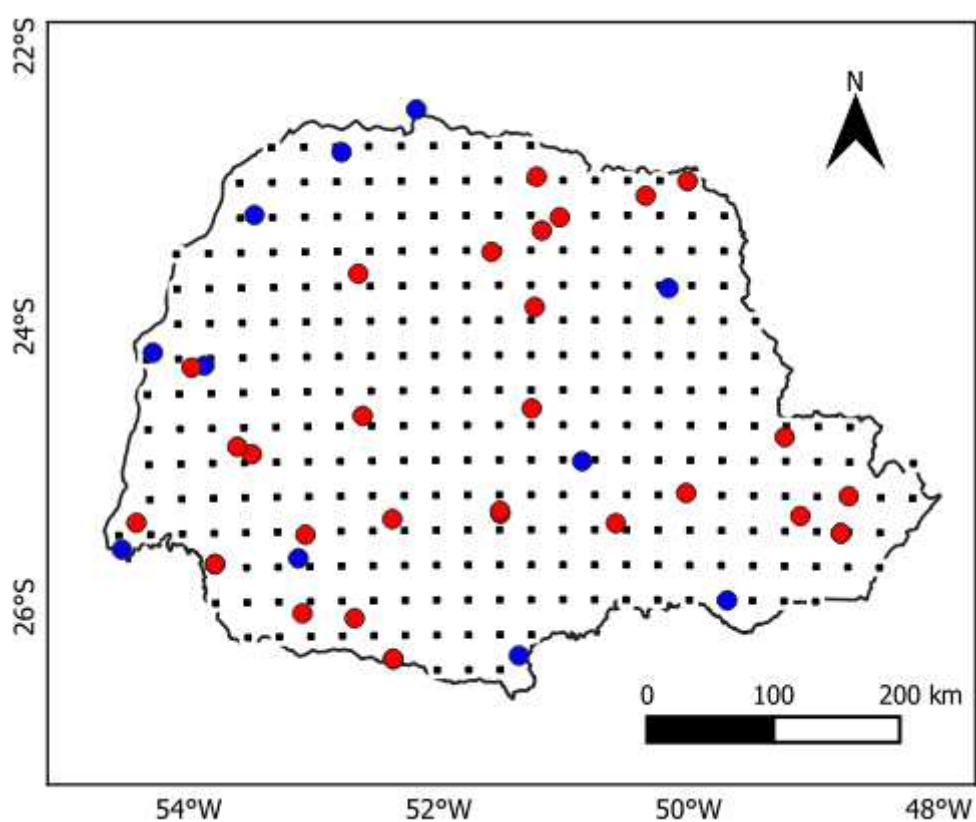
Nesta seção, apresenta-se o mapeamento dos índices de extremos climáticos de temperatura do ar para o estado do Paraná, utilizando dados da reanálise ERA5, o conjunto de dados que demonstrou melhor desempenho em comparação com as observações das estações meteorológicas de referência. O objetivo deste mapeamento é identificar padrões espaciais e temporais relacionados às variações dos índices na região. O foco está em analisar a existência de tendências significativas de aquecimento ou resfriamento, bem como suas implicações climáticas e socioeconômicas.

Para a análise dos extremos climáticos no estado do Paraná, os dados de temperatura do ar provenientes da reanálise ERA5 foram utilizados no cálculo dos índices climáticos TXx (dia mais quente), TXn (noite mais quente), TNx (dia mais frio), TNn (noite mais fria), DTR (amplitude térmica diária), SU (dias de verão) e GSL (duração da estação de crescimento).

Esses índices, conforme discutido no subcapítulo anterior, foram selecionados devido à sua adequada representação pelo ERA5, com base na métrica estatística DISO (Distância entre Índices de Simulação e Observação), que avaliou a acurácia das estimativas em relação às observações de referência das estações meteorológicas.

O ERA5 oferece uma cobertura abrangente da área de estudo, com 287 células de grade distribuídas no território do Paraná, conforme ilustrado na Figura 10, que também indica a localização geográfica das estações meteorológicas utilizadas como referência. Cada célula do ERA5 cobre, aproximadamente, 694,42 km², proporcionando uma densidade espacial adequada para a análise regional de tendências climáticas.

Figura 10 - Células de grade do ERA5 no interior do estado do Paraná com as estações meteorológicas representadas em vermelho (IDR) e azul (Agritempo).



Fonte: o próprio autor.

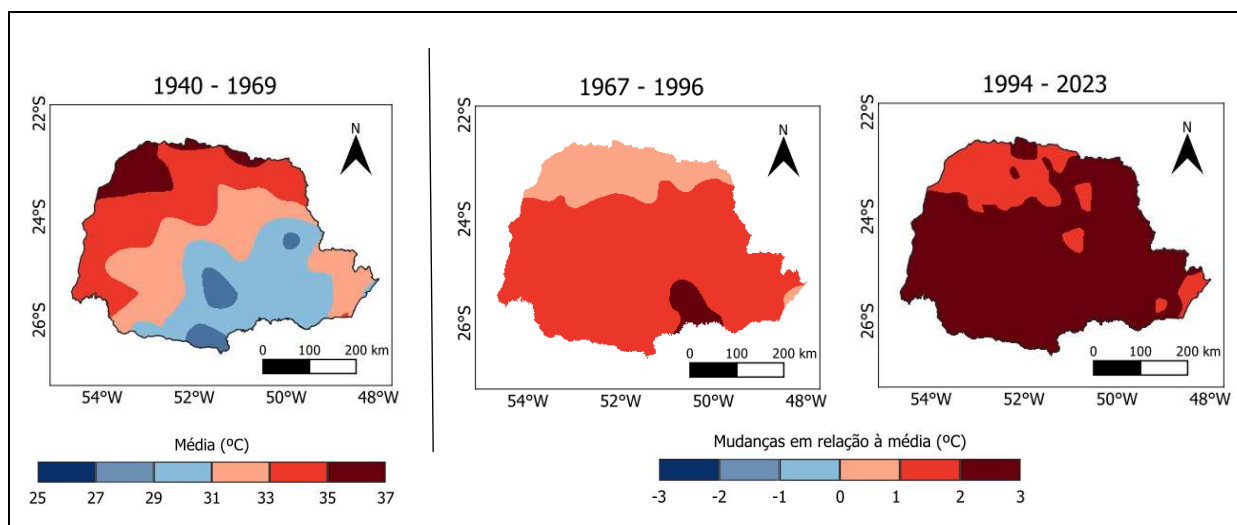
Para captar as variações dos índices ao longo dos anos, foram definidos três períodos de 30 anos (normal climatológica), conforme recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Como a série temporal do ERA5 inicia-se em 1940, os períodos escolhidos para essa análise foram: 1940-1969, 1967-1996 e, 1994-2023, permitindo a observação das mudanças nos índices ao longo de quase um século de dados.

A geração dos mapas de variação espacial dos índices foi realizada a partir da

interpolação por *splines* cúbicas (*cubic spline*), implementado no software QGIS. Esse procedimento transformou os valores pontuais de cada célula de grade em superfícies contínuas, representadas por *rasters* coloridos. Essa abordagem possibilita a visualização detalhada das distribuições espaciais dos índices estudados, evidenciando as áreas com maiores alterações e tendências ao longo dos períodos analisados.

A Figura 11 apresenta três mapas que detalham a distribuição espacial do índice TXx (dia mais quente) para o estado do Paraná ao longo dos três períodos de 30 anos selecionados. O primeiro mapa corresponde à média dos valores de TXx para cada célula da reanálise no período de 1940-1969. Os mapas subsequentes ilustram as variações dessa média para os períodos de 1967-1996 e 1994-2023, respectivamente, permitindo a comparação temporal das mudanças no índice.

Figura 11 – Distribuição espacial e variações temporais do índice TXx no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023.



Fonte: o próprio autor.

No primeiro período (1940-1969), os valores de TXx variaram consideravelmente em função da localização geográfica. A região noroeste do estado apresentou as maiores médias de temperatura máxima diária, com valores atingindo até 36,5 °C, enquanto a região sul exibiu as menores médias, com o valor mais baixo registrado em torno de 27,7 °C.

De modo geral, observa-se que os valores médios do dia mais quente do ano (TXx) têm aumentado em todo o estado do Paraná. Esse aumento é mais acentuado

na região sul no período de 1967-1996, onde uma pequena área apresenta variações positivas de 2 °C a 3 °C. Já no período mais recente (1994-2023), as diferenças são evidentes em praticamente todo estado, com variações positivas de 2 °C a 3 °C, exceto na região noroeste e no litoral, que apresentam aumentos com menores magnitudes.

Qualitativamente, os mapas destacam a expansão das áreas de alta temperatura máxima ao longo dos anos, indicando que o aquecimento não apenas se intensificou, mas também se espalhou geograficamente, afetando de forma crescente regiões centrais e sulistas do estado. Essa análise aponta para um padrão climático em transformação, com implicações significativas para setores como a agricultura e a saúde pública, especialmente para trabalhadores da construção civil, frequentemente expostos ao ambiente e diretamente vulneráveis a esses extremos climáticos.

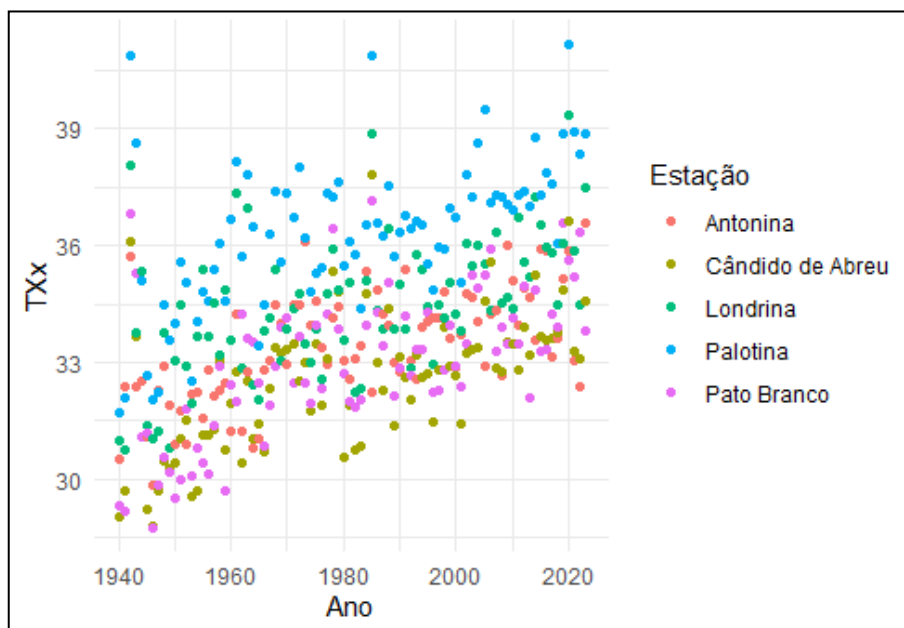
Para analisar o comportamento do índice TXx ao longo do período estudado, a Figura 12 apresenta a evolução desse índice em cinco municípios de diferentes regiões do estado do Paraná. Antonina representa a área costeira, Londrina a região norte, Palotina a região oeste, Cândido de Abreu a região central, e Pato Branco a região sul.

Seguindo a tendência observada nos mapas da Figura 11, todos os municípios apresentaram aumento no valor do índice TXx ao longo dos anos, com variações mais acentuadas nas localidades do interior e menos pronunciadas na região costeira, representada por Antonina.

Para identificar as tendências nos índices de temperatura do ar, a um nível de 5% de significância, a Figura 13 apresenta o mapeamento detalhado das áreas onde essas tendências foram observadas ao longo dos períodos avaliados. Durante o período de 1967-1996, praticamente não foram detectadas tendências significativas em todo o estado do Paraná, exceto por uma pequena área localizada na região sul, onde se verificaram tendências significativas positivas. Tal comportamento sugere uma estabilidade relativa nos extremos climáticos de temperatura durante esse intervalo.

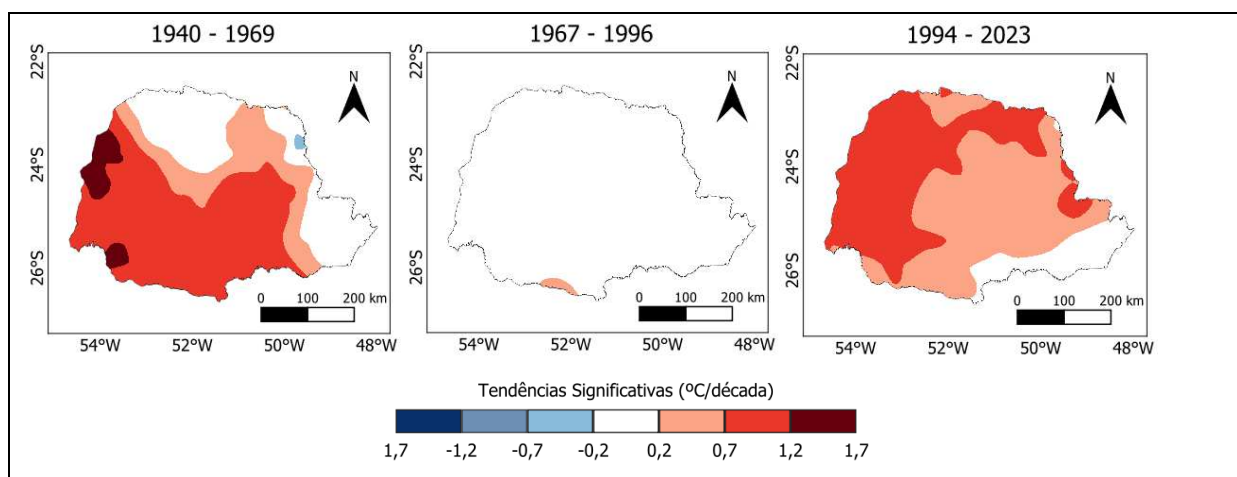
Nos períodos de 1940-1969 e 1994-2023, observaram-se tendências significativas positivas em diversas regiões do estado. No entanto, no período de 1940-1969, uma área isolada no nordeste do estado destacou-se por apresentar tendências significativas negativas.

Figura 12 – Variação anual dos valores de TXx para cinco municípios localizados em regiões distintas do estado do Paraná.



Fonte: o próprio autor.

Figura 13 – Distribuição espacial das tendências significativas de TXx no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023 ($p < 0,05$).

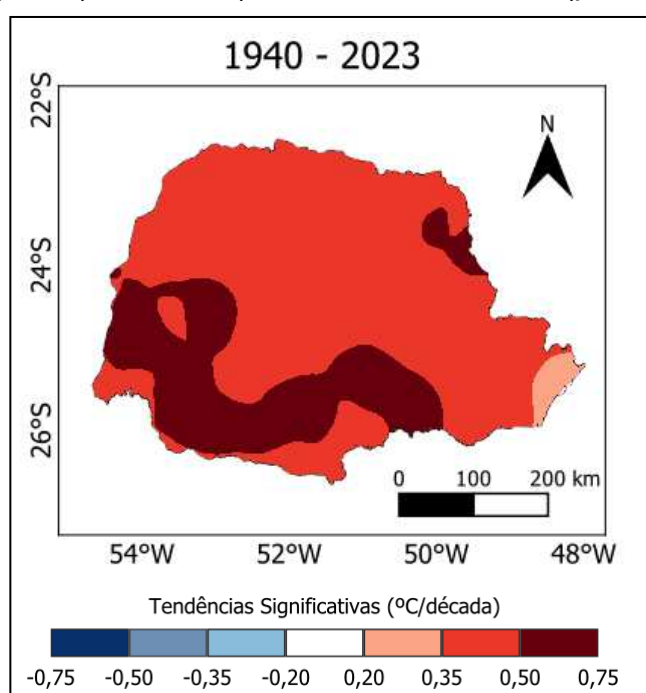


Fonte: o próprio autor.

As tendências mais acentuadas foram observadas entre 1940 e 1969, especialmente na região oeste, onde o aumento das temperaturas máximas diárias atingiu um valor máximo de 1,32 °C por década, indicando um forte aquecimento naquela área. Esse padrão reflete um período de aquecimento regional considerável, principalmente em áreas mais distantes da costa e em regiões com menor altitude.

A Figura 14, por sua vez, exibe as tendências significativas para o período completo dos dados da reanálise do ERA5 (1940-2023). Nesse intervalo, todo o estado do Paraná apresentou tendências significativas positivas, evidenciando um aquecimento contínuo ao longo das décadas. As menores variações foram observadas na região litorânea, enquanto as áreas com as tendências mais acentuadas situam-se na região sul e oeste do estado, sugerindo um aquecimento progressivo nessas áreas ao longo dos últimos 80 anos.

Figura 14 – Distribuição espacial das tendências significativas de TXx para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).



Fonte: o próprio autor.

Ely e Fortin (2019) ao estudarem 10 estações meteorológicas no estado do Paraná, para o período de 1971 a 2014, observaram tendências de aumento dos índices TXx em 8 delas, sendo que 4 apresentaram valores estatisticamente significativos. As estações localizadas em Londrina (com duas estações), Umuarama e Bela Vista do Paraíso, situadas nas regiões norte e noroeste do estado, destacaram-se com as tendências mais fortes. Embora os períodos analisados por Ely e Fortin (2019) não sejam coincidentes com os deste estudo, há uma convergência nos resultados. A análise dos dados de reanálise ERA5, apresentada nas Figura 11 e Figura 13, também revela uma tendência positiva significativa para TXx em quase todo

o estado do Paraná, confirmando o aquecimento contínuo, especialmente nas áreas mencionadas.

Os resultados observados para o TXx também estão alinhados com pesquisas que contemplaram áreas de estudo maiores. Avila-Diaz *et al* (2020), ao analisarem os dados observacionais em grade (OBS-BR) e a reanálise ERA5 para o território brasileiro entre 1980 e 2016, encontraram tendências positivas significativas para o índice TXx no estado do Paraná. A tendência de aquecimento para TXx também foi confirmada por Balmaceda-Huarte *et al* (2021), que avaliaram toda a região sul da América do Sul no período de 1979 a 2017, utilizando dados do ERA5 e do Centro de Previsão Climática (CPC), instituição do Serviço Nacional de Oceanografia e Atmosfera dos Estados Unidos (NOAA – sigla em inglês). Essas análises evidenciaram que o sul do Brasil, incluindo o Paraná, está sujeito a tendências de aquecimento significativas, com aumentos de temperatura em toda a região, particularmente nas regiões oeste e noroeste.

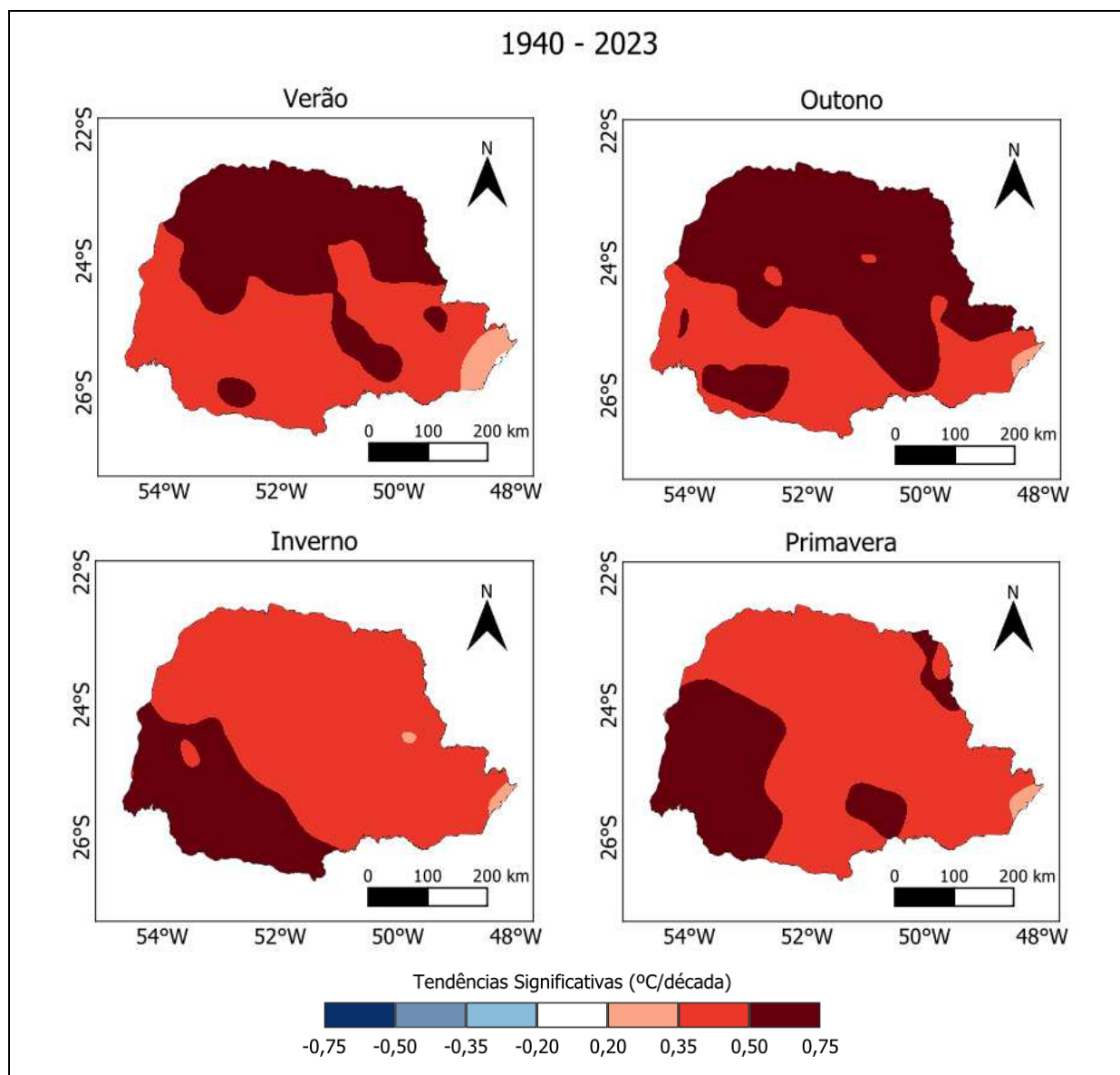
Ao avaliar as tendências sazonais do índice TXx ao longo de todo o período analisado, conforme ilustra a Figura 15, constatou-se uma clara variação espacial das tendências entre as estações do ano. Durante o verão e o outono, os maiores valores de TXx concentram-se, predominantemente, na região norte do estado com aumentos significativos nas temperaturas máximas que se alinham às características climáticas dessa área, mais próxima da zona tropical. No inverno e na primavera, no entanto, as tendências mais acentuadas ocorreram na porção sudoeste, refletindo um padrão de aquecimento sazonal mais pronunciado nessas regiões.

De maneira geral, todas as estações do ano apresentaram tendências significativas positivas, com menores magnitudes no litoral, o que é consistente com os resultados anuais mostrados na Figura 14.

No litoral do Paraná, as tendências foram mais moderadas, sugerindo uma menor variação nas temperaturas máximas ao longo das estações, o que pode estar relacionado à influência moderadora da proximidade com o oceano e da umidade costeira.

A identificação dessas tendências sazonais reforça a necessidade de abordagens diferenciadas para mitigar os impactos do aquecimento em diferentes épocas do ano e regiões do estado, especialmente no contexto de setores sensíveis, como agricultura e recursos hídricos, que podem ser afetados de maneira distinta conforme a estação do ano.

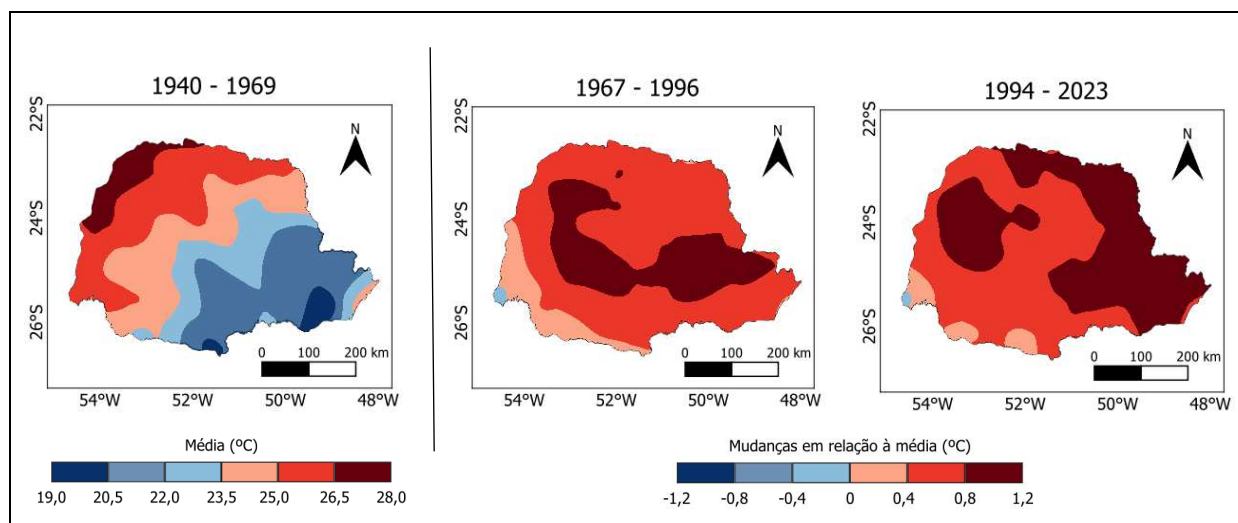
Figura 15 – Distribuição espacial das tendências significativas de TXx sazonal para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).



Fonte: o próprio autor.

Para o índice que mensura a noite mais quente (TXn), as variações em relação à média observada no período de 1940-1969 seguem um padrão semelhante ao observado para o dia mais quente (TXx). Conforme os períodos avançam, as mudanças em relação à média tornam-se progressivamente mais acentuadas, como demonstrado na Figura 16.

Figura 16 – Distribuição espacial e variações temporais do índice TXn no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023.



Fonte: o próprio autor.

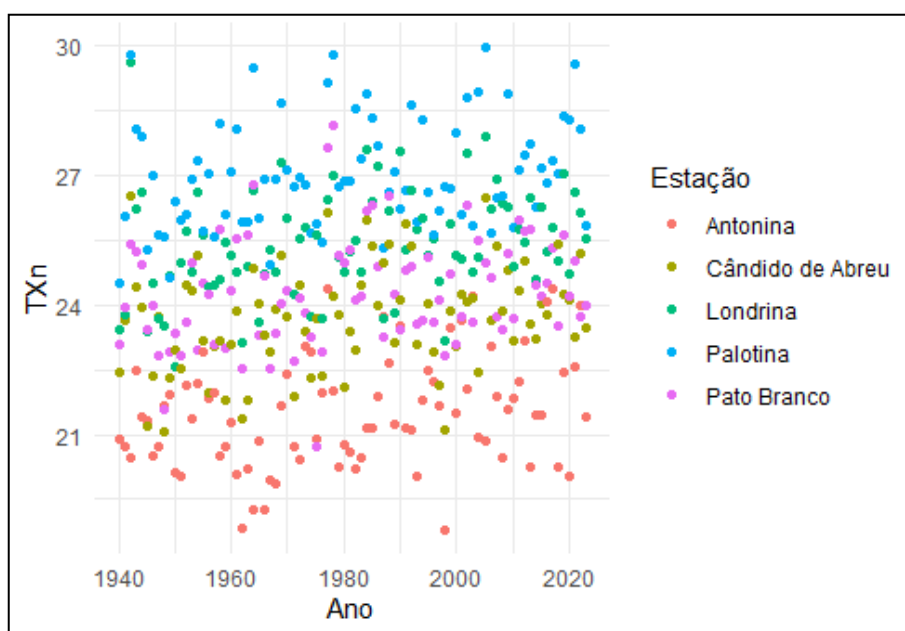
Para o período de 1967-1996, as maiores variações positivas de TXn foram registradas na região central do estado, com incrementos que variam entre 0,8 °C a 1,2 °C em relação à média de 1940-1969. Essas variações indicam um aumento gradual das temperaturas noturnas máximas, especialmente nessa região. Em contrapartida, no período de 1994-2023 os maiores valores extremos se concentram nas regiões leste e noroeste do estado, refletindo um aquecimento mais pronunciado nessas áreas. A exceção ao aumento registrado em ambos os períodos se deu na região oeste, onde, embora de maneira sucinta, a região do município de Foz do Iguaçu apresentou mudanças negativas em relação à média histórica, com valor mínimo de -0,08 °C.

A Figura 17 apresenta o gráfico com a variação do TXn ao longo dos anos para cinco municípios do Paraná. Observou-se um padrão crescente semelhante ao do índice TXx, embora com menor intensidade. Todos os municípios exibiram um aumento nos valores ao longo do tempo, sendo o crescimento mais pronunciado em Londrina, Palotina e Cândido de Abreu, que representam, respectivamente, as regiões norte, oeste e central do estado.

Ao analisar os períodos isoladamente, não se identificaram grandes áreas do estado com tendências significativas marcantes para o índice TXn, conforme representado na Figura 18. Tais resultados estão alinhados com os obtidos por Balmaceda-Huarte *et al* (2021), que ao avaliar a mesma região entre 1979 e 2017,

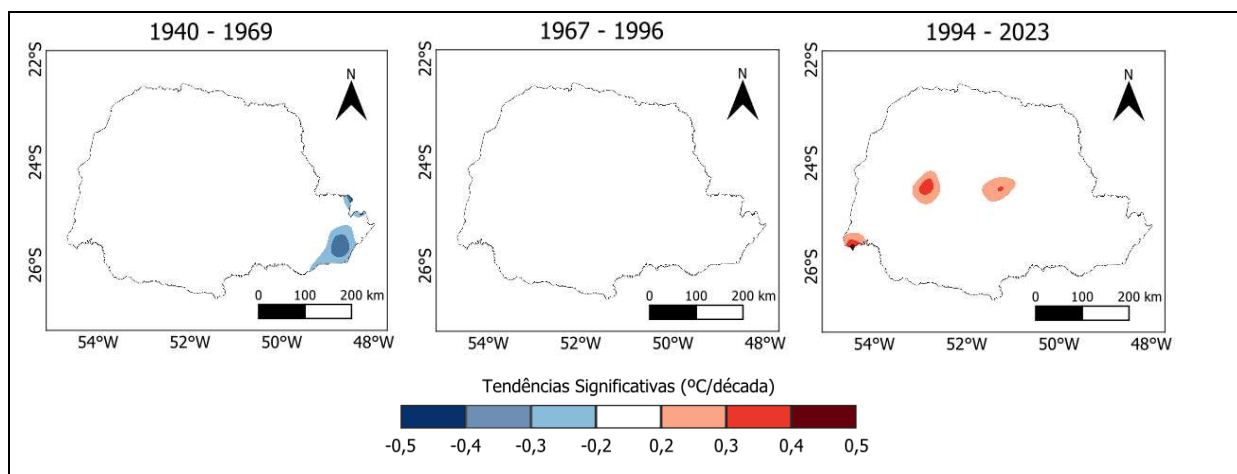
não observaram tendências significativas para o TXn. Esses resultados sugerem que, embora haja um aumento nas temperaturas noturnas máximas em algumas áreas, esse fenômeno ainda não se manifesta de forma generalizada e com significância estatística em toda a região, destacando a necessidade de monitoramento contínuo e de análises mais detalhadas para compreender a evolução desse índice.

Figura 17 – Variação anual dos valores de TXn para cinco municípios localizados em regiões distintas do estado do Paraná.



Fonte: o próprio autor.

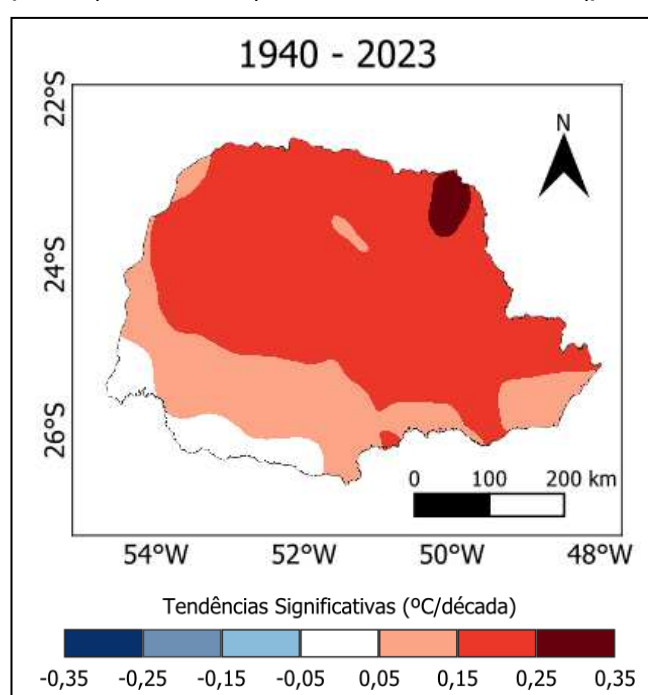
Figura 18 – Distribuição espacial das tendências significativas de TXn no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023 ($p < 0,05$).



Fonte: o próprio autor.

Ao avaliar o período completo (1940-2023), observa-se que as tendências para o índice TXn são estatisticamente significativas em grande parte do estado, conforme ilustrado na Figura 19. As tendências mais acentuadas se concentram na região leste e norte, onde os aumentos atingiram até 0,27 °C por década. Esses resultados reforçam os padrões apresentados na Figura 16, que destacam as maiores variações em relação à média nestas mesmas áreas, especialmente para o período de 1994-2023, quando o aquecimento noturno foi mais pronunciado.

Figura 19 – Distribuição espacial das tendências significativas de TXn para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).



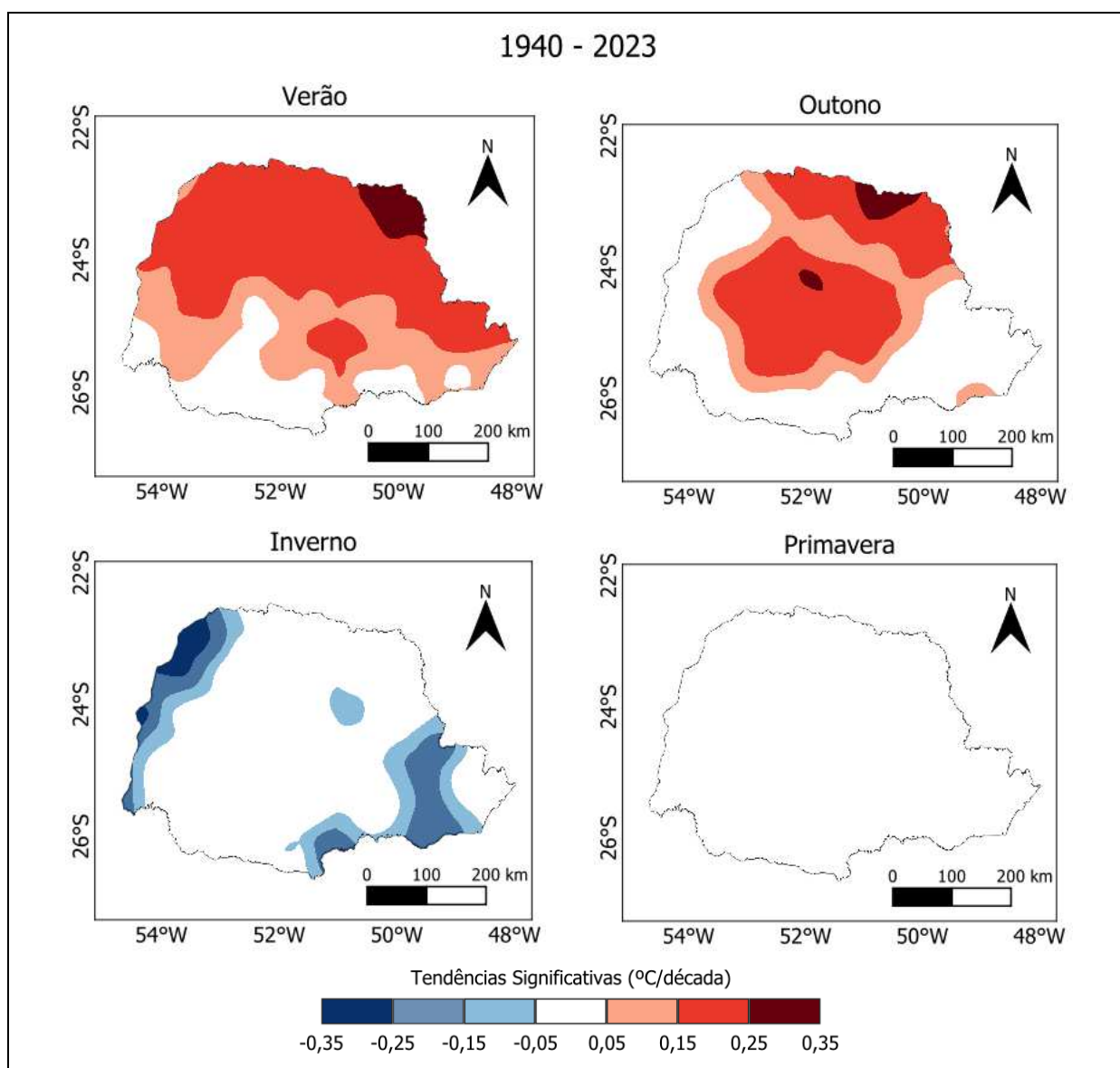
Fonte: o próprio autor.

A região sudoeste, entretanto, não apresentou tendências significativas para o TXn ao longo de toda a série temporal do ERA5, o que pode ser explicado por características topográficas e climáticas locais, como a maior altitude e a influência de massas de ar frio de origem subtropical. Essa estabilidade relativa nas tendências de TXn no sudoeste destaca a heterogeneidade climática do estado, onde os efeitos do aquecimento não se manifestam de maneira uniforme.

A Figura 20 mostra que as tendências sazonais para o índice TXn (noite mais quente) ao longo do período de 1940-2023 seguem, em grande parte, o padrão das tendências anuais, especialmente durante o verão e outono, com valores crescentes

concentrados na região noroeste do estado. Essa região, caracterizada por um clima mais tropical, apresentou as maiores elevações, o que pode estar relacionado a fatores como a maior incidência de radiação solar e a menor cobertura vegetal.

Figura 20 – Distribuição espacial das tendências significativas de TXn sazonal para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).



Fonte: o próprio autor.

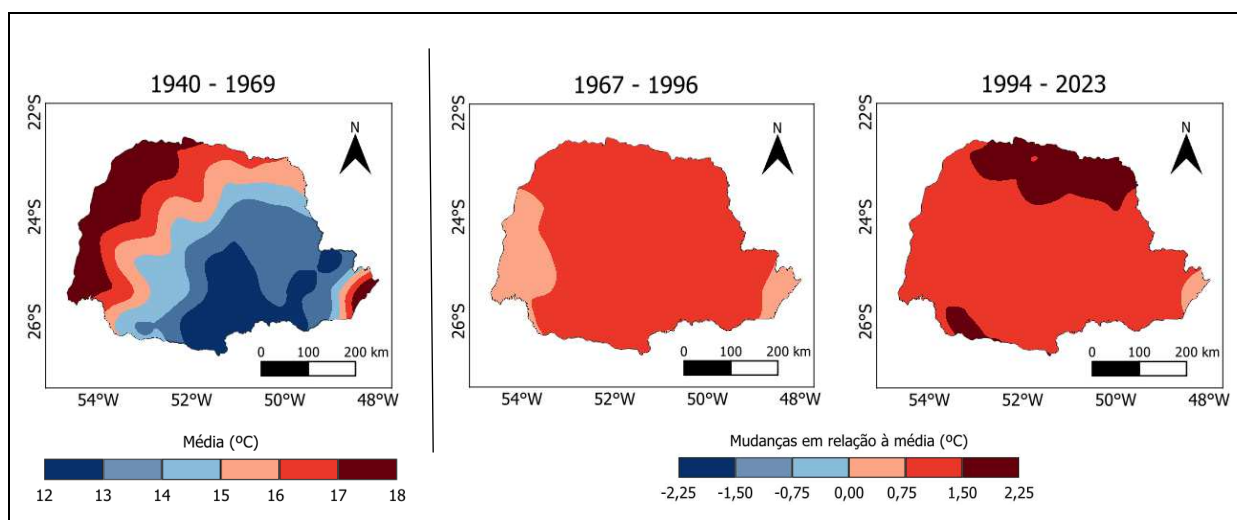
No entanto, durante o inverno, observa-se uma inversão desse padrão, com tendências significativas negativas predominando na região oeste, e em áreas adjacentes aos municípios de Curitiba e Palmas, possivelmente influenciadas pela topografia e pela incursão de massas de ar frio. Já na primavera, não foram

detectadas tendências significativas em grandes áreas da região de estudo, sugerindo uma maior estabilidade térmica nesse período.

Ao analisar o índice TNx (dia mais frio), conforme mostrado na Figura 21, verifica-se que as médias ao longo dos anos aumentaram em relação ao período inicial (1940-1969), refletindo um aquecimento das temperaturas mínimas diurnas. As maiores diferenças em relação à média estão concentradas no período de 1994-2023, particularmente na região norte e em uma pequena área no sudoeste do estado, com variações positivas em relação à média de até 2 °C. Esse aumento acentuado nas temperaturas mínimas diurnas indica uma diminuição nas ocorrências de dias frios, o que pode impactar diretamente a dinâmica agrícola e os padrões de resfriamento noturno nessas regiões.

A variação positiva ao longo dos anos para o índice TNx também é evidenciada no gráfico da Figura 22, onde pode-se observar valores crescentes de TNx para os cinco municípios representados.

Figura 21 – Distribuição espacial e variações temporais do índice TNx no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023.

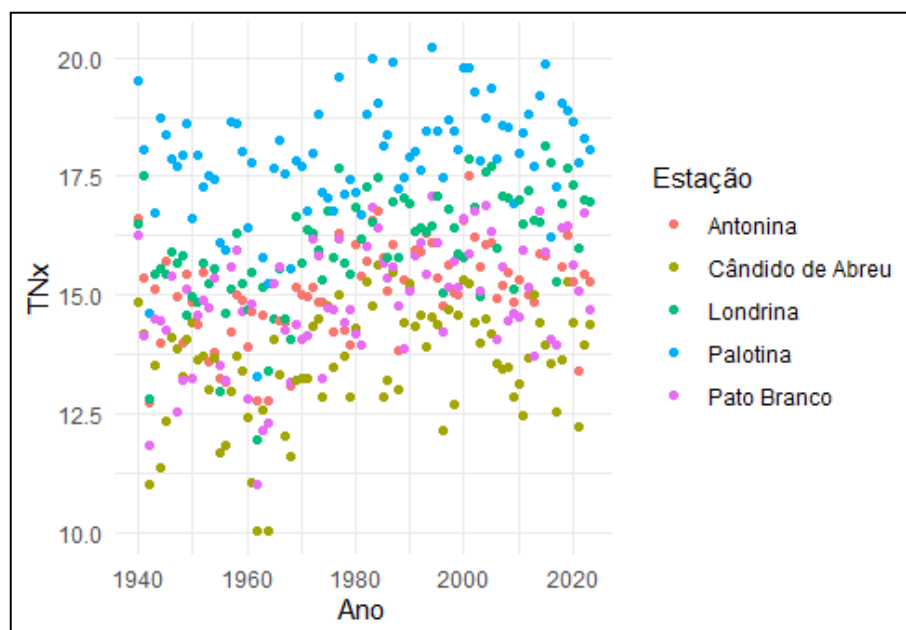


Fonte: o próprio autor.

As tendências mostradas na Figura 23 para o índice TNx seguem um padrão semelhante ao observado para o TXn, com valores não significativos predominando na maior parte do estado quando os períodos são analisados de forma isolada. Entretanto, o período de 1967-1996 apresentou algumas regiões com tendências significativas positivas. Essas áreas parecem ser exceções ao padrão geral, o que

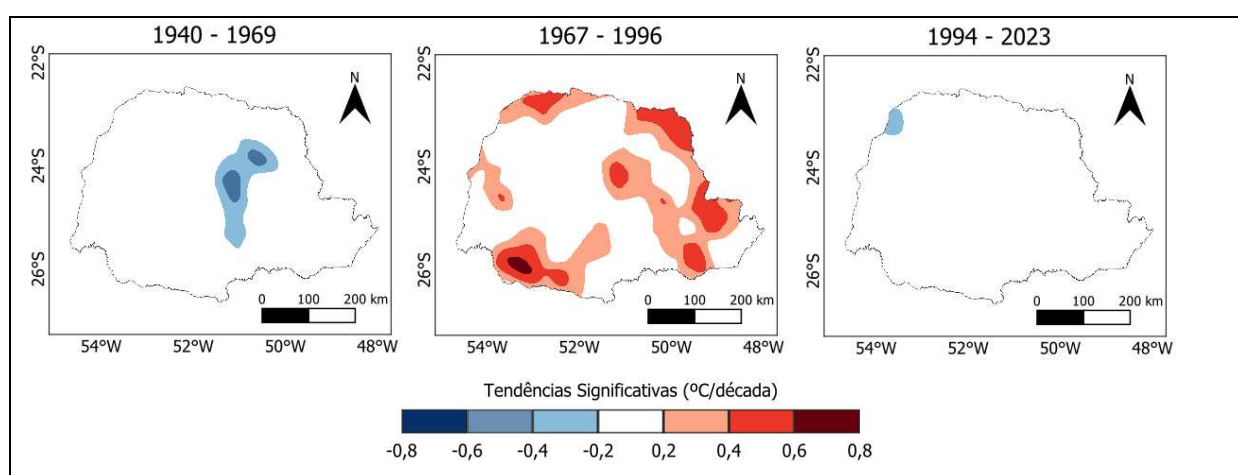
pode estar relacionado a variações climáticas locais ou microclimáticas que amplificaram o aumento das temperaturas mínimas diurnas.

Figura 22 – Variação anual dos valores de TNx para cinco municípios localizados em regiões distintas do estado do Paraná.



Fonte: o próprio autor.

Figura 23 – Distribuição espacial das tendências significativas de TNx no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023 ($p < 0,05$).

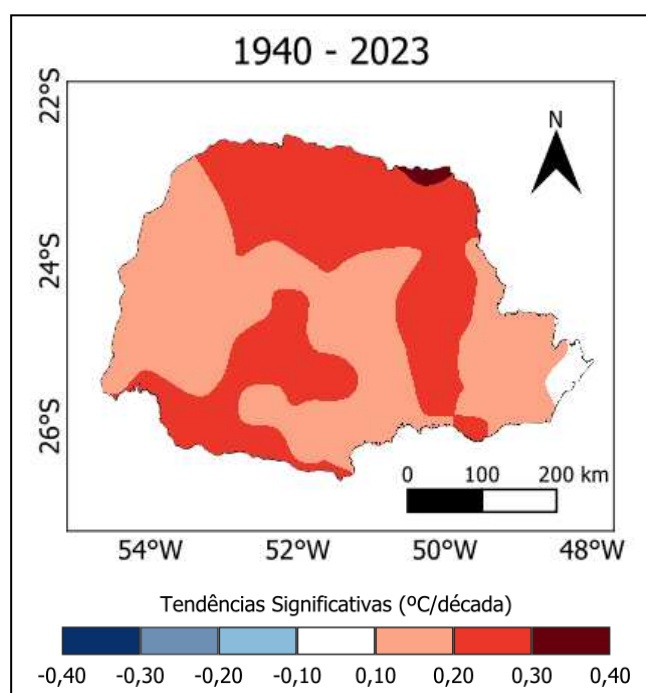


Fonte: o próprio autor.

Para o período total (1940-2023), representado na Figura 24, são verificadas tendências significativas positivas em todo o estado para o índice TNx, com valor

máximo de 0,32 °C por década na região noroeste. A exceção nesse padrão de aquecimento é a região do litoral norte, que não apresentou tendências significativas ao longo do período. Essa estabilidade térmica pode ser atribuída à influência moderadora do oceano, que tende a reduzir a amplitude das variações térmicas diurnas.

Figura 24 – Distribuição espacial das tendências significativas de TNx para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).



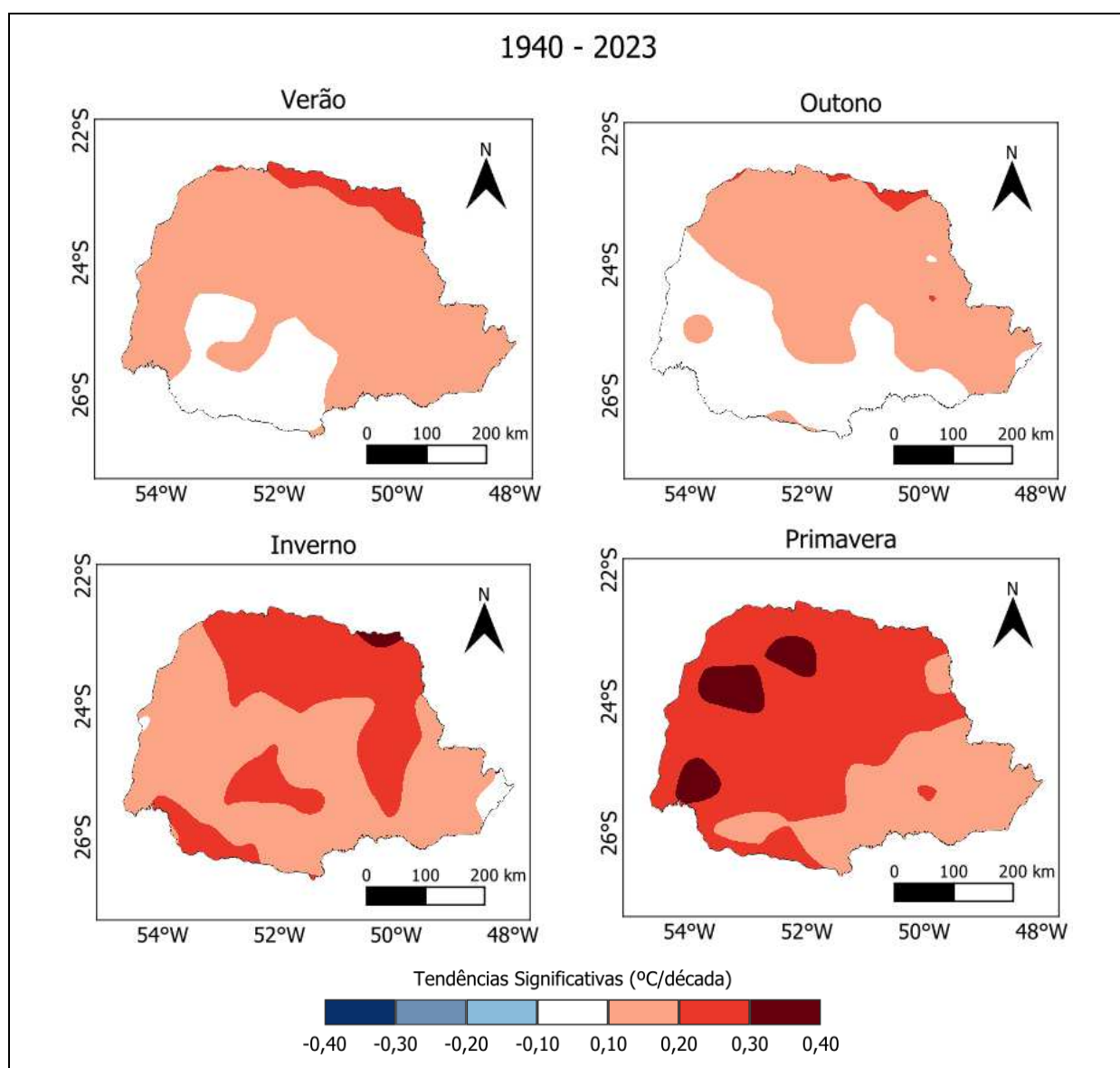
Fonte: o próprio autor.

Esses resultados são coerentes com os estudos de Balmaceda-Huarte *et al* (2021), que ao adotar o conjunto de dados provenientes do ERA5 em pesquisa que contemplou o sul da América do Sul, para o período compreendido entre 1979 e 2017, obtiveram tendências significativas positivas para a região que engloba o estado do Paraná. Medeiros (2022) também encontrou tendências positivas em grande parte do estado, embora tenha observado pequenas áreas nas regiões oeste e nordeste com tendências significativas negativas.

A divergência entre as áreas com tendências negativas e positivas reflete a complexidade das dinâmicas climáticas regionais, que são influenciadas por fatores locais, como altitude, cobertura vegetal e proximidade de grandes massas de água, resultando em padrões de tendências heterogêneos.

A Figura 25 mostra as tendências sazonais significativas para todo o estado do Paraná ao longo do período de 1940-2023. Em nenhuma estação do ano foi observada tendências significativas negativas, o que indica uma persistente elevação nas temperaturas mínimas. O maior valor foi registrado na primavera, com tendências significativas de aumento de até 0,32 °C por década na região noroeste do estado, correspondendo ao máximo observado nas tendências anuais nessa mesma região. Esse padrão sugere que a primavera é a estação mais impactada pelas mudanças climáticas nessa área, evidenciando um aquecimento contínuo e significativo.

Figura 25 – Distribuição espacial das tendências significativas de TNx sazonal para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).

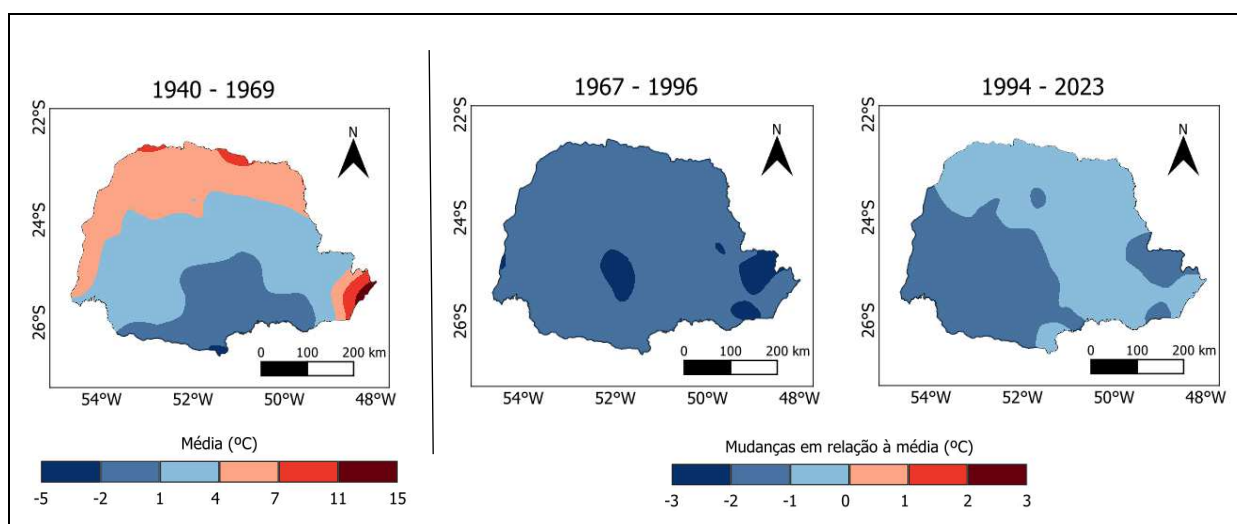


Fonte: o próprio autor.

Durante o outono e o inverno, similarmente ao observado nas tendências anuais, a região do litoral norte não apresentou tendências significativas. Esse comportamento pode estar relacionado à proximidade do oceano, que exerce um efeito moderador sobre as variações térmicas. Além disso, no verão e no outono, algumas áreas do estado, principalmente no centro-oeste, também não exibiram tendências significativas, diversamente do observado no inverno e na primavera, que apresentaram tendências significativas positivas em praticamente toda a área de estudo. Esse aquecimento mais uniforme durante o inverno e a primavera reforça a ideia de que essas estações estão mais sujeitas a alterações climáticas regionais.

Diferentemente dos índices analisados até o momento (TXx, TXn e TNx), o TNn (noite mais fria) mostrou um comportamento inverso. Enquanto os demais índices indicam aquecimento, o TNn revelou valores decrescentes ao longo do período avaliado. A Figura 26 exibe a média para o período de 1940-1969 e as mudanças em relação à média para os períodos subsequentes. Observa-se que os períodos de 1967-1996 e 1994-2023 têm médias inferiores à do período inicial, com ênfase para 1967-1996, que apresentou os menores valores dentre os períodos analisados, atingindo o mínimo de -2,2 °C em relação à média do período de 1940-1969.

Figura 26 – Distribuição espacial e variações temporais do índice TNn no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023.

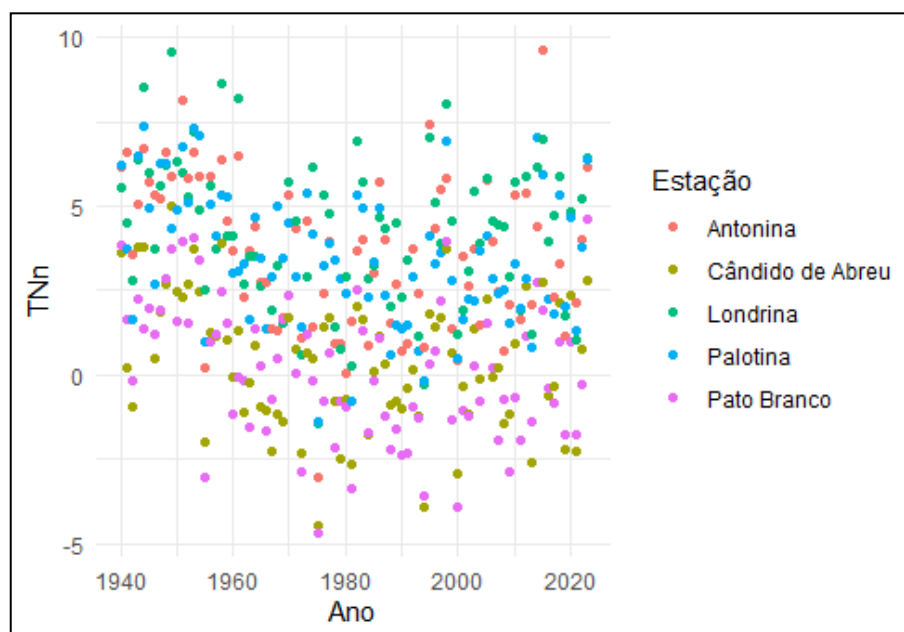


Fonte: o próprio autor.

A diminuição dos valores de TNn também é evidente ao analisar alguns municípios individualmente, como ilustrado no gráfico da Figura 27. O gráfico destaca

que os primeiros 40 anos da série temporal, de 1940 a 1980, apresentaram a maior queda nesse índice para todos os municípios. A partir de 1980, observa-se uma maior estabilidade nos valores de TNn.

Figura 27 – Variação anual dos valores de TNn para cinco municípios localizados em regiões distintas do estado do Paraná.



Fonte: o próprio autor.

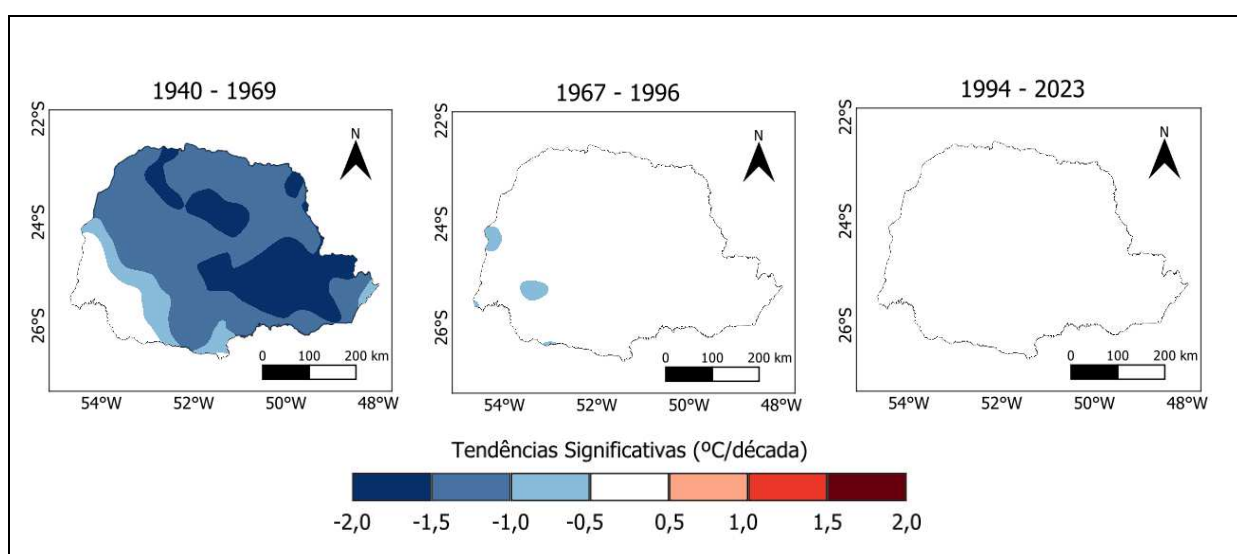
Esse padrão de resfriamento mais acentuado na primeira metade da série temporal avaliada é refletido na avaliação das tendências por períodos, conforme observa-se na Figura 28. Para o intervalo de 1940 a 1969, observa-se valores significativamente negativos em grande parte do estado, com os menores valores concentrados na região centro-leste e em algumas áreas do norte. Em contrapartida, os períodos posteriores praticamente não apresentaram tendências significativas, indicando maior estabilidade deste índice para os períodos mais recentes.

Esses achados contrastam com estudos a nível global, como os de Alexander *et al.*, (2006) e Dunn, Donat e Alexander, (2022) que indicam tendências de aumento para o TNn na região sul do Brasil. No nível regional, há uma considerável variabilidade entre os resultados dos diferentes estudos, refletindo a sensibilidade das análises ao tipo de dados empregado.

A variabilidade entre os resultados globais e regionais reforça a importância de considerar as particularidades locais ao avaliar os impactos das mudanças climáticas.

A nível regional, como demonstrado nos estudos de Balmaceda-Huarte *et al.* (2021), para o período compreendido entre 1979 e 2017, foram observadas tendências significativas positivas para o TNn na região que compreende o estado do Paraná, ao adotar os registros provenientes do CPC. Já, para os dados dos conjuntos de reanálises, como o ERA5, o JRA-55, o NCEP1 e o NCEP2, não foram obtidas tendências significativas para este índice.

Figura 28 – Distribuição espacial das tendências significativas de TNn no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023 ($p < 0,05$).



Fonte: o próprio autor.

Essa divergência de resultados pode estar relacionada à resolução espacial e temporal dos conjuntos de dados utilizados, bem como à metodologia de interpolação e análise de tendências. Conjuntos de reanálises, como o ERA5, apesar de serem amplamente utilizados em estudos climáticos, podem subestimar ou suavizar as variações regionais extremas em algumas regiões, especialmente em áreas com baixa densidade de estações meteorológicas.

Por outro lado, ao usar-se de dados oriundos do GMFD (Conjunto de Dados de Forçamento Meteorológico Global) e dados observacionais em grade (OBS-BR) como nos estudos de Avila-Diaz (2020) para o período de 1980 a 2016, foram observadas tendências significativas de diminuição do TNn para a região sul do Brasil. No entanto, no mesmo estudo, quando os pesquisadores utilizaram as estimativas provenientes do ERA5, as tendências significativas foram positivas.

Ely e Fortin (2019) identificaram tendências significativas de aumento no TNn em quatro das 10 estações meteorológicas analisadas no período de 1971 a 2014. As estações com tais tendências estão localizadas no norte do estado, em Londrina e Bela Vista do Paraíso, e na região leste, em Curitiba e Morretes. Medeiros (2022) observou tendências de aumento no TNn em praticamente todo o estado do Paraná, com exceção da região sul, que apresentou tendências negativas.

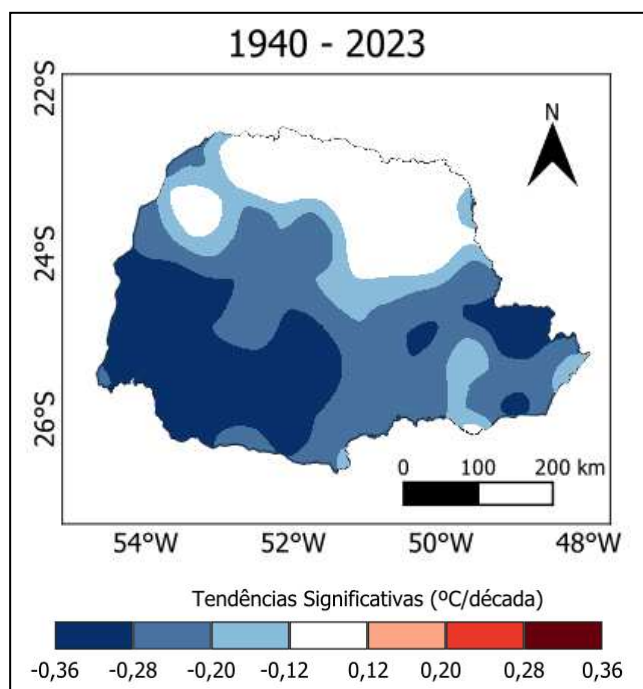
Portanto, em função dos divergentes resultados para este índice, é fundamental que sejam realizadas mais pesquisas regionais para comparar as tendências obtidas para o TNn com os resultados desta pesquisa. Isso é especialmente relevante devido à dificuldade das reanálises em estimar temperaturas baixas.

Além disso, a Figura 28 revela que as tendências significativas negativas se concentram no período de 1940-1969, enquanto nos períodos subsequentes praticamente não há tendências significativas, isso é particularmente importante, pois nenhum dos estudos mencionados avaliou o período em questão.

A análise das tendências para o período completo de 1940 a 2023, conforme ilustrado na Figura 29, revela que mais da metade do estado do Paraná apresentou tendências significativas negativas para o índice TNn (noite mais fria). As menores variações foram registradas na região sudoeste e leste, com declínios de $-0,36$ e $-0,28$ °C por década, sugerindo um resfriamento dessas áreas ao longo das décadas. Em contrapartida, algumas áreas nas regiões ao norte do estado não apresentam tendências significativas.

Esse comportamento negativo em grande parte do estado indica que o resfriamento das noites mais frias é um fenômeno predominante nas regiões sul e oeste, bem como nas zonas próximas à Curitiba. Em contraste, algumas regiões ao norte do estado não apresentaram tendências significativas, o que pode estar relacionado à maior variabilidade climática local e à influência de diferentes fatores atmosféricos, como massas de ar quente e seco que predominam nessa área.

Figura 29 – Distribuição espacial das tendências significativas de TNn para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).



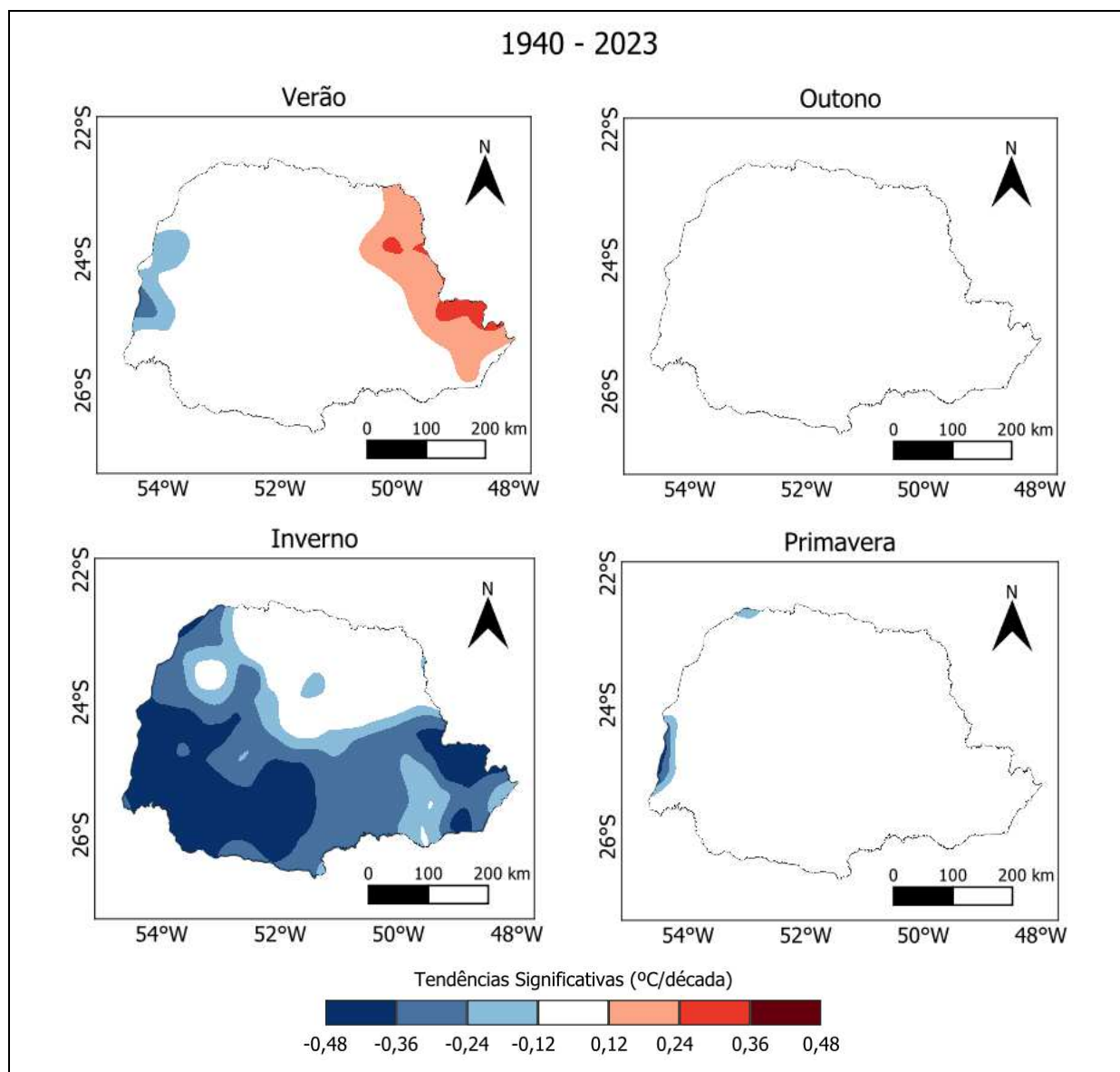
Fonte: o próprio autor.

Sazonalmente, como representado na Figura 30, durante o outono e a primavera praticamente não foram verificadas tendências significativas, o que sugere uma maior estabilidade térmica nessas estações. No verão, poucas regiões exibiram tendências significativas, aquelas que apresentaram foram positivas, a leste, e negativas, a oeste da área de estudo.

Por fim, o período de inverno apresentou as maiores regiões com tendências significativas, todas negativas, seguindo um padrão semelhante ao das tendências anuais. Isso sugere que o TNn anual é predominantemente influenciado pelo inverno, enquanto as outras estações do ano têm uma influência menos significativa nas tendências anuais para esse índice.

Esses resultados indicam que as mudanças sazonais no índice TNn são bastante heterogêneas, com uma clara predominância de tendências negativas durante o inverno, e uma menor variabilidade durante as outras estações. Esse padrão é coerente com a dinâmica climática regional, onde o inverno desempenha um papel crucial na definição das temperaturas mínimas extremas, enquanto o verão e as estações de transição apresentam maior estabilidade ou menor significância estatística nas tendências observadas.

Figura 30 – Distribuição espacial das tendências significativas de T_N sazonal para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).



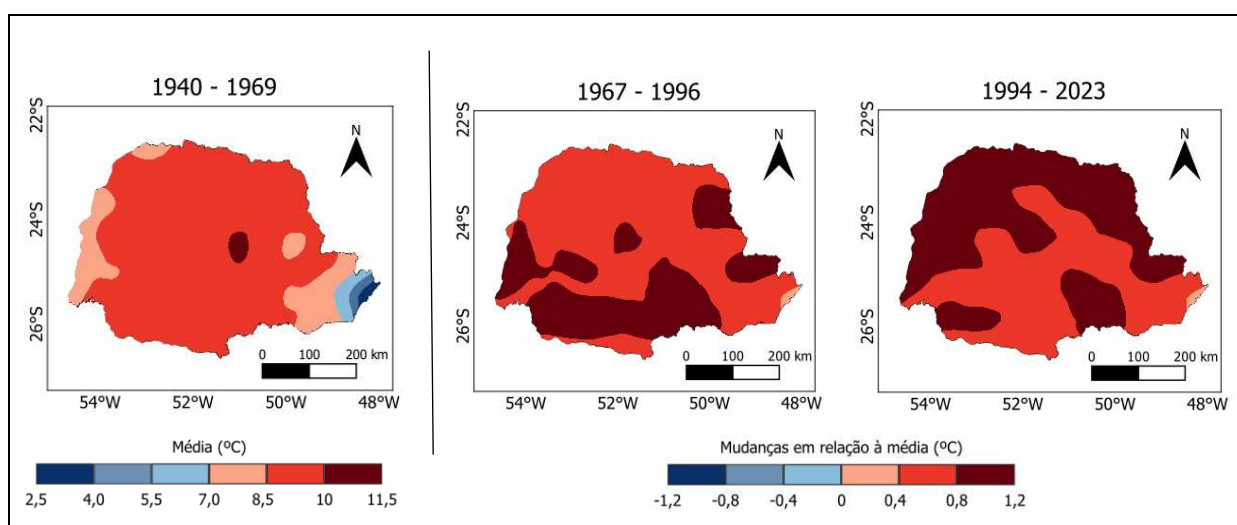
Fonte: o próprio autor.

Tais achados reforçam a necessidade de considerar a sazonalidade ao interpretar as tendências climáticas e seus impactos regionais, especialmente em contextos onde as variações térmicas extremas podem influenciar diretamente a economia local e as condições de vida da população.

A amplitude térmica diária (DTR) em todo o estado tem mostrado variações positivas em relação à média observada no período de 1940-1969. Conforme observado na Figura 31, os valores variam entre 0,4 °C e 1,2 °C para toda a área de estudo, exceto na região litorânea, onde as diferenças são menores, com valores de

até 0,4 °C. Isso também é evidenciado na análise individual de cinco municípios de distintas regiões do estado, que apresentam crescimento do DTR, conforme ilustrado na Figura 32. Dentre os municípios representados, Antonina, localizado na região costeira, é o que apresenta menores valores do índice DTR, comparado aos outros municípios.

Figura 31 – Distribuição espacial e variações temporais do índice DTR no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023.



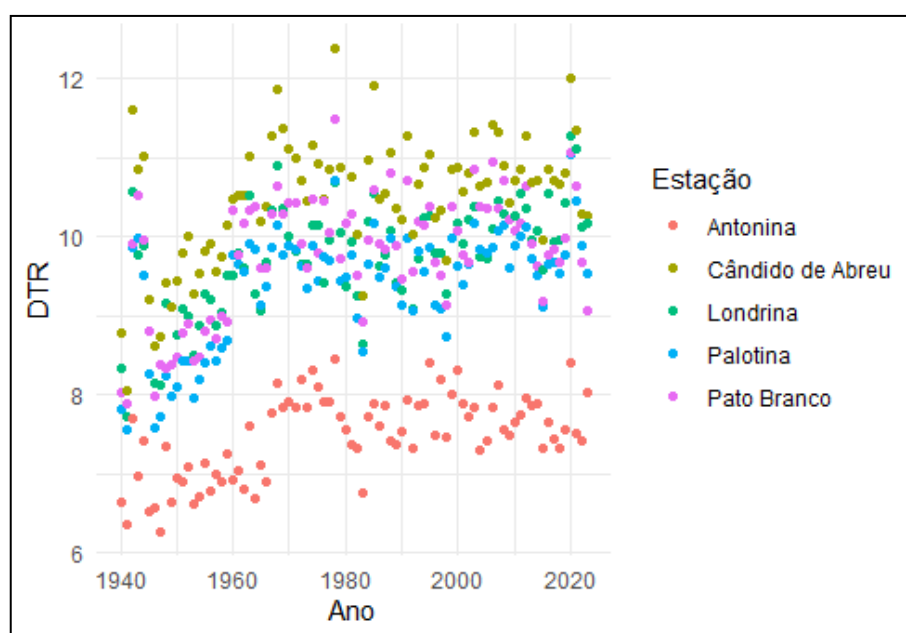
Fonte: o próprio autor.

A posição geográfica das diferenças observadas na Figura 31 se altera conforme o período avaliado. Entre 1967-1996, as maiores diferenças estão concentradas na região sul, enquanto de 1994-2023, elas se concentram na região norte e em algumas áreas esparsas ao sul do estado. Esse deslocamento pode ser indicativo de mudanças nos padrões atmosféricos locais e regionais, como a intensificação do aquecimento no norte.

Os valores médios da amplitude térmica diária para o período de 1940-1969 variam entre 2,4 °C no litoral e 10,2 °C na região central. Esses valores podem surpreender por serem relativamente baixos, o que ocorre devido à característica da reanálise ERA5, que conforme observado nos resultados da Tabela 5, tende a subestimar as temperaturas máximas (TX) e superestimar as temperaturas mínimas (TN), reduzindo assim a amplitude térmica. Esse comportamento é evidenciado pela métrica estatística de Viés Relativo (RB), que, em média, foi de -10,66% para o DTR ao comparar os registros das estações meteorológicas com as estimativas da

reanálise ERA5, conforme mostrado na Tabela 8. Isso sugere que os valores de DTR podem estar subestimados e que, ao corrigir essas estimativas, os aumentos na amplitude térmica podem ser ainda mais pronunciados.

Figura 32 – Variação anual dos valores de DTR para cinco municípios localizados em regiões distintas do estado do Paraná.



Fonte: o próprio autor.

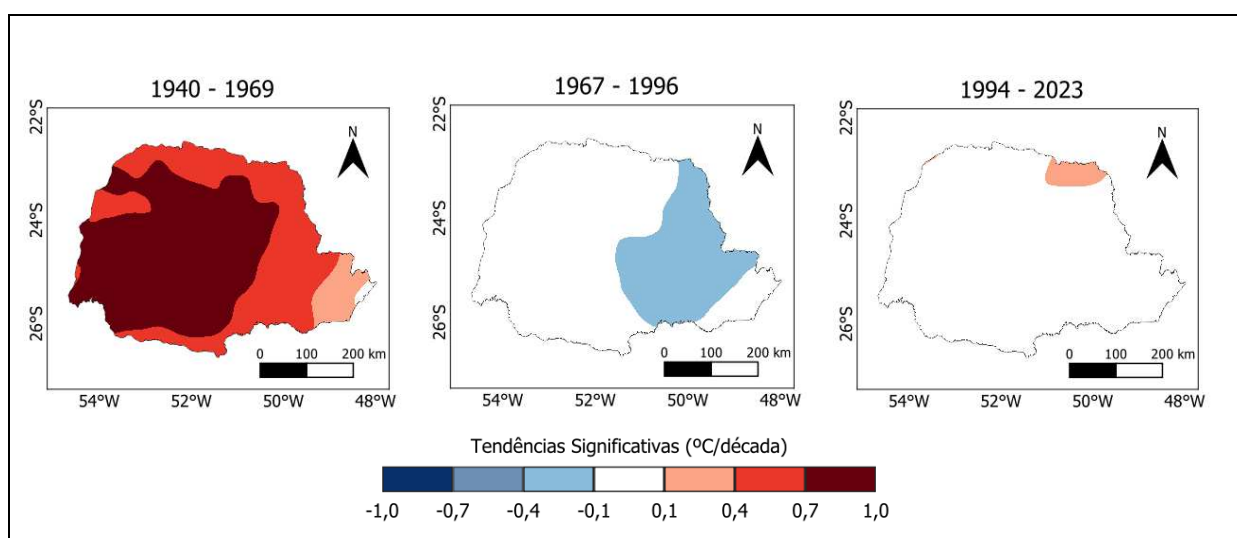
As tendências significativas e seus períodos seguem um padrão similar ao TNn, embora, para o DTR, as tendências sejam positivas. O período de 1940-1969 apresenta a maior área com tendências significativas, cobrindo cerca de metade do estado com valores positivos que diminuem do oeste para leste, até atingir valores não significativos no litoral norte (Figura 33). Esse padrão sugere que as áreas mais distantes da influência moderadora do oceano apresentam maiores variações térmicas.

O período de 1967-1996 mostra uma mudança no comportamento, com algumas áreas do estado exibindo tendência significativa negativa, com valores variando entre -0,1 e -0,4 °C por década. O último período avaliado (1994-2023) revelou tendências positivas significativas em uma pequena parcela da região norte, com valores entre 0,1 e 0,4 °C por década, reforçando a mudança geográfica da DTR para o norte do estado ao longo do tempo.

Ao analisar o período completo (1940-2023), a Figura 34 mostra que

praticamente todo o estado apresenta tendências significativas positivas, com os maiores valores concentrados na região norte, variando de 0,17 a 0,23 °C por década. Esse padrão é semelhante ao observado no período de 1940-1969, onde as magnitudes das tendências diminuem gradualmente em direção ao litoral, até não se observarem tendências significativas no litoral norte do estado.

Figura 33 – Distribuição espacial das tendências significativas de DTR no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023 ($p < 0,05$).

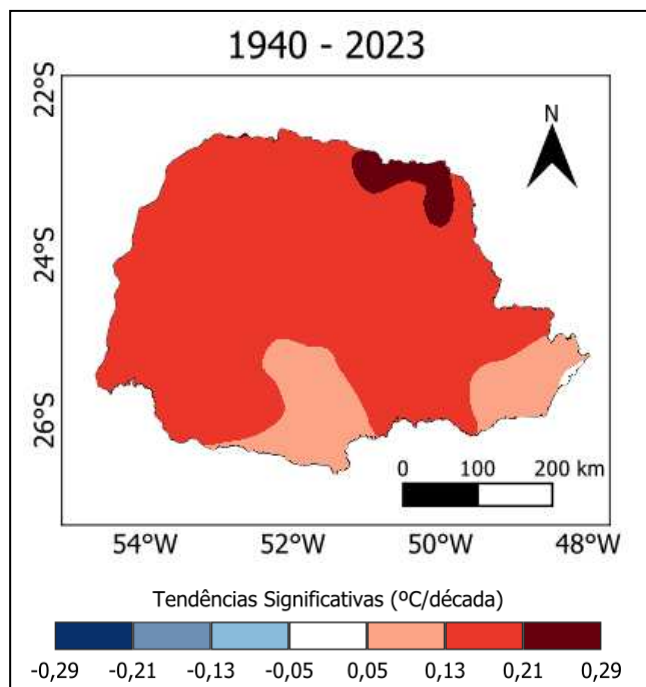


Fonte: o próprio autor.

Esse comportamento é esperado, uma vez que a proximidade com grandes corpos d'água tende a moderar as variações de temperatura do ar em comparação com o interior, devido à maior capacidade térmica da água em relação ao solo, que reduz as amplitudes térmicas. Esse fenômeno ressalta a importância das condições geográficas no comportamento da DTR.

A obtenção de tendências significativas positivas na amplitude térmica é contrária aos resultados globais de Dunn, Donat e Alexander (2022), que indicaram uma tendência de diminuição do DTR na região sul do Brasil. No entanto, os resultados obtidos no presente estudo são coerentes com pesquisas regionais que englobaram o estado do Paraná. Ely e Fortin (2019) identificaram tendências positivas em todas as estações meteorológicas avaliadas, com aumento significativo em cinco delas, localizadas nas regiões norte, noroeste e leste do estado.

Figura 34 – Distribuição espacial das tendências significativas de DTR para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).



Fonte: o próprio autor.

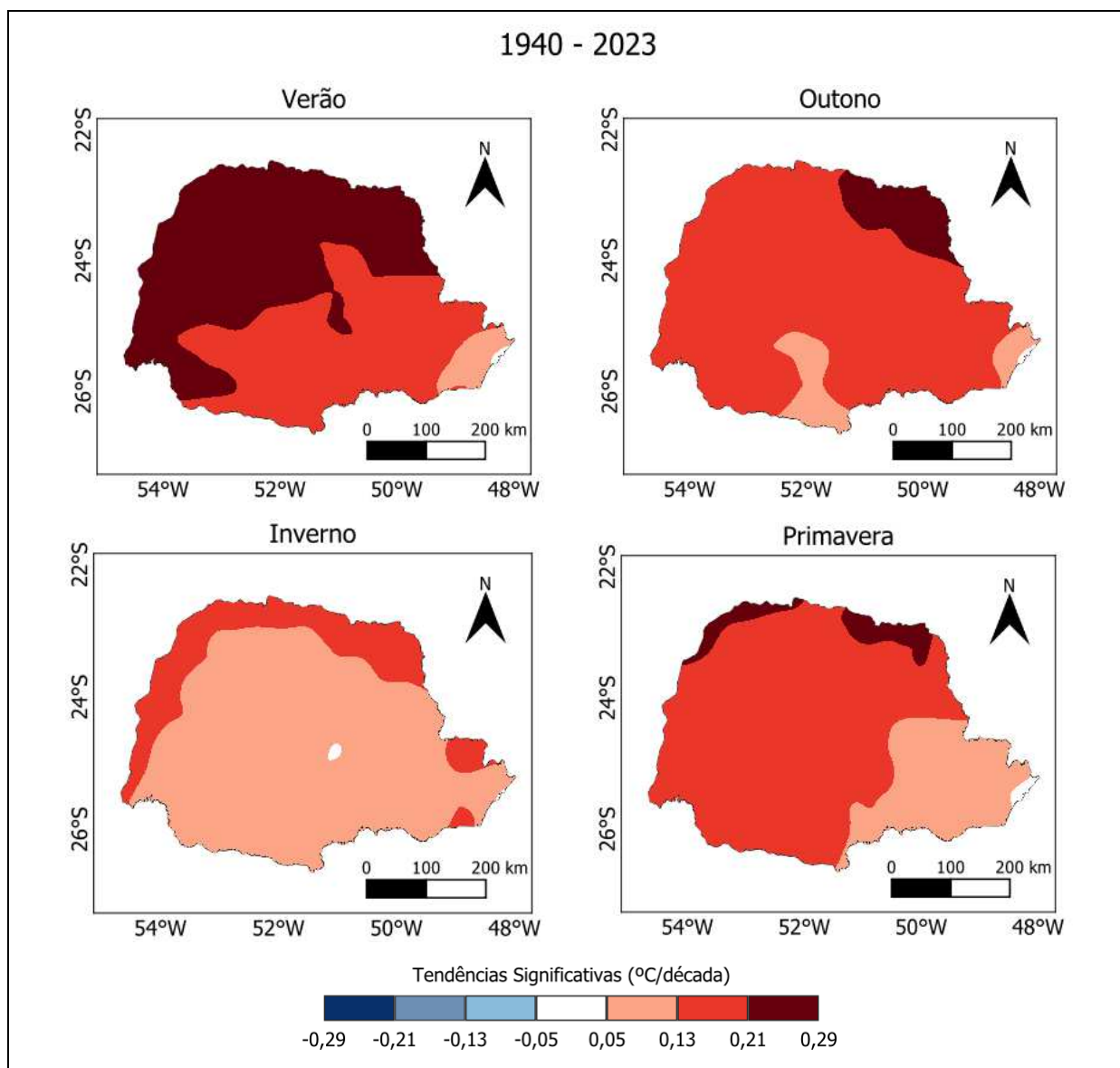
Da mesma forma, Avila-Diaz *et al.* (2020) e Balmaceda-Huarte *et al.* (2021) detectaram tendências significativas positivas para o DTR, ao adotar dados do ERA5 para os períodos de 1980 a 2016 e 1979 a 2017, respectivamente. Isso sugere que o comportamento regional pode divergir dos padrões globais, reforçando a importância de estudos locais de alta resolução. Estes estudos conseguem capturar variações climáticas locais que podem não ser evidentes em escalas globais, destacando a importância de políticas de adaptação específicas para as características regionais.

A Figura 35 mostra as tendências significativas para as diferentes estações do ano. Assim como nas tendências anuais, nenhuma estação apresentou regiões com tendências significativas negativas.

O verão é a estação que apresentou os valores mais acentuados de tendências significativas positivas, com cerca de metade da área de estudo exibindo aumentos no DTR variando entre 0,21 a 0,29 °C por década. Em contrapartida, o inverno apresentou as menores magnitudes, com a maior parte do território apresentando tendências de aumento entre 0,05 e 0,13 °C por década. Esse comportamento sazonal pode estar associado a mudanças na circulação atmosférica e na intensidade da

radiação solar, que afetam de maneira mais acentuada as temperaturas diurnas no verão.

Figura 35 – Distribuição espacial das tendências significativas de DTR sazonal para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).



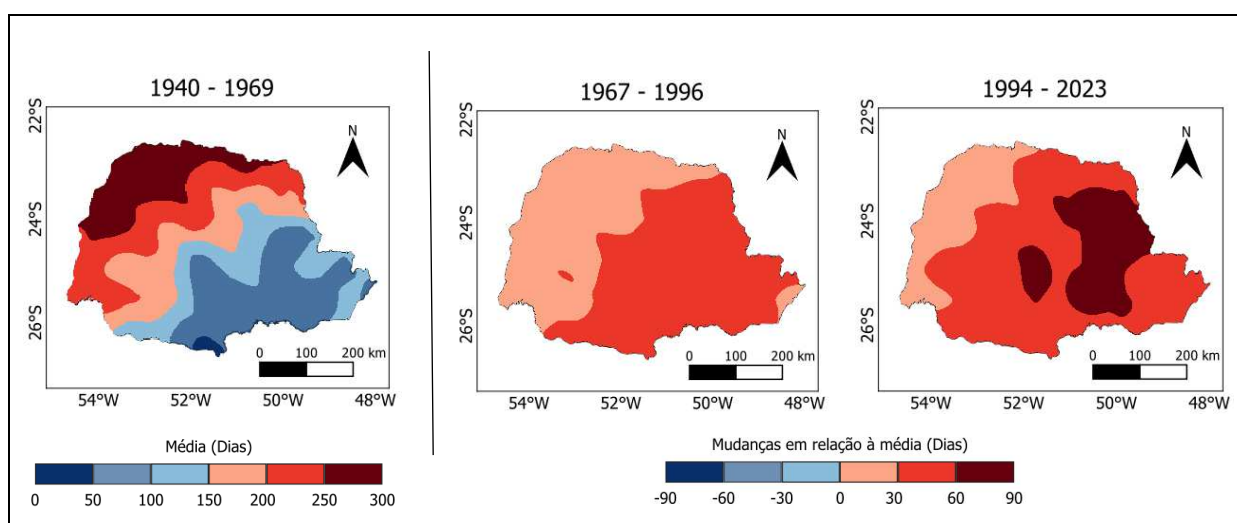
Fonte: o próprio autor.

Quanto ao índice que mensura os dias de verão (SU), com temperatura do ar máxima acima de 25 °C, observa-se uma variação gradual ao longo do Paraná, que se alinha bem com o mapa de temperatura média do estado, apresentado na Figura 5. A região noroeste registrou os maiores valores, superando 250 dias por ano, enquanto, à medida que se aproxima da região sul, esses valores diminuem

consideravelmente. Os menores valores de SU foram observados próximos ao município de Palmas, com menos de 50 dias por ano (Figura 36). Vale ressaltar que este índice é subestimado em -8,82% pela reanálise ERA5, conforme observado na Tabela 8.

Ao avaliar as mudanças em relação à média nos mapas da Figura 36, percebe-se que, em todo o estado do Paraná os valores médios são positivos nos períodos posteriores ao inicial, quando comparados ao período de 1940-1969. Esses valores aumentam progressivamente ao longo do tempo, com o período de 1994-2023 exibindo regiões com mudanças acentuadas em relação à média, alcançando um valor máximo de 72,1 dias por ano acima da média do período de 1940-1969. Essa progressão revela uma intensificação do aquecimento no estado, com o aumento de dias com temperaturas mais altas ao longo dos anos.

Figura 36 – Distribuição espacial e variações temporais do índice SU no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023.



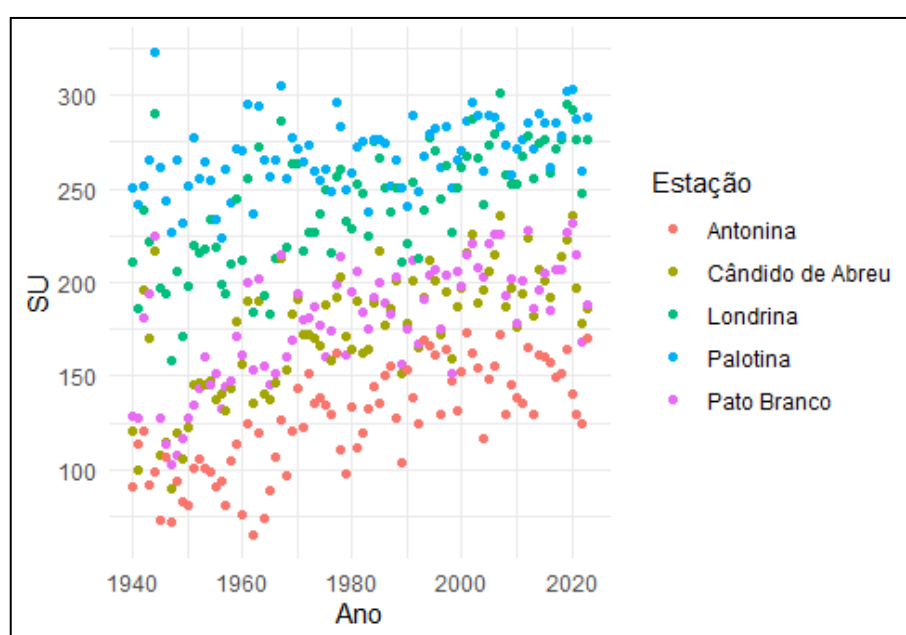
Fonte: o próprio autor.

O gráfico da Figura 37 permite observar as variações em cinco municípios localizados em regiões distintas do estado. Todos os municípios apresentaram um padrão de aumento consistente ao longo dos anos, com curvas de crescimento mais acentuadas em Antonina e Cândido de Abreu, que correspondem às regiões leste e centro do Paraná, respectivamente.

Ao analisar as tendências em cada período, mostradas na Figura 38, observa-se que o primeiro período (1940-1969) apresenta maiores áreas do estado com

tendências significativas positivas, além de possuir as maiores magnitudes, com valor máximo de 27,4 dias por década na região central do estado. O período de 1967-1996 apresenta tendências significativas positivas apenas na região sudeste, mas com magnitudes menores que o período inicial. Por fim, o período 1994-2023 não apresentou tendências significativas em nenhuma região, sugerindo que o comportamento do índice SU estabilizou-se nas últimas décadas.

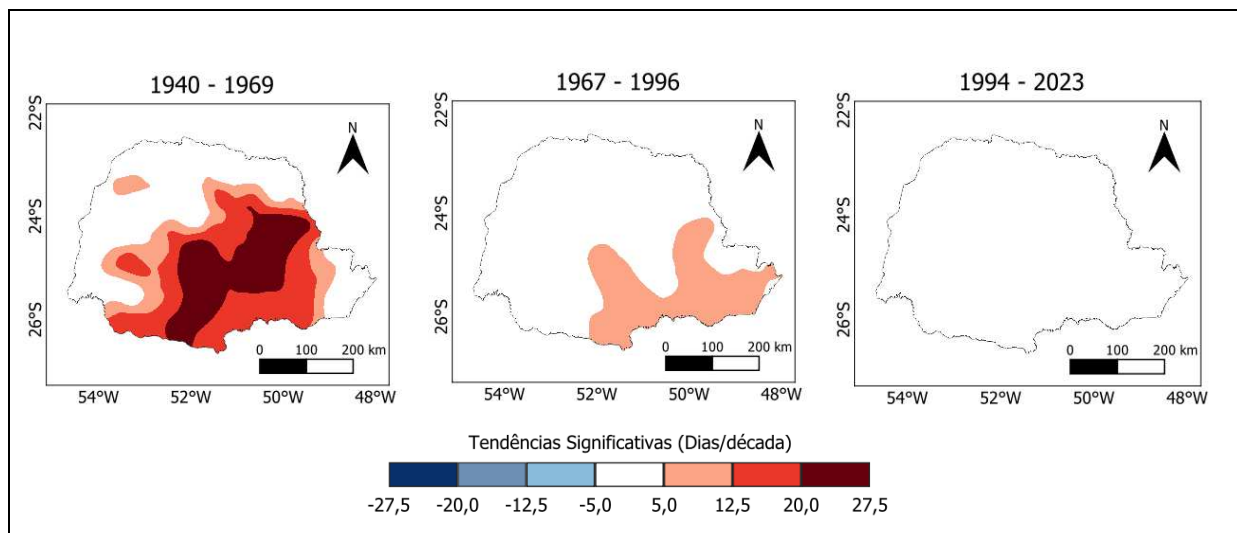
Figura 37 – Variação anual dos valores de SU para cinco municípios localizados em regiões distintas do estado do Paraná.



Fonte: o próprio autor.

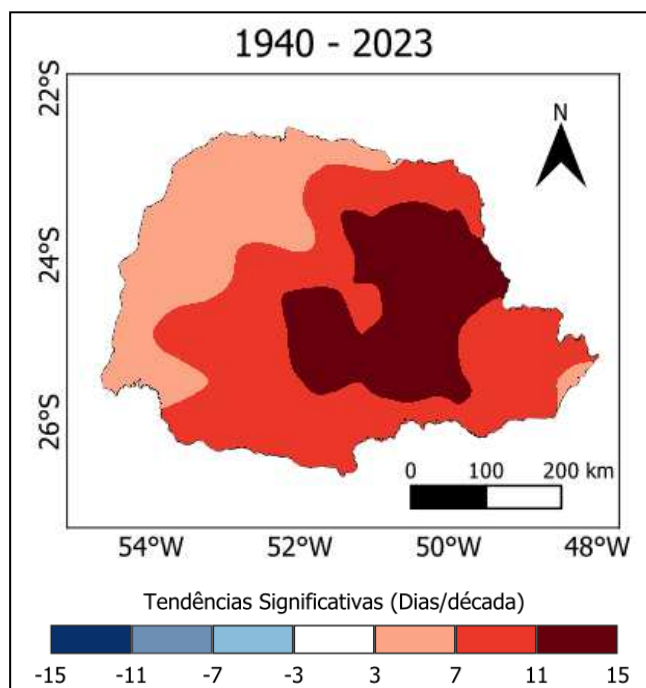
Para as tendências avaliadas no período total (1940-2023), observam-se tendências significativas positivas para todo o estado do Paraná, conforme apresentado na Figura 39. As magnitudes variam entre 3,3 dias por década, na região oeste, a 13,2 dias por década, na região nordeste do estado. Notavelmente, as maiores tendências significativas positivas coincidem com as áreas que mostraram as maiores mudanças em relação à média no período de 1994-2023, conforme evidenciado na Figura 36.

Figura 38 – Distribuição espacial das tendências significativas de SU no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023 ($p < 0,05$).



Fonte: o próprio autor.

Figura 39 – Distribuição espacial das tendências significativas de SU para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).



Fonte: o próprio autor.

Esse padrão de aumento do índice SU (dias de verão com temperaturas máximas superiores a 25 °C) reflete um comportamento climático em que as

temperaturas extremas estão se tornando mais frequentes, especialmente nas regiões noroeste e nordeste, que sofrem maior influência de massas de ar quente e menor moderador oceânico.

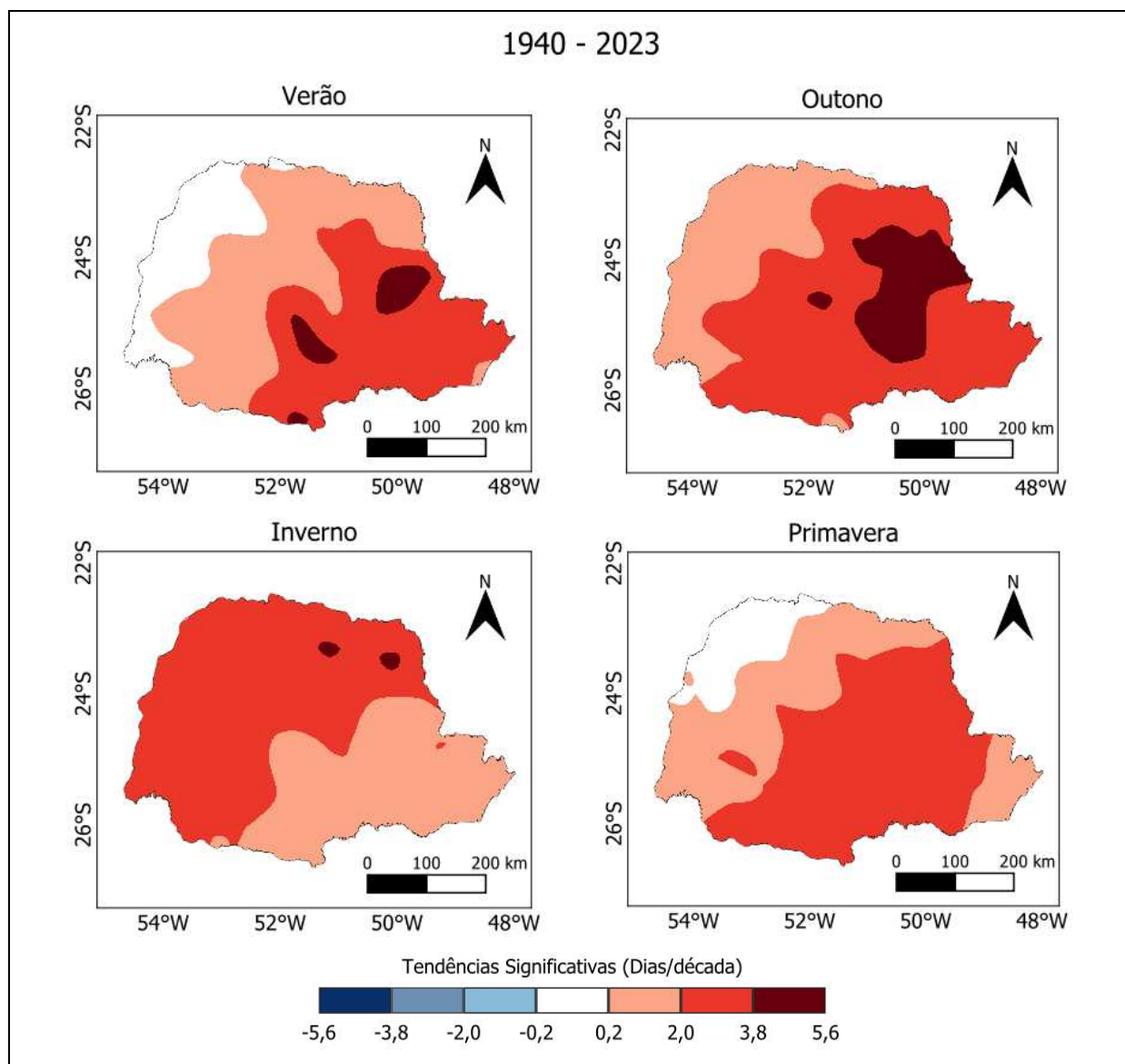
Os resultados encontrados para todo o período (1940-2023), que mostram tendências de aumento no SU, são coerentes com os obtidos por Alexander *et al.* (2006) e Dunn, Donat e Alexander (2022) em estudos globais, que também detectaram tendências positivas para a região sul do Brasil ao analisarem este índice. Além disso, os resultados corroboram os obtidos em estudo regional, que contemplou o sul da América do Sul, conduzido por Rusticucci e Zazulie (2021), e a pesquisa de Medeiros (2022), no estado do Paraná. Tais resultados indicam que o Paraná está seguindo uma tendência regional e global de aquecimento, que impacta diretamente na duração dos períodos mais quentes do ano.

Na avaliação sazonal das tendências, apresentada na Figura 40, observa-se que o outono apresenta um padrão de tendências muito semelhante ao das tendências anuais mostradas na Figura 39, sendo a estação que exibe as maiores magnitudes de tendências significativas no SU, atingindo um valor máximo de 4,5 dias por década.

Esse aumento mais acentuado no outono pode estar relacionado a uma extensão do período de calor, indicando uma transição mais lenta entre o verão e o inverno, o que pode ter implicações para setores como a agricultura, que depende de períodos mais definidos de transição sazonal para o manejo adequado das culturas.

Por outro lado, o verão e a primavera se destacam por apresentarem áreas a noroeste do estado sem tendências significativas, o que sugere uma estabilidade térmica maior nessas estações, possivelmente devido a fatores como a variação atmosférica regional e a distribuição da umidade.

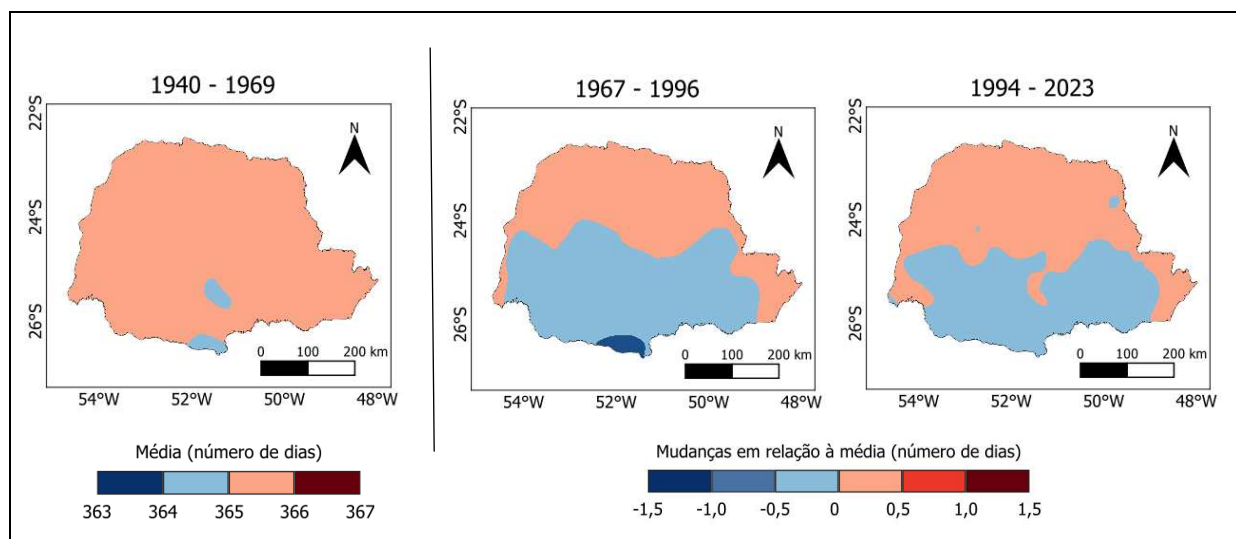
Figura 40 – Distribuição espacial das tendências significativas de SU sazonal para o período completo (1940-2023) no estado do Paraná ($p < 0,05$).



Fonte: o próprio autor.

Ao analisar o índice GSL, que estabelece a duração de crescimento da estação, observa-se pouca variação nos valores, conforme mapas da Figura 41. Esse resultado é esperado dado que a região de estudo não apresenta períodos de 6 dias com temperatura do ar média inferior a 5 °C, exceto no extremo sul do estado, onde esse fenômeno é raro e ocorre de maneira isolada.

Figura 41 – Distribuição espacial e variações temporais do índice GSL no estado do Paraná para os períodos de 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023.



Fonte: o próprio autor.

A ausência de grandes variações no índice GSL reflete a natureza climática da região, onde invernos moderados e a ausência de longos períodos de frio impedem que esse índice tenha relevância prática. Assim, o GSL não é um índice aplicável à maior parte do estado do Paraná, com exceção de pequenas áreas no sul. Portanto, com exceção do índice TNn, que apresentou tendências significativas negativas, e o GSL, que não se adequa à região de estudo, todos os demais índices analisados exibiram tendências significativas positivas em grandes áreas do estado do Paraná ao longo do período total avaliado (1940-2023).

Dentre os índices absolutos, o TXx (dia mais quente) destacou-se como o índice com a maior variação positiva, registrando uma diferença máxima de 3 °C no período de 1994-2023 em relação à média observada no período de 1940-1969. Esse aumento reflete-se nas tendências significativas positivas obtidas para este índice, que atingiu 0,54 °C por década no seu limite máximo quando se considera o período de 1940 a 2023. O crescimento no TXx é indicativo da intensificação das ondas de calor e dos extremos de temperatura, que são tendências globais associadas ao aquecimento global.

Por outro lado, o índice TNn (noite mais fria) foi o que apresentou a maior variação negativa, com decréscimo máximo de 2,2 °C entre o período de 1967-1996,

acompanhado de tendências significativas negativas de $-0,36$ °C por década, em seu valor extremo. Esse comportamento pode estar associado ao resfriamento noturno em algumas regiões do estado, sugerindo que, apesar do aumento nas temperaturas máximas diurnas, algumas áreas continuam a registrar noites frias, possivelmente devido a fatores como altitude e a influência de massas de ar frio.

A amplitude térmica diária (DTR) apresentou tendências significativas positivas em praticamente todo o estado, exceto por uma pequena área no litoral norte. Esse comportamento está em consonância com o padrão de valores mais brandos observados na região litorânea para todos os índices avaliados, o que pode ser explicado pela influência moderadora do oceano, que tende a reduzir a amplitude térmica ao longo do ano.

Além disso, o aumento nas temperaturas dos dias quentes (TXx) e a diminuição nas temperaturas das noites frias (TNn) podem ter contribuído para o aumento significativo observado na amplitude térmica diária. Esse efeito combinado reflete a intensificação de extremos climáticos, com dias mais quentes e noites mais frias, especialmente nas áreas distantes do litoral.

Ao analisar as tendências significativas em intervalos de 30 anos, observou-se uma variação expressiva nos valores obtidos para cada período. De modo geral, com exceção do TXn e TNx, o período de 1940-1969 foi o que apresentou maiores áreas do estado com tendências significativas e as maiores magnitudes. Esse fato sugere que o comportamento climático nesse período inicial teve uma forte influência sobre as tendências observadas para o período total (1940-2023).

No caso do índice TNn, por exemplo, praticamente não foram observadas tendências significativas nos períodos posteriores ao inicial (1967-1996 e 1994-2023), o que evidencia a predominância das tendências no início da série temporal.

Esses resultados destacam a necessidade de estudos adicionais na região, dado que o período de 1940-1969 carece de uma quantidade robusta de dados observacionais de estações meteorológicas para validação. Isso ocorre porque muitas estações meteorológicas começaram a operar de forma consistente apenas em décadas mais recentes. A dependência dos dados de reanálise do ERA5 nesse período mais antigo pode ter impactado a precisão das estimativas, reforçando a importância de estudos complementares que utilizem outras fontes de dados para validar as tendências observadas.

A escolha dos intervalos de 30 anos para compor as normais climatológicas,

que neste estudo foram 1940-1969, 1967-1996 e 1994-2023, mostrou-se uma decisão importante para a interpretação dos resultados. Mudanças nos intervalos de análise podem gerar divergências nas magnitudes das tendências observadas, uma vez que diferentes períodos podem captar variações climáticas distintas. Outros estudos podem explorar esses aspectos, adotando diferentes intervalos para definir as normais climatológicas e, assim, verificar a robustez das tendências climáticas observadas.

Além disso, um aspecto relevante identificado foi a diminuição da magnitude das tendências à medida que o intervalo temporal se ampliou. Isso é evidente quando se comparam as escalas dos valores apresentados nos mapas de tendências significativas para os períodos de 30 anos e para o período total de 84 anos (1940-2023).

A diminuição das magnitudes das tendências no período mais longo pode indicar que a variabilidade climática de curto prazo exerce um papel importante na definição dos extremos climáticos, enquanto a análise de períodos mais extensos tende a suavizar essas variações. Esse comportamento sugere que tendências de longo prazo captam melhor os padrões gerais de mudança climática, mas podem subestimar as mudanças abruptas e intensificações observadas em períodos mais curtos.

Por fim, os resultados reforçam a importância de análises detalhadas em escalas regionais e temporais, uma vez que a complexidade das interações climáticas no Paraná pode ser influenciada por fatores como topografia, proximidade do oceano e padrões atmosféricos regionais. A continuidade dos estudos na região é essencial para aprimorar a compreensão das dinâmicas climáticas locais e suas implicações, especialmente em setores como a agricultura, energia e gestão de recursos hídricos, que são diretamente afetados por essas variações de temperatura.

5 CONCLUSÕES

Esta pesquisa avaliou as estimativas de temperatura do ar provenientes de duas das principais reanálises globais, ERA5 e JRA-55, que oferecem as maiores séries temporais e melhores resoluções disponíveis. Como referência, foram utilizados os registros de temperatura compilados por Medeiros (2022), provenientes de 42 estações meteorológicas localizadas no estado do Paraná. A reanálise ERA5, que apresentou o melhor desempenho, foi selecionada para análise em toda a sua série temporal, abrangendo 84 anos (1940-2023). A partir desses dados, foi possível mapear índices climáticos e calcular suas tendências e magnitudes, utilizando testes de Mann-Kendall e Declividade de Sen, respectivamente.

As duas reanálises apresentaram bom desempenho na estimativa das temperaturas máximas (TX), mínimas (TN) e médias (TM) diárias, com o ERA5 superando o JRA-55 em todas as métricas estatísticas avaliadas. No entanto, ambos os modelos tiveram maior dificuldade na estimativa das temperaturas mínimas, como observado em outros estudos. Adicionalmente, ambas as reanálises apresentaram uma tendência a superestimar as temperaturas máximas e subestimar as mínimas, comportamento amplamente documentado na literatura.

Ao comparar os índices de extremos climáticos definidos pelo ETCCDI, calculados a partir dos dados das estações meteorológicas e das reanálises, o ERA5 apresentou desempenho superior em relação ao JRA-55. A análise dos valores de DISO revelou que 7 dos 15 índices foram bem representados pelo ERA5, com valores de DISO inferiores a 0,5, enquanto o JRA-55 atingiu esse critério em apenas 5 índices. Dessa forma, o ERA5 foi escolhido para mapear os índices que melhor refletiram as condições climáticas do Paraná: TXx, TXn, TNx, TNn, DTR, SU e GSL.

Ao mapear esses índices, verificou-se que grande parte do estado apresentou tendências significativas positivas entre 1940 e 2023 para os índices avaliados. A única exceção foi o TNn, que mostrou tendências negativas. Quanto ao GSL, por não ser aplicável à área de estudo, suas tendências não foram avaliadas.

As tendências observadas variaram significativamente ao longo dos períodos de 30 anos analisados. O período de 1940-1969, por exemplo, apresentou as maiores áreas com tendências significativas, especialmente para o índice TNn. Isso sugere que as condições climáticas durante esse período exerceram forte influência sobre as tendências observadas ao longo da série temporal completa. A escolha dos intervalos

de 30 anos, embora siga uma metodologia estabelecida para normais climatológicas, influenciou diretamente os resultados, sugerindo que futuros estudos poderiam adotar outros intervalos para explorar variações nas magnitudes das tendências climáticas.

Outro ponto de destaque é a diminuição das magnitudes das tendências à medida que o intervalo temporal foi expandido. Comparando os períodos de 30 anos com o período total de 84 anos (1940-2023), as tendências mais longas tendem a suavizar as variações climáticas, capturando os padrões gerais de mudanças climáticas, mas subestimando variações mais abruptas observadas em intervalos menores.

Futuras pesquisas podem buscar adaptar os índices propostos pelo ETCCDI para melhor refletir as condições climáticas específicas do estado do Paraná. Índices como o ID (Dias congelantes), que contabiliza dias com temperatura máxima inferior a 0°C, mostraram-se inadequados para a região devido à inexistência desse fenômeno. O GSL (Duração da estação de crescimento) também apresentou pouca variabilidade, refletindo as características climáticas locais. Adicionalmente, o índice SU, que contabiliza dias de verão com temperaturas superiores a 25°C, poderia ser ajustado para um limite superior, melhor capturando as condições de calor extremo no estado.

Assim, esta pesquisa reforça a importância de estudos regionais de alta resolução, que permitam compreender melhor as dinâmicas locais de mudanças climáticas e fornecer bases sólidas para a formulação de políticas de adaptação e mitigação adequadas às realidades climáticas do Paraná.

REFERÊNCIAS

- AGRITEMPO – SISTEMA DE MONITORAMENTO AGROMETEOROLÓGICO. **O que é o Agritempo**. 2024. Disponível em: < <https://www.agritempo.gov.br/br/sobrenos/>>. Acesso em: 20 ago. 24.
- AL-SAKKAF, A. S.; ZHANG, J.; YAO, F.; HAMED, M. M.; SIMBI, C. H.; AHMED, A. SHAHID, S. Assessing exposure to climate extremes over the Arabian Peninsula using ERA5 reanalysis data: Spatial distribution and temporal trends. **Atmospheric Research**, v. 300, n. 15, 2024.
- ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A. M. G.; HAYLOCK, M.; *et al.* Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, 2006.
- APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; MORAES, J. R. S. C.; TORSONI, G. B.; MENESES, K. C.; COSTA C. T. S. Accuracy of ECMWF ERA-interim reanalysis and its application in the estimation of the water deficiency in paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 4, p.515-528, 2019.
- ARAÚJO, C. S. P. SILVA, I. A. C. IPPOLITO, M.; ALMEIDA, C. D. G. C. Evaluation of air temperature estimated by ERA5-Land reanalysis using surface data in Pernambuco, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 381, 2022.
- ARIAS, P.A.; N. BELLOUIN, E; COPPOLA, R.G; JONES, G; KRINNER, J; *et al.* Technical Summary. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33–144. 2021.
- AVILA-DIAZ, A.; BENEOLI, V.; JUSTINO, F.; TORRES, R. WILSON, A. Assessing current and future trends of climate extremes across Brazil based on reanalyses and earth system model projections. **Climate Dynamics**, v. 55, n. 5–6, p. 1403–1426, 2020.
- BALMACEDA-HUARTE, R.; OLMO, M. E.; BERTTOLLI, M. L.; POGGI, M. M. 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.
- BECK, H. E.; VERGOPOLAN, N. PAN, M. LEVIZZANI, V.; VAN DIJK, A. I. J.M.; WEEDON, G. P.; BROCCAS, L.; PAPPENBERGER, F.; HUFFMAN, G. J.; WOOD, E. F. Global-scale evaluation of 22 precipitation datasets using gauge observations and hydrological modeling. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 21, n. 12, p. 6201–6217, 2017.
- BETTS, A. K.; CHAN, D. Z.; DESJARDINS, R. L. Near-Surface Biases in ERA5 Over

the Canadian Prairies. **Frontiers Environmental Science**. v. 7, n. 129, 2019.

BHATTACHARYYA, S.; SREEKESH, S.; KING, A. Characteristics of extreme rainfall in different gridded datasets over India during 1983–2015. **Atmospheric Research**, v. 267, 2022.

BONAVITA, M., HÓLM, E.V., ISAKSEN, L. FISHER, M. The Evolution of the ECMWF hybrid data assimilation system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 142, p. 287–303, 2016.

BOSILOVICH, M. G.; CHEN, J.; ROBERTSON, F. R.; ADLER, R. F. Evaluation of global precipitation in reanalyses. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 47, n. 9, p. 2279–2299, 2008.

BRONAUGH, D. PCIC Implementation of Climdex Routines. **The Pacific Climate Impacts Consortium**. 2020.

CEPEA/CNA. **PIB do Agronegócio Brasileiro**. 2024. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 12 jul. 24.

CHEN, Y.; CHIU, H.; SU, Y.; WU, Y.; CHENG, K. Does urbanization increase diurnal land surface temperature variation? Evidence and implications. **Landscape and Urban Planning**, v.157 p. 247–258, 2017.

CONDOM, T.; MARTÍNEZ, R.; PABÓN, J. D.; COSTA, F.; PINEDA, L.; NIETO, J. J.; LÓPEZ, F.; VILLACIS, M. Climatological and Hydrological Observations for the South American Andes: In situ Stations, Satellite, and Reanalysis Data Sets. **Frontiers in Earth Science**, v.8, n.92, 2020.

COPERNICUS. **ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present**. 2024. Disponível em: <<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>>. Acesso em: 06 ago. 24.

CORNES, R. C.; JONES, P. D. How well does the ERA-Interim reanalysis replicate trends in extremes of surface temperature across Europe? **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 118, n. 18, p. 10,262-10,276, 2013.

CUI, W.; DONG, X.; XI, B.; KENNEDY, A. Evaluation of reanalyzed precipitation variability and trends using the gridded gauge-based analysis over the CONUS. **Journal of Hydrometeorology**, v. 18, n. 8, p. 2227–2248, 2017.

DASHKHUU, D.; KIM, J. P.; CHUN, J. A.; LEE W. Long-term trends in daily temperature extremes over Mongolia. **Weather and Climate Extremes**, v. 8, p. 26-33. 2015.

DOLLAN, I. J.; MAGGIONI, V.; JOHNSTON, J. Investigating Temporal and Spatial Precipitation Patterns in the Southern Mid-Atlantic United States. **Frontiers in Climate**, v. 3, 2022.

DONAT, M. G.; SILLMANN, J.; WILD, S.; ALEXANDER, L. V.; LIPPMANN, T.; ZWIERS, F. W. Consistency of Temperature and Precipitation Extremes across Various Global Gridded In Situ and Reanalysis Datasets. **American Meteorological Society**, v.27, n.13, 2014.

DUFEK, A. S.; AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R. P. Are reanalysis data useful for calculating climate indices over South America? **Annals of the New York Academy of Sciences**. Blackwell Publishing Inc., p. 87–104, 2008.

DUNN, R. J. H.; DONAT, M. G.; ALEXANDER, L. V. Comparing extremes indices in recent observational and reanalysis products. **Frontiers in Climate**, v.4, 2022.

ELY, D. F.; FORTIN, G. Trend analysis of extreme thermal indices in south Brazil (1971 to 2014). **Theoretical and Applied Climatology**, v. 139, p. 1045–1056, 2019.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Clima**. 2024. Disponível em: <<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>. Acesso em: 10 de ago 24.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Satélites de Monitoramento**. 2024. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes>>. Acesso em: 30 de mai 24.

FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; KLEIN TANK, A. M. G.; PETERSON, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**, v. 19, n. 3, p. 193–212, 2002.

GCOS. **Global Climate Observing System**. 2024. Disponível em: <<https://gcos.wmo.int/index.php/en/home>>. Acesso em: 08 abr. 24.

GELARO, R.; MCCARTY, W.; SUÁREZ, M. J.; TODLING, R.; MOLOD, A.; TAKACS, L.; *et al.* The modern-Era retrospective analysis for research and applications, version 2 (MERRA-2). **Journal of Climate**, v. 30, p. 5419–5454, 2017.

GML/NOAA. **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide (CO₂)**. 2024. Disponível em: <<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>>. Acesso em: 06 abr. 24.

HACON, S. S., OLIVEIRA, B.F.A., SILVEIRA, I. A Review of the Health Sector Impacts of 4 °C or more Temperature Rise. In: NOBRE, C., MARENGO, J., SOARES, W. (eds) **Climate Change Risks in Brazil**. Springer, Cham. 2019.

HAIGH, J. D.; WINNING, A. R.; TOUMI, R.; HARDER, J. W. An influence of solar spectral variations on radiative forcing of climate. **Nature**, v. 467, n. 7316, p. 696–699, 2010.

HARTMANN, D. L. **Global physical climatology**. Elsevier Science, 2016.

HERSBACH, H.; BELL, B.; BERRISFORD, P.; HIRAHARA, S.; HORÁNYI, A.; SABATER, J. M.; NICOLAS, J.; *et al.* The ERA5 global reanalysis. **Quarterly**

Journal of the Royal Meteorological Society, v. 146, n. 730, p. 1999–2049, 2020.

HU, Z.; CHEN, X.; ZHOU, Q.; CHEN, D.; LI, J. DISO: A rethink of Taylor diagram. **International Journal of Climatology**, v. 39, n. 5, p. 2825–2832, 2019.

HUANG, X.; HAN, S.; SHI, C. Multiscale Assessments of Three Reanalysis Temperature Data Systems over China. **Agriculture**, 11(12), 1292, 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>>. Acesso em: 28 mai. 24.

IDR-PR – INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ.

Apresentação. 2024. Disponível em:

<<https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Apresentacao>>. Acesso em: 20 ago. 24.

IDR-PR – INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ. **Dados Meteorológicos Históricos e Atuais**. 2024. Disponível em:

<<https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Dados-Meteorologicos-Historicos-e-Atuais>>. Acesso em: 19 ago. 24.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19.289**. Air Quality — Meteorology — Siting Classifications for surface observing stations on land. 2015.

IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Hipsometria - Paraná**, 2019.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **PIB Trimestral do Paraná**. 2024a. Disponível em: <

<https://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/PIB-Trimestral-do-Parana>>. Acesso em: 28 mai. 24.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Paraná em Números**. 2024b. Disponível em: <<https://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Parana-em-Numeros>>. Acesso em: 28 mai. 24.

IPCC: Climate Change 2023: **Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115. 2023.

IPCC. **About the IPCC**. 2024. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/about/>>. Acesso em: 05 mai. 24.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; *et al.* **The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project**. Bulletin of the American Meteorological Society, v.77, n.3, p. 437–472, 1996.

KANAMITSU, M., EBISUZAKI, W., WOOLLEN, J., YANG, S.-K., HNILO, J., FIORINO, M.; POTTER, G. L. NCEP-DOE AMIP-II reanalysis (R-2).

Bulletin of the American Meteorological Society, v. 83, n.11, p. 1631–1644, 2002.

- KARL, T. R.; NICHOLLS, N.; GHAZI, A. Clivar/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes Workshop Summary. **Climatic Change** 42, 3–7 (1999).
- KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. Griffin, Londres, 1975.
- KOBAYASHI, S.; OTA, Y.; HARADA, Y.; EBITA, A.; MORIYA, M.; ONODA, H.; ONOGI, K.; KAMAHORI, H.; KOBAYASHI, C.; ENDO, H.; MIYAOKA, K.; TAKAHASHI, K. The JRA-55 reanalysis: general specifications and basic characteristics. **Journal of the Meteorological Society of Japan Ser. II**, v. 93, n. 1, p. 5–48. 2015.
- KRÜGER, E.; GOBO, J. P. A.; TEJAS, G. T.; SOUZA, R. M. S.; FERREIRA NETO, J. B.; PEREIRA, G.; MENDES, D.; DI NAPOLI, C. The impact of urbanization on heat stress in Brazil: A multi-city study. **Urban Climate**, v. 53, 101827, 2024.
- KUMAR, S.; CHANDA, K.; PASUPULETI, S. Spatiotemporal analysis of extreme indices derived from daily precipitation and temperature for climate change detection over India. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 140, n. 1–2, p. 343–357, 2020.
- LAVERS, D. A.; SIMMONS, A.; VAMBORG, F.; RODWELL, M. J. An evaluation of ERA5 precipitation for climate monitoring. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 148, n. 748, p. 3152–3165, 2022.
- LEI, X.; XU, W.; CHEN, S.; YU, T.; HU, Z.; ZHANG, M.; JIANG, L.; BAO, R.; GUAN, X.; MAS, M.; WEI, J.; FENG, A.; GAO, L. How Well Does the ERA5 Reanalysis Capture the Extreme Climate Events Over China? Part I: Extreme Precipitation. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, 2022.
- LI, Z.; TANG, B.; WU, H.; REN, H.; YAN, G.; WAN, Z.; TRIGO, I.; SOBRINO, J. *et al.* **Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives**, v. 131, p. 14–37, 2013.
- LIMA, J. A. G.; ALCÂNTARA, C. R. Comparison between ERA Interim/ECMWF, CFSR, NCEP/NCAR reanalysis, and observational datasets over the eastern part of the Brazilian Northeast Region. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 138, n. 3–4, p. 2021–2041, 2019.
- LIMBERGER, L.; SILVA, M. E. S. Precipitação observada na Amazônia brasileira: comparação entre os dados das redes convencionais e dados da reanálise I do NCEP/NCAR, CRU e GPCC. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, a. 14, 2018.
- LIU, L.; GOU, X.; WANG, X.; YANG, M.; WEI, S.; PANG, G.; QIE, L.; LI, Y.; WANG, T.; JIN, X. The increases in extreme climatic events over the northeastern Tibetan Plateau and their association with atmospheric circulation changes. **Atmospheric Research**, v. 304, 2024.
- MALCHEVA, K; CHERVENKOV, H. Winter severity assessment on the basis of

measured and reanalysis data. **Conference: 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM**. Bulgaria. v. 2. 2016.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **The Econometric Society**, v. 13, n. 3, p. 245–259, 1945.

MEDEIROS, I. R. **Análise da distribuição temporal e espacial dos extremos de temperatura do ar no estado do Paraná com base nos índices do ETCCDI**. 2022. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Londrina, 2022.

MITCHELL, J. F. B. The “Greenhouse” effect and climate change. **Reviews of Geophysics**, v.27, n.1, p 115-139, 1989.

MONTEIRO, A. F. M.; YAMAMOTO, A. L. C.; SILVA, P. N.; REBOITA, M. S. Conhecer a complexidade do sistema climático para entender as mudanças climáticas. **Terrae Didática**, v.17, p. 1-12, 2021.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. v. 50(3), p. 885–900, 2007.

NATIVIDADE, U. A.; GARCIA, S. R.; TORRES, R. R. Tendência dos índices de extremos climáticos observados e projetados no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p. 600–614, 2017.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina (PR): Instituto Agrônômico do Paraná, 2019.

NOVAIS, G. T.; MACHADO, L. A. Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 1–39, 2023.

OLIVEIRA, J. A.; KURESKI, R.; SANTOS, M. A. **PIB do Agronegócio no Paraná**. Curitiba: Nota Técnica IPARDES, v. 25, 2020.

PEREIRA, R. P.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Editora Agropecuária, Guaíba, RS, 2002. 436p.

PÉREZ, J. C.; EXPÓSITO, F. J.; GONZÁLEZ, A.; DÍAZ, J. P. Climate projections at a convection-permitting scale of extreme temperature indices for an archipelago with a complex microclimate structure. **Weather and Climate Extremes**, v. 36, 2022.

PETERSON, T. C. Climate Change Indices. **World Meteorological Organization Bulletin**, v. 54, n. 2, 2005.

PETERSON T. C.; FOLLAND, C.; GRUZA, G.; HOGG, W.; MOKSSIT, A.; PLUMMER, N. Report on the Activities of the Working Group on Climate Change

Detection and Related Rapporteurs, **WMO/TD**, n. 1071, WMO, Geneva, 146 pp. 2001.

RUSTICUCCI, M.; ZAZULIE, N. Attribution and projections of temperature extreme trends in South America based on CMIP5 models. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1504, n. 1, p. 154 – 166, 2021.

SAHA, S.; MOORTHI, S.; PAN, H.-L.; WU, X.; WANG, J.; NADIGA, S.; *et al.* The NCEP climate forecast system reanalysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 91, p. 1015–1058, 2010

SECRETARIA DA EDUCAÇÃO. **Geografia do Paraná**. 2024. Disponível em: <<http://www.geografia.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=1575&evento=8#menu-galeria>>. Acesso em: 28 mai. 24.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on kendall's tau. **Journal of the American statistical association**, v. 63, n. 324, p. 1379–1389, 1968.

SHERIDAN, S. C.; LEE, C. C.; SMITH, E. T. A Comparison Between Station Observations and Reanalysis Data in the Identification of Extreme Temperature Events. **Geophysical Research Letters**, v. 47, n. 15, 2020.

SLIVINSKI, L. C.; COMPO, G. P.; WHITAKER, J. S.; SARDESHMUKH, P. D.; GIESE, B. S.; MCCOLL, C.; ALLAN, R.; YIN, X.; *et al.* Towards a more reliable historical reanalysis: Improvements for version 3 of the Twentieth Century reanalysis system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 145, n. 724, p. 2876–2908, 2019.

SUN, Q.; MIAO, C.; DUAN, Q.; ASHOURI, H.; SOROOSHIAN, S.; HSU, K. A Review of Global Precipitation Data Sets: Data Sources, Estimation, and Intercomparisons. **Reviews of Geophysics**, v. 56, n. 1, p. 79–107, 2018.

TAREK, M.; BRISSETTE, F. P.; 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, n. 5, p. 2527–2544, 2020.

THORNE, P. W.; VOSE, R. S. Reanalyses suitable for characterizing long-term trends. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 91, n. 3, p. 353–361, 2010.

UNEP - United Nations Environment Programme. **Convention on Mercury**, 2017. Disponível em: <<https://minamataconvention.org/en/resources/nap-guidance-document>>. Acesso em: 23 mai 24.

UNICEF. Crianças, Adolescentes e Mudanças Climáticas no Brasil. **Fundo das Nações Unidas para a Infância**. 2022. Disponível em: <<https://www.unicef.org/brazil/relatorios/criancas-adolescentes-e-mudancas-climaticas-no-brasil-2022>>. Acesso em: 18 jan 2024.

VALERIANO, T. T. B.; ROLIM, G. S.; BISPO, R. C.; MORAES, J. R. S. C.;

- APARECIDO, L. E. O. Evaluation of air temperature and rainfall from ECMWF and NASA gridded data for southeastern Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 137, n. 3–4, p. 1925–1938, 2019.
- VISHWANATHAN, G.; MCDONALD, A.; STONE, D. A.; ROSIER, S.; RANA, S.; NOBLE, C. Mean and extreme precipitation over Aotearoa New Zealand: A comparison across multiple different estimation techniques. **International Journal of Climatology**, v. 43, n. 7, p. 3072–3093, 2023.
- WANG, J.; MENG, Q.; ZOU, Y.; QI, Q.; TAN, K.; SANTAMOURIS, M.; HE, B. Performance synergism of pervious pavement on stormwater management and urban heat island mitigation: A review of its benefits, key parameters, and co-benefits approach. **Water Research**, v.221, 118755, 2022.
- WANG, L.; YAO, Z.; JIANG, L.; WANG, R.; WU, S.; LIU, Z. Changes in climate extremes and catastrophic events in the Mongolian Plateau from 1951 to 2012. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 55, n. 5, p. 1169–1182, 2016.
- WANG, G.; ZHANG, X.; ZHANG, S. Performance of three reanalysis precipitation datasets over the qinling-daba mountains, eastern fringe of tibetan plateau, China. **Advances in Meteorology**, v. 2019, 2019.
- WMO. Guide to Instruments and Methods of Observation. Volume I-Measurement of Meteorological Variables. **World Meteorological Organization (WMO)**, WMO-No. 8, Geneva, Switzerland, 2023.
- WMO. The role of climatological normals in a changing climate World Climate Data and Monitoring Programme. **World Meteorological Organization (WMO)**, WCDMP-No. 61, Geneva, Switzerland, 2007.
- WMO. International Meteorological Vocabulary. **Secretariat of the World Meteorological Organization**, WMO No. 182, Geneva, Switzerland, 2007.
- XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644–2659, 2016.
- XU, W., LEI, X.; CHEN, S.; YU, T.; HU, Z.; ZHANG, M.; JIANG, L.; BAO, R.; GUAN, X.; MAS, M.; WEI, J.; GAO, L.; FENG, A. How Well Does the ERA5 Reanalysis Capture the Extreme Climate Events Over China? Part II: Extreme Temperature. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, 2022.
- YANG, J.; GONG, P.; FU, R.; ZHANG, M.; CHEN, J.; LIANG, S.; XU, B.; SHI, J.; DICKINSON, R. The role of satellite remote sensing in climate change studies. **Nature Climate Change**, v.3 p. 875-883, 2013.
- YOU, Q.; FRAEDRICH, K; MIN, J.; KANG, S.; ZHU, X.; REN, G.; MENG, X. Can temperature extremes in China be calculated from reanalysis? **Global and Planetary Change**, v. 111, p. 268–279, 2013.

ZHAO, P.; HE, Z.; MA, D.; WANG, W. Evaluation of ERA5-Land reanalysis datasets for extreme temperatures in the Qilian Mountains of China. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 11, 2023.

ZHU, G.; ZHAO, X. Changes of extreme climate indices on the Mongolian Plateau during 1981-2020 based on ERA5 reanalysis. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 154, n. 1–2, p. 467–482, 2023.

APÊNDICE A

Métricas estatísticas para TX, TN e TM entre as estações meteorológicas e o conjunto de dados do programa ERA5.

As estações com marcação (*) são estações meteorológicas automáticas.

Estação	CC			BIAS			RB			MAE			RMSE			DISO		
	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM
Antonina - IDR	0,92	0,86	0,94	-3,04	-1,06	-1,68	-11,58	-6,38	-8,18	3,22	1,85	1,90	3,59	2,31	2,15	0,23	0,23	0,17
Apucarana - IDR	0,95	0,88	0,97	-0,34	-0,48	-0,18	-1,31	-2,85	-0,89	0,99	1,44	0,74	1,33	1,91	0,97	0,08	0,19	0,07
Bandeirantes - IDR	0,94	0,88	0,97	-0,81	1,24	0,57	-2,80	7,37	2,60	1,27	1,81	0,85	1,65	2,27	1,09	0,10	0,23	0,08
Bela Vista do Paraíso - IDR	0,95	0,88	0,97	0,22	0,53	0,64	0,81	3,08	2,96	0,95	1,50	0,87	1,28	1,87	1,05	0,07	0,19	0,08
Cambará - IDR	0,94	0,87	0,96	-1,15	1,34	0,69	-4,00	8,17	3,20	1,48	1,93	0,98	1,82	2,46	1,24	0,11	0,25	0,09
Campo Tenente - AT	0,74	0,70	0,76	-1,28	-0,37	-1,42	-5,21	-2,56	-7,25	2,31	2,32	1,98	3,62	3,36	3,15	0,32	0,41	0,32
Cândido de Abreu - IDR	0,95	0,90	0,97	-1,65	-1,26	-0,71	-6,29	-8,25	-3,63	1,87	1,78	0,93	2,19	2,33	1,15	0,14	0,23	0,09
Cascavel - IDR	0,95	0,91	0,98	-0,25	0,34	0,44	-1,01	2,25	2,28	1,13	1,50	0,83	1,52	1,91	1,04	0,09	0,18	0,08
Cascavel - Coodetec - IDR	0,95	0,91	0,98	-0,62	0,15	0,21	-2,41	0,95	1,04	1,17	1,40	0,70	1,56	1,84	0,90	0,09	0,17	0,06

Estação	CC			BIAS			RB			MAE			RMSE			DISO		
	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM
Cerro Azul - IDR	0,91	0,87	0,95	-3,28	-1,25	-1,44	-11,83	-7,89	-7,08	3,50	2,01	1,68	3,90	2,54	1,95	0,24	0,26	0,15
Cianorte - IDR	0,95	0,92	0,98	-0,70	-0,17	-0,13	-2,53	-0,97	-0,60	1,22	1,18	0,67	1,58	1,57	0,86	0,09	0,14	0,06
Clevelândia - IDR	0,96	0,91	0,98	-0,51	0,31	0,28	-2,18	2,37	1,62	1,09	1,46	0,69	1,46	1,88	0,87	0,09	0,20	0,07
Clevelândia - AT (*)	0,95	0,89	0,96	-0,65	0,66	-0,55	-2,72	4,99	-2,97	1,19	1,69	1,04	1,66	2,17	1,36	0,10	0,24	0,11
Dois Vizinhos - AT	0,92	0,88	0,94	-0,61	0,07	-0,77	-2,29	0,43	-3,66	1,39	1,61	1,22	1,99	2,19	1,63	0,12	0,21	0,12
Fernandes Pinheiro - IDR	0,95	0,89	0,97	-0,64	0,61	0,50	-2,66	4,58	2,83	1,25	1,66	0,83	1,61	2,13	1,04	0,10	0,24	0,08
Foz do Iguaçu - AT (*)	0,95	0,86	0,95	-0,64	1,23	-0,14	-2,26	7,29	-0,62	1,25	2,26	1,14	1,81	2,79	1,54	0,10	0,26	0,10
Francisco Beltrão - IDR	0,95	0,88	0,97	-1,41	0,51	-0,03	-5,41	3,65	-0,17	1,72	1,87	0,82	2,08	2,38	1,03	0,13	0,25	0,07
General Carneiro - AT (*)	0,93	0,82	0,93	-2,36	0,73	-1,49	-9,76	6,43	-8,42	2,64	2,34	1,84	3,02	3,03	2,20	0,21	0,39	0,20
Guaíra - AT	0,81	0,77	0,83	-1,62	1,06	-0,67	-5,62	5,88	-2,85	2,39	2,30	1,75	3,35	3,08	2,52	0,25	0,32	0,22
Guarapuava – Cedeteg - IDR	0,96	0,86	0,97	-1,19	-0,18	-0,51	-5,01	-1,38	-2,85	1,37	1,72	0,83	1,71	2,28	1,04	0,11	0,26	0,08
Guarapuava – Col Agrícola - IDR	0,95	0,88	0,98	-1,66	-0,12	-0,35	-7,07	-0,97	-2,07	1,83	1,63	0,76	2,18	2,14	0,95	0,15	0,25	0,08
Ibaiti - AT (*)	0,94	0,85	0,94	0,38	0,39	-0,04	1,44	2,49	-0,20	1,20	1,70	0,98	1,60	2,19	1,26	0,10	0,23	0,09

Estação	CC			BIAS			RB			MAE			RMSE			DISO		
	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM
Ibiporã - IDR	0,95	0,90	0,97	-0,26	0,06	0,12	-0,92	0,37	0,56	0,98	1,30	0,69	1,32	1,72	0,88	0,08	0,16	0,06
Icaraima - AT (*)	0,93	0,88	0,94	-0,13	0,38	-0,35	-0,44	2,06	-1,45	1,22	1,53	1,03	1,70	2,05	1,43	0,10	0,18	0,10
Ivaí - AT (*)	0,94	0,88	0,95	-1,15	-0,03	-1,12	-4,51	-0,21	-5,67	1,53	1,51	1,36	1,92	2,03	1,67	0,12	0,22	0,13
Laranjeiras do Sul - IDR	0,95	0,89	0,97	-0,35	0,06	0,10	-1,40	0,45	0,51	1,11	1,60	0,81	1,51	2,08	1,03	0,09	0,22	0,08
Londrina - IDR	0,96	0,89	0,98	-0,68	0,60	0,16	-2,47	3,68	0,77	1,05	1,50	0,59	1,38	1,91	0,77	0,08	0,19	0,05
Mauá da Serra - IDR	0,93	0,86	0,95	1,47	0,07	0,98	6,26	0,47	5,27	1,74	1,62	1,27	2,09	2,06	1,54	0,15	0,22	0,13
Morretes - IDR	0,94	0,89	0,97	-2,15	-0,33	-0,69	-8,18	-1,88	-3,30	2,32	1,36	1,00	2,65	1,76	1,19	0,17	0,17	0,09
Morretes - AT (*)	0,91	0,89	0,94	-1,85	-0,13	-1,46	-7,04	-0,76	-6,62	2,30	1,34	1,66	2,68	1,75	1,94	0,17	0,17	0,15
Nova Cantu - IDR	0,94	0,89	0,97	-1,78	-0,79	-0,87	-6,43	-4,82	-4,15	2,00	1,58	1,05	2,40	2,17	1,29	0,14	0,20	0,09
Palotina - IDR	0,95	0,86	0,96	-1,05	1,97	1,14	-3,67	12,28	5,34	1,43	2,59	1,40	1,83	3,25	1,73	0,10	0,32	0,12
Palotina - AT	0,79	0,77	0,82	-0,02	0,85	-0,02	-0,07	4,87	-0,07	2,23	2,31	1,77	3,14	3,14	2,55	0,25	0,33	0,22
Paranapoema - AT (*)	0,93	0,85	0,93	-0,91	1,33	-0,25	-3,00	7,34	-1,03	1,39	1,99	1,05	1,83	2,52	1,41	0,11	0,24	0,10
Pato Branco - IDR	0,96	0,91	0,98	-0,45	0,27	0,40	-1,78	1,87	2,13	1,08	1,49	0,75	1,43	1,93	0,95	0,08	0,19	0,07

Estação	CC			BIAS			RB			MAE			RMSE			DISO		
	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM
Pinhais - IDR	0,96	0,87	0,97	-0,78	0,97	0,52	-3,48	7,64	3,11	1,21	1,82	0,81	1,58	2,35	1,03	0,10	0,28	0,09
Planalto - IDR	0,96	0,92	0,98	-0,79	-0,17	-0,22	-2,89	-1,02	-1,05	1,21	1,38	0,73	1,61	1,86	0,92	0,09	0,16	0,06
Planalto - AT (*)	0,94	0,89	0,95	-0,77	0,05	-0,84	-2,80	0,30	-3,74	1,44	1,62	1,24	1,96	2,16	1,59	0,11	0,20	0,11
Ponta Grossa - IDR	0,95	0,89	0,98	-0,52	0,09	0,21	-2,20	0,68	1,15	1,13	1,48	0,69	1,49	1,96	0,87	0,09	0,21	0,07
Quedas do Iguaçu - IDR	0,95	0,90	0,97	-1,18	-0,01	-0,22	-4,40	-0,04	-1,07	1,55	1,55	0,78	1,94	2,07	1,00	0,11	0,20	0,07
São Miguel do Iguaçu - IDR	0,96	0,91	0,98	-0,96	0,66	0,27	-3,48	3,93	1,26	1,29	1,74	0,72	1,69	2,20	0,92	0,09	0,20	0,06
Usina Santa Terezinha - AT	0,76	0,86	0,85	-0,23	1,06	-0,06	-0,81	5,84	-0,25	2,18	1,85	1,58	3,08	2,35	2,16	0,27	0,23	0,19

APÊNDICE B

Métricas estatísticas para TX, TN e TM entre as estações meteorológicas e o conjunto de dados do programa JRA-55.

As estações com marcação (*) são estações meteorológicas automáticas.

Estações	CC			BIAS			RB			MAE			RMSE			DISO		
	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM
Antonina - IDR	0,86	0,76	0,88	-3,95	-0,70	-1,39	-15,04	-4,22	-6,76	4,23	2,15	2,02	4,72	2,65	2,36	0,32	0,32	0,21
Apucarana - IDR	0,85	0,85	0,92	0,40	2,16	2,23	1,52	12,92	10,78	1,68	2,44	2,31	2,22	2,93	2,69	0,18	0,30	0,22
Bandeirantes - IDR	0,85	0,77	0,91	-3,61	0,63	-0,41	-12,53	3,78	-1,86	3,82	2,01	1,24	4,26	2,65	1,55	0,28	0,31	0,13
Bela Vista do Paraíso - IDR	0,85	0,83	0,91	-0,57	1,57	1,43	-2,11	9,13	6,64	1,82	2,07	1,65	2,31	2,62	2,09	0,19	0,27	0,17
Cambará - IDR	0,85	0,74	0,90	-2,56	1,81	0,98	-8,92	11,03	4,54	2,97	2,55	1,47	3,38	3,34	1,87	0,23	0,38	0,15
Campo Tenente - AT	0,73	0,64	0,74	-2,85	0,60	-1,03	-11,62	4,15	-5,28	3,35	2,55	2,05	4,56	3,44	3,13	0,38	0,47	0,33
Cândido de Abreu - IDR	0,86	0,81	0,93	-1,71	1,21	1,29	-6,53	7,93	6,64	2,43	2,09	1,57	2,86	2,74	1,95	0,21	0,31	0,16
Cascavel - IDR	0,87	0,86	0,94	0,00	2,87	2,45	-0,01	18,78	12,61	1,78	3,06	2,51	2,33	3,61	2,87	0,17	0,39	0,24
Cascavel - Coodetec - IDR	0,89	0,86	0,95	-0,38	2,39	2,14	-1,47	15,18	10,84	1,71	2,66	2,21	2,19	3,23	2,54	0,16	0,34	0,21
Cerro Azul - IDR	0,84	0,75	0,87	-5,49	-0,59	-1,50	-19,84	-3,69	-7,38	5,64	2,38	2,18	6,12	2,98	2,58	0,39	0,35	0,23

Estações	CC			BIAS			RB			MAE			RMSE			DISO		
	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM
Cianorte - IDR	0,86	0,86	0,93	-1,34	1,62	1,12	-4,86	9,33	5,18	2,19	2,04	1,46	2,69	2,57	1,87	0,20	0,25	0,14
Clevelândia - IDR	0,90	0,86	0,96	-0,31	2,37	2,25	-1,34	18,13	13,01	1,63	2,69	2,29	2,13	3,30	2,57	0,15	0,40	0,24
Clevelândia - AT (*)	0,92	0,82	0,94	-0,60	2,55	1,23	-2,52	19,29	6,67	1,56	2,97	1,61	2,01	3,59	1,94	0,14	0,44	0,16
Dois Vizinhos - AT	0,89	0,78	0,91	-1,58	2,27	0,60	-5,95	14,61	2,83	2,27	2,89	1,46	2,77	3,59	1,85	0,19	0,40	0,15
Fernandes Pinheiro - IDR	0,88	0,80	0,94	-1,41	1,81	1,47	-5,81	13,60	8,29	2,23	2,42	1,62	2,67	3,11	1,97	0,20	0,38	0,18
Foz do Iguaçu - AT (*)	0,90	0,77	0,91	-1,18	3,21	1,23	-4,20	19,12	5,46	1,99	3,70	1,89	2,55	4,49	2,30	0,16	0,46	0,17
Francisco Beltrão - IDR	0,90	0,76	0,94	-2,01	2,76	1,45	-7,71	19,65	7,50	2,59	3,33	1,72	3,02	4,20	2,13	0,20	0,49	0,17
General Carneiro - AT (*)	0,87	0,70	0,90	-2,96	2,51	-0,05	-12,29	22,21	-0,27	3,39	3,38	1,52	3,89	4,42	1,91	0,28	0,62	0,17
Guaíra - AT	0,79	0,71	0,81	-2,29	1,75	-0,05	-7,93	9,74	-0,22	2,84	2,78	1,86	3,75	3,66	2,57	0,27	0,40	0,23
Guarapuava – Cedeteg - IDR	0,90	0,77	0,95	-0,79	2,14	1,71	-3,34	16,06	9,61	1,65	2,67	1,82	2,07	3,53	2,13	0,15	0,43	0,19
Guarapuava – Col Agrícola - IDR	0,87	0,79	0,94	-0,79	2,35	2,15	-3,34	18,47	12,60	1,88	2,79	2,22	2,39	3,56	2,54	0,19	0,45	0,24
Ibaiti - AT (*)	0,88	0,80	0,92	-3,11	0,30	-1,21	-11,70	1,88	-5,71	3,30	1,73	1,54	3,75	2,30	1,90	0,25	0,27	0,15
Ibiporã - IDR	0,86	0,81	0,93	-2,02	0,73	0,33	-7,22	4,21	1,51	2,49	1,79	1,10	2,93	2,35	1,43	0,21	0,26	0,11

Estações	CC			BIAS			RB			MAE			RMSE			DISO		
	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM
Icaraima - AT (*)	0,89	0,81	0,91	-1,44	2,00	0,48	-4,99	10,77	2,03	2,08	2,51	1,41	2,57	3,12	1,81	0,17	0,31	0,14
Ivaí - AT (*)	0,88	0,80	0,92	-3,20	0,88	-0,95	-12,55	6,31	-4,81	3,42	2,08	1,46	3,84	2,67	1,83	0,26	0,32	0,15
Laranjeiras do Sul - IDR	0,88	0,83	0,94	-0,94	2,15	1,62	-3,79	15,01	8,58	1,92	2,59	1,77	2,42	3,22	2,13	0,18	0,37	0,18
Londrina - IDR	0,87	0,79	0,93	-1,44	1,87	1,12	-5,24	11,57	5,30	2,12	2,40	1,41	2,55	3,04	1,78	0,19	0,34	0,14
Mauá da Serra - IDR	0,85	0,85	0,91	1,51	1,95	2,68	6,44	12,97	14,39	2,09	2,31	2,77	2,66	2,79	3,12	0,22	0,31	0,28
Morretes - IDR	0,87	0,78	0,89	-4,00	-0,84	-1,41	-15,20	-4,81	-6,76	4,22	2,00	1,93	4,64	2,50	2,24	0,31	0,29	0,19
Morretes - AT (*)	0,86	0,77	0,89	-3,79	-0,75	-2,29	-14,41	-4,27	-10,41	4,11	1,95	2,55	4,55	2,47	2,91	0,31	0,29	0,23
Nova Cantu - IDR	0,84	0,82	0,93	-2,68	1,34	0,55	-9,69	8,20	2,63	3,13	2,11	1,25	3,66	2,77	1,60	0,25	0,29	0,12
Palotina - IDR	0,87	0,76	0,92	-2,34	3,45	1,87	-8,14	21,49	8,77	2,85	3,79	2,13	3,35	4,76	2,58	0,21	0,50	0,20
Palotina - AT	0,79	0,69	0,80	-1,64	2,24	0,52	-5,83	12,86	2,27	2,48	3,13	2,01	3,43	4,00	2,69	0,27	0,44	0,25
Paranapoema - AT (*)	0,88	0,76	0,89	-2,57	2,10	-0,01	-8,50	11,59	-0,05	2,88	2,65	1,39	3,35	3,40	1,74	0,21	0,36	0,14
Pato Branco - IDR	0,90	0,82	0,95	-1,09	2,41	1,85	-4,32	16,75	9,83	1,88	2,86	1,98	2,33	3,50	2,31	0,16	0,40	0,20
Pinhais - IDR	0,87	0,79	0,93	-0,29	3,78	2,73	-1,29	29,62	16,44	1,86	3,88	2,76	2,42	4,57	3,11	0,19	0,60	0,31

Estações	CC			BIAS			RB			MAE			RMSE			DISO		
	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM	TX	TN	TM
Planalto - IDR	0,90	0,84	0,94	-1,09	2,39	1,57	-4,01	14,26	7,36	2,00	2,81	1,79	2,49	3,45	2,16	0,16	0,34	0,16
Planalto - AT (*)	0,90	0,79	0,92	-1,31	2,39	0,77	-4,72	14,08	3,43	2,10	3,00	1,53	2,60	3,69	1,93	0,17	0,38	0,14
Ponta Grossa - IDR	0,89	0,83	0,94	-1,37	0,91	0,93	-5,75	6,59	5,23	2,11	1,87	1,25	2,53	2,52	1,61	0,19	0,29	0,14
Quedas do Iguaçu - IDR	0,87	0,82	0,93	-1,98	2,04	1,17	-7,41	13,06	5,77	2,63	2,60	1,54	3,10	3,28	1,93	0,21	0,35	0,15
São Miguel do Iguaçu - IDR	0,90	0,82	0,94	-0,99	3,08	2,03	-3,59	18,49	9,53	1,99	3,45	2,22	2,51	4,20	2,60	0,16	0,42	0,20
Usina Santa Terezinha - AT	0,76	0,78	0,82	-0,89	2,50	1,02	-3,12	13,77	4,35	2,35	2,87	2,06	3,19	3,52	2,58	0,28	0,36	0,24

APÊNDICE C

Coeficientes de correlação (CC) para os índices de extremos climáticos entre as estações meteorológicas e o conjunto de dados do programa de reanálise ERA5. As estações com marcação (*) são estações meteorológicas automáticas.

Estações	CC														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Antonina - IDR	0,83	0,95	0,91	0,95	0,79	NA	0,35	0,56	1,00	0,74	0,78	0,78	0,68	0,58	0,67
Apucarana - IDR	0,95	0,96	0,78	0,97	0,79	0,49	0,86	0,83	1,00	0,80	0,82	0,84	0,65	0,80	0,21
Bandeirantes - IDR	0,94	0,91	0,90	0,97	0,92	NA	0,91	0,74	1,00	0,76	0,85	0,83	0,64	0,72	0,45
Bela Vista do Paraíso - IDR	0,96	0,95	0,89	0,97	0,86	NA	0,93	0,80	1,00	0,81	0,88	0,87	0,70	0,81	0,56
Cambará - IDR	0,93	0,93	0,90	0,96	0,93	NA	0,87	0,62	1,00	0,79	0,83	0,80	0,62	0,80	0,31
Campo Tenente - AT	0,61	0,85	0,51	0,90	0,53	0,75	0,15	0,22	-0,17	0,49	0,37	0,51	0,22	0,15	0,12
Cândido de Abreu - IDR	0,95	0,95	0,93	0,97	0,90	0,78	0,98	0,50	1,00	0,80	0,74	0,80	0,76	0,67	NA
Cascavel - IDR	0,95	0,97	0,87	0,97	0,87	-0,08	0,95	0,85	1,00	0,81	0,78	0,84	0,75	0,64	0,35
Cascavel - Coodetec - IDR	0,94	0,96	0,87	0,98	0,87	0,71	0,97	0,55	0,38	0,74	0,82	0,80	0,72	0,33	NA
Cerro Azul - IDR	0,92	0,94	0,93	0,95	0,78	0,40	0,60	0,52	1,00	0,75	0,80	0,77	0,68	0,74	0,05
Cianorte - IDR	0,94	0,95	0,90	0,99	0,90	NA	0,92	0,77	1,00	0,81	0,87	0,87	0,70	0,78	0,37

Estações	CC														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Clevelândia - IDR	0,94	0,97	0,87	0,97	0,90	0,83	0,89	0,54	0,90	0,80	0,79	0,89	0,81	0,56	0,48
Clevelândia - AT (*)	0,94	0,96	0,81	0,98	0,88	0,96	0,86	0,24	0,94	0,85	0,76	0,78	0,78	0,50	0,81
Dois Vizinhos - AT	0,94	0,93	0,80	0,98	0,76	0,80	0,78	0,76	-0,33	0,56	0,82	0,80	0,73	0,29	1,00
Fernandes Pinheiro - IDR	0,94	0,95	0,92	0,97	0,83	0,83	0,91	0,63	1,00	0,80	0,86	0,86	0,76	0,70	0,50
Foz do Iguaçu - AT (*)	0,95	0,97	0,73	0,96	0,78	NA	0,87	0,61	1,00	0,80	0,84	0,72	0,54	0,50	1,00
Francisco Beltrão - IDR	0,94	0,96	0,89	0,97	0,91	0,77	0,69	0,57	0,12	0,79	0,81	0,87	0,71	0,50	0,31
General Carneiro - AT (*)	0,92	0,93	0,91	0,93	0,81	0,67	-0,27	0,62	0,94	0,75	0,71	0,69	0,74	0,69	0,95
Guaira - AT	0,74	0,88	0,74	0,90	0,65	NA	0,39	0,51	1,00	0,62	0,54	0,61	0,43	0,34	0,08
Guarapuava – Cedeteg - IDR	0,94	0,96	0,91	0,96	0,91	0,82	0,83	0,67	0,00	0,81	0,83	0,75	0,84	0,29	0,29
Guarapuava – Col Agrícola - IDR	0,93	0,96	0,88	0,96	0,90	0,78	0,74	0,61	0,52	0,81	0,82	0,82	0,75	0,32	0,24
Ibaiti - AT (*)	0,93	0,91	0,76	0,96	0,63	NA	0,79	0,75	1,00	0,60	0,69	0,58	0,72	0,30	0,14
Ibiporã - IDR	0,95	0,94	0,93	0,97	0,93	NA	0,89	0,76	1,00	0,78	0,85	0,85	0,73	0,82	0,47
Icaraima - AT (*)	0,88	0,95	0,77	0,97	0,70	NA	0,72	0,48	1,00	0,77	0,74	0,75	0,47	0,72	0,75

Estações	CC														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Ivaí - AT (*)	0,93	0,93	0,92	0,97	0,90	0,63	0,69	0,74	1,00	0,70	0,83	0,82	0,76	0,56	0,71
Laranjeiras do Sul - IDR	0,94	0,96	0,74	0,97	0,86	0,84	0,88	0,56	1,00	0,76	0,84	0,87	0,66	0,66	0,56
Londrina - IDR	0,96	0,94	0,92	0,98	0,94	0,39	0,89	0,79	1,00	0,81	0,89	0,87	0,76	0,79	0,68
Mauá da Serra - IDR	0,90	0,92	0,68	0,92	0,70	0,95	0,87	0,81	1,00	0,69	0,68	0,77	0,53	0,64	0,10
Morretes - IDR	0,91	0,96	0,94	0,96	0,78	NA	0,64	0,92	1,00	0,79	0,82	0,85	0,80	0,62	0,14
Morretes - AT (*)	0,90	0,94	0,93	0,95	0,82	NA	0,68	0,85	1,00	0,58	0,79	0,77	0,70	0,17	NA
Nova Cantu - IDR	0,92	0,95	0,85	0,97	0,87	0,84	0,69	0,69	0,53	0,78	0,76	0,87	0,78	0,42	0,44
Palotina - IDR	0,95	0,96	0,86	0,97	0,93	0,20	0,88	0,58	1,00	0,80	0,83	0,80	0,61	0,80	0,56
Palotina - AT	0,73	0,90	0,72	0,92	0,63	NA	0,30	0,37	1,00	0,70	0,56	0,65	0,45	0,18	0,08
Paranapoema - AT (*)	0,93	0,94	0,83	0,98	0,88	NA	0,93	0,80	1,00	0,66	0,80	0,81	0,50	0,28	0,82
Pato Branco - IDR	0,95	0,96	0,89	0,98	0,88	0,81	0,86	0,61	0,44	0,83	0,84	0,88	0,71	0,58	0,42
Pinhais - IDR	0,94	0,96	0,91	0,96	0,90	0,53	0,87	0,20	1,00	0,81	0,84	0,81	0,79	0,75	0,49

Estações	CC														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Planalto - IDR	0,95	0,96	0,87	0,98	0,90	0,80	0,90	0,69	0,53	0,82	0,85	0,86	0,76	0,51	0,23
Planalto - AT (*)	0,92	0,94	0,84	0,98	0,74	0,80	0,96	0,58	1,00	0,65	0,68	0,80	0,55	0,11	NA
Ponta Grossa - IDR	0,94	0,96	0,91	0,97	0,89	0,80	0,86	0,55	1,00	0,84	0,87	0,87	0,73	0,79	0,71
Quedas do Iguaçu - IDR	0,94	0,95	0,85	0,98	0,92	0,21	0,95	0,66	0,46	0,77	0,84	0,88	0,64	0,67	0,29
São Miguel do Iguaçu - IDR	0,96	0,97	0,89	0,98	0,92	NA	0,94	0,60	1,00	0,77	0,81	0,90	0,83	0,74	0,42
Usina Santa Terezinha - AT	0,93	0,96	0,92	0,98	0,91	NA	0,94	0,63	1,00	0,72	0,75	0,70	0,74	0,83	-0,37

APÊNDICE D

Viés Relativo (RB) para os índices de extremos climáticos entre as estações meteorológicas e o conjunto de dados do programa de reanálise ERA5. As estações com marcação (*) são estações meteorológicas automáticas.

Estações	RB														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Antonina - IDR	-10,98	-16,52	-4,39	-8,54	-20,55	NA	-35,62	-36,52	0,00	-12,12	12,51	1,92	9,39	4,76	85,71
Apucarana - IDR	-1,02	-0,02	-5,95	-1,59	1,40	133,33	-2,27	-2,17	0,00	-5,48	10,20	-4,79	9,42	59,51	60,87
Bandeirantes - IDR	-2,92	-1,98	4,85	13,99	-17,06	-100,00	-3,32	58,87	0,00	-15,42	31,63	-11,61	39,89	144,61	27,55
Bela Vista do Paraíso - IDR	0,22	2,82	-1,02	9,68	-3,14	-100,00	4,68	51,10	0,00	-10,95	29,76	-6,89	34,81	134,48	30,23
Cambará - IDR	-4,23	-3,16	4,81	20,16	-20,06	-100,00	-5,58	56,81	0,00	-11,42	8,70	-9,10	20,32	47,73	54,67
Campo Tenente - AT	-5,27	-6,62	-3,90	-2,58	-9,09	146,15	-13,23	-20,00	-0,09	-11,27	63,03	-0,69	48,02	50,32	-19,35
Cândido de Abreu - IDR	-6,03	-6,18	-5,33	-11,54	-3,59	180,00	-19,42	-74,36	0,00	-13,89	-8,19	-15,23	6,24	383,33	NA
Cascavel - IDR	-0,39	0,30	3,25	1,95	-6,04	71,43	-0,35	112,64	0,00	-8,44	1,07	7,60	-6,49	45,07	158,33
Cascavel - Coodetec - IDR	-1,45	-2,88	0,93	2,09	-7,77	-14,29	-4,46	51,80	-0,18	-9,35	-5,08	-12,19	1,83	140,74	NA
Cerro Azul - IDR	-10,51	-15,11	-6,91	-6,11	-17,15	27,27	-29,47	-72,40	0,00	-5,18	8,48	1,43	16,30	63,16	4,00
Cianorte - IDR	-1,82	-1,34	-1,85	3,12	-5,19	NA	-4,58	5,49	0,00	-2,45	13,88	2,14	10,28	82,52	181,08

Estações	RB														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Clevelândia - IDR	-1,27	-2,00	2,70	3,34	-7,96	18,64	-9,21	147,22	-0,04	-4,93	39,54	4,68	16,10	68,33	89,19
Clevelândia - AT (*)	-1,76	-4,19	3,86	11,05	-12,35	-6,06	-10,49	115,38	-0,05	-17,57	41,16	-28,76	36,19	900,00	185,71
Dois Vizinhos - AT	-1,77	-2,65	-1,18	6,56	-6,23	-9,09	-2,66	29,39	-0,04	-17,24	48,54	-23,86	24,20	551,72	85,71
Fernandes Pinheiro - IDR	-3,80	0,13	4,29	9,96	-11,56	-10,71	-11,86	295,06	0,00	-12,09	43,84	-3,96	34,70	114,72	-10,13
Foz do Iguaçu - AT (*)	-1,90	-2,97	3,76	21,97	-16,48	-100,00	-1,81	51,35	0,00	-20,32	52,12	-24,47	28,48	201,89	8,33
Francisco Beltrão - IDR	-4,99	-4,38	0,74	11,00	-15,99	-5,56	-12,55	5,89	-0,13	-4,41	44,20	1,91	25,29	177,14	15,71
General Carneiro - AT (*)	-9,19	-10,54	-1,23	39,39	-24,05	-48,54	-41,84	-62,50	-0,02	-24,17	40,27	-27,39	28,24	493,33	46,15
Guaira - AT	-4,56	-9,13	2,34	20,02	-24,66	-100,00	-7,97	51,42	0,00	-0,73	88,83	7,67	69,23	65,85	-30,56
Guarapuava – Cedeteg - IDR	-4,11	-6,83	-1,34	4,88	-9,62	-16,67	-25,21	-45,00	-0,06	-21,62	61,50	-18,85	45,80	321,43	31,58
Guarapuava – Col Agrícola - IDR	-6,51	-7,42	-1,22	7,29	-14,28	-4,35	-38,77	-80,00	-0,10	-4,06	27,97	3,36	14,31	55,78	100,00
Ibaiti - AT (*)	0,54	0,90	0,56	5,43	-0,20	-100,00	6,75	83,38	0,00	-42,48	96,20	-29,74	74,15	596,88	533,33
Ibiporã - IDR	-0,52	-0,24	-0,32	1,45	-3,04	-100,00	-1,76	18,52	0,00	-15,12	18,82	-7,64	27,35	85,55	34,38
Icaraima - AT (*)	0,93	-1,59	0,40	7,04	-4,94	NA	-0,59	14,54	0,00	-16,16	50,98	-14,22	30,50	620,69	86,67

Estações	RB														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Ivaí - AT (*)	-4,50	-4,62	-0,32	4,97	-9,78	58,82	-14,81	10,09	0,00	-28,05	64,85	-24,04	40,53	436,00	-10,00
Laranjeiras do Sul - IDR	-0,40	0,41	-3,07	1,08	-3,92	27,91	-2,81	6,22	0,01	-2,80	36,40	6,20	15,39	82,46	50,00
Londrina - IDR	-2,54	-1,39	2,35	6,69	-11,37	-50,00	-4,09	49,44	0,00	-12,75	38,01	-10,73	42,37	121,53	-8,44
Mauá da Serra - IDR	6,77	6,87	-1,95	3,53	16,53	-16,67	43,01	36,17	0,00	-7,10	-17,24	0,05	3,04	49,12	883,33
Morretes - IDR	-8,11	-9,91	-1,16	-0,46	-20,70	NA	-25,37	-4,94	0,00	-15,76	26,74	-5,93	31,78	128,00	222,58
Morretes - AT (*)	-8,03	-6,48	-0,22	1,98	-19,86	NA	-21,80	-0,93	0,00	-33,44	34,01	-33,40	49,98	292,31	NA
Nova Cantu - IDR	-6,07	-6,69	-5,50	-6,51	-8,77	104,76	-13,69	-33,12	-0,04	-3,14	27,76	4,85	19,48	68,94	58,97
Palotina - IDR	-2,55	-3,47	6,47	36,83	-23,86	-97,59	-5,04	73,74	0,00	-0,83	26,16	5,76	15,15	57,34	98,18
Palotina - AT	0,73	-4,34	1,58	8,99	-5,63	-100,00	2,78	48,81	0,00	0,03	81,16	7,90	65,91	115,04	-32,65
Paranapoema - AT (*)	-3,33	-3,99	3,73	13,63	-18,42	NA	-2,78	35,43	0,00	-42,00	90,73	-29,02	72,29	486,49	183,33
Pato Branco - IDR	-0,94	-0,45	0,98	7,02	-6,67	13,56	-3,34	68,11	-0,07	-5,18	34,62	3,78	19,49	80,00	9,68
Pinhais - IDR	-3,98	-3,32	5,62	17,36	-18,04	-64,41	-19,39	520,00	0,00	-6,43	14,27	1,34	18,67	112,50	183,33

Estações	RB														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Planalto - IDR	-1,88	-2,42	-2,08	1,29	-5,90	0,00	-5,46	10,59	-0,04	-5,25	31,43	5,14	16,18	109,72	175,76
Planalto - AT (*)	-1,68	-4,16	-1,77	6,52	-7,86	-50,00	-4,59	15,95	0,00	-26,66	34,91	-29,38	42,46	719,05	NA
Ponta Grossa - IDR	-2,39	-2,24	-0,20	11,56	-6,18	-32,76	-9,20	16,35	0,00	-3,94	16,36	1,99	11,94	95,83	392,31
Quedas do Iguaçu - IDR	-3,58	-4,49	0,41	-2,59	-10,48	185,71	-9,03	21,04	-0,06	-1,77	17,54	6,35	5,71	104,85	283,33
São Miguel do Iguaçu - IDR	-2,96	-3,03	1,27	10,39	-14,74	-100,00	-5,74	26,68	0,00	-1,54	-0,38	5,59	-3,09	50,70	338,46
Usina Santa Terezinha - AT	-1,58	3,59	3,25	7,56	-12,29	NA	2,32	38,52	0,00	-31,73	36,24	-21,78	14,26	230,30	46,15

APÊNDICE E

Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) para os índices de extremos climáticos entre as estações meteorológicas e o conjunto de dados do programa de reanálise ERA5. As estações com marcação (*) são estações meteorológicas automáticas.

Estações	RMSE														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Antonina - IDR	4,11	3,40	1,36	1,72	2,13	0,00	78,88	31,34	0,00	5,55	6,05	6,79	8,30	3,48	4,76
Apucarana - IDR	0,81	1,27	1,75	1,25	0,77	0,54	11,93	9,09	0,00	5,21	7,45	5,40	8,86	8,23	5,90
Bandeirantes - IDR	1,33	1,65	1,43	2,10	2,15	0,38	12,74	51,73	0,00	5,80	8,38	5,95	11,10	11,97	4,51
Bela Vista do Paraíso - IDR	0,74	1,44	1,07	1,59	0,76	0,16	13,99	44,64	0,00	5,21	7,15	4,81	9,58	10,56	4,32
Cambará - IDR	1,70	1,57	1,42	2,67	2,59	0,70	19,10	47,39	0,00	5,41	7,32	6,16	10,02	7,39	5,83
Campo Tenente - AT	3,48	2,44	2,94	2,27	1,65	1,58	44,97	23,90	1,41	7,63	16,37	8,82	16,95	19,72	6,48
Cândido de Abreu - IDR	2,05	1,73	1,31	1,61	0,75	1,52	44,22	24,57	0,00	5,40	7,75	6,67	7,45	4,25	2,68
Cascavel - IDR	0,89	1,37	1,21	1,26	0,84	1,83	6,27	29,97	0,00	5,73	8,36	5,74	6,86	6,65	3,71
Cascavel - Coodetec - IDR	1,06	1,53	0,94	1,12	0,94	1,10	10,84	24,71	2,00	6,08	7,13	6,57	7,81	8,66	3,96
Cerro Azul - IDR	3,74	3,37	1,67	1,81	2,26	1,07	75,69	49,19	0,00	5,66	7,11	6,55	8,35	7,17	3,40
Cianorte - IDR	1,03	1,47	1,01	0,96	0,74	0,20	14,30	12,69	0,00	5,20	6,53	5,10	8,63	6,44	5,79

Estações	RMSE														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Clevelândia - IDR	0,95	1,28	1,06	1,33	0,97	1,56	16,35	2,55	1,01	4,78	8,08	4,46	6,46	7,80	3,61
Clevelândia - AT (*)	1,22	1,60	1,45	1,37	1,49	0,77	18,64	8,18	0,60	5,15	10,13	6,61	9,42	13,68	2,98
Dois Vizinhos - AT	1,19	1,88	1,58	1,23	1,31	0,48	17,28	16,96	2,00	9,55	9,62	6,43	9,34	14,94	1,66
Fernandes Pinheiro - IDR	1,46	1,31	1,16	1,47	1,49	1,06	22,43	6,84	0,00	5,08	8,08	4,81	8,56	10,61	3,82
Foz do Iguaçu - AT (*)	1,13	1,44	2,04	2,59	2,19	0,84	7,98	56,14	0,00	6,23	9,90	7,50	12,41	12,52	0,32
Francisco Beltrão - IDR	1,88	1,65	1,06	1,51	2,04	1,24	31,72	9,61	1,60	5,13	8,84	4,93	8,26	12,06	4,31
General Carneiro - AT (*)	2,99	2,38	1,01	2,58	3,33	8,80	77,09	1,05	0,67	5,97	10,44	9,64	8,92	11,04	1,90
Guaira - AT	2,88	3,21	1,85	3,38	2,96	0,33	33,05	66,91	0,00	7,49	15,86	8,16	14,74	13,29	6,38
Guarapuava – Cedeteg - IDR	1,44	1,65	0,94	1,61	1,18	1,65	39,08	1,53	0,80	5,10	10,01	6,65	8,27	14,49	4,31
Guarapuava – Col Agrícola - IDR	2,08	1,77	0,95	1,57	1,65	1,83	60,51	0,86	2,04	5,06	7,42	5,79	7,30	9,79	4,97
Ibaiti - AT (*)	1,16	1,55	1,64	1,46	1,58	1,26	20,12	34,71	0,00	8,07	16,31	12,06	13,08	21,42	6,12
Ibiporã - IDR	0,87	1,43	0,86	1,10	0,63	0,16	10,31	22,21	0,00	5,55	7,78	5,16	9,12	10,07	4,14
Icaraima - AT (*)	1,34	1,63	1,52	1,55	1,12	0,00	8,44	32,86	0,00	5,80	10,92	6,75	12,95	16,75	3,05

Estações	RMSE														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Ivaí - AT (*)	1,73	1,73	0,89	1,22	1,33	1,46	34,57	3,23	0,00	6,81	10,78	6,09	8,86	16,88	3,72
Laranjeiras do Sul - IDR	0,85	1,48	1,54	1,35	0,77	0,97	10,73	6,25	0,18	5,43	7,75	5,18	8,19	8,90	3,25
Londrina - IDR	1,07	1,41	0,99	1,29	1,37	0,37	14,67	31,67	0,00	5,06	7,64	4,89	9,37	11,23	4,11
Mauá da Serra - IDR	2,21	2,16	1,71	2,06	1,71	0,28	61,04	7,69	0,00	8,05	9,68	7,06	10,53	7,63	8,07
Morretes - IDR	3,03	2,21	0,95	1,23	1,94	0,00	56,99	8,70	0,00	5,16	6,40	5,27	8,01	4,77	5,31
Morretes - AT (*)	3,07	1,70	0,99	1,38	1,90	0,00	50,27	10,45	0,00	8,11	7,78	7,85	11,35	7,39	5,94
Nova Cantu - IDR	2,25	1,99	1,54	1,46	1,22	1,09	39,23	24,17	0,82	5,42	9,19	4,83	7,13	11,85	3,51
Palotina - IDR	1,22	1,58	1,79	3,59	3,15	3,05	16,21	66,90	0,00	5,25	7,56	6,23	9,74	7,05	3,86
Palotina - AT	2,49	2,42	1,82	2,42	1,44	0,33	22,36	58,77	0,00	6,39	15,68	7,68	14,20	17,45	6,66
Paranapoema - AT (*)	1,55	1,76	1,64	2,10	2,41	0,00	10,03	51,99	0,00	8,24	14,25	6,67	15,26	22,62	3,74
Pato Branco - IDR	0,90	1,38	0,99	1,32	0,94	1,08	11,86	12,57	1,29	4,56	7,78	4,56	8,47	9,88	4,33
Pinhais - IDR	1,44	1,13	1,36	1,90	1,86	2,41	24,65	4,82	0,00	4,81	6,25	6,05	6,89	5,28	4,52

Estações	RMSE														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Planalto - IDR	1,06	1,48	1,17	1,14	0,83	0,67	15,95	16,27	0,80	4,77	7,58	5,06	7,51	11,56	4,29
Planalto - AT (*)	1,40	1,92	1,40	1,28	1,49	0,47	14,41	22,40	0,00	9,40	12,07	6,80	12,82	20,38	4,33
Ponta Grossa - IDR	1,10	1,28	0,87	1,61	0,83	1,40	17,45	3,48	0,00	4,55	6,36	4,91	7,43	7,09	3,99
Quedas do Iguaçu - IDR	1,44	1,80	1,16	1,25	1,28	1,46	22,83	14,00	1,04	5,59	7,04	5,08	8,42	9,21	4,88
São Miguel do Iguaçu - IDR	1,32	1,40	1,06	1,56	1,71	1,54	15,96	29,56	0,00	5,71	7,79	4,44	5,72	6,14	5,20
Usina Santa Terezinha - AT	1,13	1,54	1,19	1,38	1,40	0,00	7,47	52,82	0,00	7,21	10,60	8,46	9,09	11,80	6,44

APÊNDICE F

Distância entre os índices de simulação e observação (DISO) para os índices de extremos climáticos entre as estações meteorológicas e o conjunto de dados do programa de reanálise ERA5. As estações com marcação (*) são estações meteorológicas automáticas.

Estações	DISO														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Antonina - IDR	0,26	0,30	0,13	0,21	0,42	NA	0,90	0,79	0,00	0,71	0,76	0,81	1,04	2,02	3,54
Apucarana - IDR	0,06	0,10	0,25	0,15	0,23	5,48	0,16	0,28	0,00	0,66	0,90	0,65	1,12	1,78	4,16
Bandeirantes - IDR	0,09	0,13	0,14	0,28	0,31	NA	0,11	1,07	0,00	0,76	1,06	0,72	1,46	3,25	2,29
Bela Vista do Paraíso - IDR	0,05	0,11	0,13	0,21	0,17	NA	0,11	0,92	0,00	0,68	0,93	0,60	1,29	2,88	2,20
Cambará - IDR	0,11	0,12	0,15	0,38	0,36	NA	0,17	1,08	0,00	0,69	0,88	0,75	1,28	1,49	3,25
Campo Tenente - AT	0,42	0,24	0,52	0,35	0,52	3,02	0,92	1,90	1,17	1,16	2,22	1,28	2,33	2,96	4,10
Cândido de Abreu - IDR	0,12	0,14	0,12	0,25	0,14	3,97	0,34	1,40	0,00	0,64	0,87	0,75	0,84	8,93	NA
Cascavel - IDR	0,07	0,10	0,16	0,18	0,18	4,44	0,06	1,97	0,00	0,67	0,90	0,65	0,82	1,76	5,33
Cascavel - Coodetec - IDR	0,08	0,12	0,14	0,15	0,20	0,95	0,08	1,07	0,62	0,70	0,77	0,72	0,91	4,13	NA
Cerro Azul - IDR	0,20	0,28	0,15	0,25	0,38	2,53	0,65	1,36	0,00	0,72	0,86	0,80	1,08	2,50	3,51

Estações	DISO														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Cianorte - IDR	0,07	0,11	0,12	0,11	0,14	NA	0,12	0,28	0,00	0,66	0,79	0,60	1,07	2,05	4,85
Clevelândia - IDR	0,07	0,11	0,15	0,27	0,18	0,66	0,20	3,48	0,10	0,60	1,08	0,54	0,84	2,08	4,06
Clevelândia - AT (*)	0,08	0,13	0,22	0,29	0,25	0,27	0,23	3,07	0,06	0,62	1,16	0,79	1,09	16,05	5,01
Dois Vizinhos - AT	0,08	0,14	0,22	0,19	0,29	0,67	0,24	0,64	1,33	1,08	1,19	0,77	1,12	10,31	3,32
Fernandes Pinheiro - IDR	0,10	0,11	0,13	0,28	0,27	0,68	0,23	5,64	0,00	0,65	1,07	0,60	1,13	2,64	2,49
Foz do Iguaçu - AT (*)	0,07	0,10	0,30	0,43	0,38	NA	0,14	0,99	0,00	0,73	1,20	0,90	1,41	3,74	0,29
Francisco Beltrão - IDR	0,11	0,13	0,13	0,28	0,30	0,78	0,38	0,71	0,88	0,67	1,18	0,61	1,11	4,05	3,21
General Carneiro - AT (*)	0,18	0,23	0,12	0,93	0,47	1,21	1,47	1,63	0,06	0,75	1,21	1,07	1,06	10,14	1,60
Guaíra - AT	0,28	0,24	0,28	0,44	0,56	NA	0,63	1,04	0,00	1,08	2,38	1,15	2,29	2,66	3,60
Guarapuava – Cedeteg - IDR	0,10	0,15	0,12	0,32	0,20	0,61	0,47	1,53	1,00	0,67	1,34	0,81	1,10	6,14	3,87
Guarapuava – Col Agrícola - IDR	0,14	0,16	0,14	0,34	0,27	0,65	0,72	2,90	0,48	0,64	0,96	0,71	0,93	2,51	4,53
Ibaiti - AT (*)	0,09	0,13	0,26	0,19	0,41	NA	0,25	1,50	0,00	1,05	2,04	1,30	1,67	10,80	12,71
Ibiporã - IDR	0,06	0,11	0,09	0,11	0,11	NA	0,12	0,42	0,00	0,71	0,93	0,64	1,18	2,02	2,02

Estações	DISO														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Icaraima - AT (*)	0,13	0,11	0,24	0,18	0,34	NA	0,28	0,61	0,00	0,72	1,33	0,79	1,58	11,55	3,01
Ivaí - AT (*)	0,11	0,14	0,10	0,20	0,21	1,74	0,41	0,67	0,00	0,86	1,41	0,75	1,15	8,21	1,36
Laranjeiras do Sul - IDR	0,07	0,12	0,28	0,22	0,17	0,92	0,14	0,76	0,00	0,70	1,03	0,63	1,08	2,18	2,96
Londrina - IDR	0,06	0,11	0,10	0,16	0,21	4,26	0,14	0,91	0,00	0,65	0,99	0,60	1,25	2,56	1,44
Mauá da Serra - IDR	0,16	0,19	0,34	0,28	0,43	0,65	0,76	0,79	0,00	0,90	1,09	0,80	1,26	2,14	21,51
Morretes - IDR	0,17	0,18	0,09	0,13	0,43	NA	0,57	0,14	0,00	0,68	0,84	0,65	1,07	3,15	7,88
Morretes - AT (*)	0,17	0,15	0,09	0,14	0,40	NA	0,50	0,20	0,00	1,05	0,94	0,93	1,39	7,43	NA
Nova Cantu - IDR	0,13	0,15	0,18	0,20	0,21	2,47	0,39	0,68	0,47	0,70	1,14	0,59	0,94	2,47	3,67
Palotina - IDR	0,07	0,11	0,19	0,67	0,43	2,07	0,15	1,36	0,00	0,66	0,95	0,76	1,23	1,53	3,06
Palotina - AT	0,29	0,18	0,30	0,30	0,41	NA	0,71	1,11	0,00	0,91	2,20	1,08	2,19	3,41	2,89
Paranapoema - AT (*)	0,10	0,12	0,20	0,26	0,35	NA	0,09	0,65	0,00	1,03	1,81	0,80	1,93	9,23	4,06
Pato Branco - IDR	0,06	0,11	0,13	0,23	0,18	0,85	0,16	1,43	0,56	0,59	1,01	0,56	1,09	2,32	3,01

Estações	DISO														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Pinhais - IDR	0,10	0,11	0,15	0,39	0,33	1,38	0,37	10,24	0,00	0,60	0,77	0,73	0,88	2,91	6,35
Planalto - IDR	0,06	0,11	0,15	0,15	0,16	1,60	0,14	0,40	0,47	0,60	0,95	0,62	0,97	2,77	6,12
Planalto - AT (*)	0,10	0,14	0,18	0,18	0,32	1,29	0,09	0,53	0,00	1,06	1,26	0,80	1,53	13,43	NA
Ponta Grossa - IDR	0,08	0,11	0,11	0,31	0,17	0,87	0,22	1,18	0,00	0,57	0,78	0,60	0,95	2,48	9,72
Quedas do Iguaçu - IDR	0,09	0,14	0,17	0,17	0,20	5,87	0,17	0,55	0,54	0,70	0,87	0,60	1,08	2,75	7,72
São Miguel do Iguaçu - IDR	0,07	0,10	0,13	0,23	0,27	NA	0,12	0,62	0,00	0,70	0,86	0,50	0,69	1,61	7,46
Usina Santa Terezinha - AT	0,08	0,11	0,11	0,16	0,24	NA	0,07	0,78	0,00	0,84	1,18	0,91	0,97	4,11	4,49

APÊNDICE G

Coeficientes de correlação (CC) para os índices de extremos climáticos entre as estações meteorológicas e o conjunto de dados do programa de reanálise JRA-55. As estações com marcação (*) são estações meteorológicas automáticas.

Estações	CC														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Antonina - IDR	0,74	0,92	0,74	0,94	0,36	NA	0,15	0,43	1,00	0,60	0,66	0,73	0,49	0,15	0,47
Apucarana - IDR	0,91	0,89	0,78	0,96	0,72	NA	0,71	0,66	1,00	0,63	0,73	0,81	0,71	0,41	0,59
Bandeirantes - IDR	0,84	0,84	0,76	0,94	0,60	NA	0,50	0,81	1,00	0,57	0,65	0,76	0,58	0,24	0,50
Bela Vista do Paraíso - IDR	0,81	0,88	0,81	0,96	0,83	NA	0,77	0,87	1,00	0,59	0,71	0,84	0,68	0,31	0,30
Cambará - IDR	0,91	0,87	0,71	0,93	0,35	NA	0,69	0,74	1,00	0,66	0,70	0,78	0,46	0,50	0,60
Campo Tenente - AT	0,60	0,84	0,53	0,88	0,31	0,25	0,19	0,22	1,00	0,53	0,35	0,43	0,29	0,47	0,17
Cândido de Abreu - IDR	0,94	0,86	0,80	0,94	0,48	NA	0,66	0,70	1,00	0,50	0,67	0,76	0,57	0,67	NA
Cascavel - IDR	0,94	0,92	0,80	0,96	0,58	NA	0,74	0,39	1,00	0,62	0,65	0,77	0,64	0,22	0,89
Cascavel - Coodetec - IDR	0,90	0,94	0,81	0,96	0,59	NA	0,92	0,24	1,00	0,57	0,65	0,79	0,59	-0,23	NA
Cerro Azul - IDR	0,91	0,90	0,78	0,92	0,48	0,11	0,21	0,54	1,00	0,57	0,61	0,72	0,62	0,56	0,25
Cianorte - IDR	0,92	0,90	0,82	0,96	0,51	NA	0,57	0,66	1,00	0,64	0,75	0,79	0,69	0,48	0,54

Estações	CC														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Clevelândia - IDR	0,93	0,95	0,83	0,97	0,55	0,52	0,59	0,51	0,48	0,66	0,66	0,84	0,69	0,18	0,36
Clevelândia - AT (*)	0,93	0,96	0,76	0,97	0,69	0,56	0,69	0,05	0,75	0,67	0,71	0,77	0,63	0,47	1,00
Dois Vizinhos - AT	0,91	0,91	0,73	0,97	0,49	NA	0,59	0,66	0,00	0,50	0,77	0,80	0,60	0,51	-0,08
Fernandes Pinheiro - IDR	0,92	0,90	0,83	0,95	0,39	0,33	0,63	0,74	1,00	0,61	0,77	0,81	0,64	0,47	0,43
Foz do Iguaçu - AT (*)	0,90	0,95	0,69	0,95	0,63	NA	0,83	0,53	1,00	0,75	0,77	0,63	0,44	0,29	NA
Francisco Beltrão - IDR	0,93	0,93	0,81	0,95	0,43	0,49	0,66	0,56	0,28	0,68	0,68	0,74	0,55	0,52	-0,04
General Carneiro - AT (*)	0,92	0,91	0,81	0,90	0,30	0,18	-0,18	0,56	1,00	0,56	0,76	0,60	0,63	0,73	0,73
Guáira - AT	0,73	0,87	0,68	0,89	0,44	NA	0,29	0,53	1,00	0,59	0,49	0,57	0,40	0,32	-0,09
Guarapuava – Cedeteg - IDR	0,94	0,94	0,82	0,94	0,31	0,34	0,78	0,60	1,00	0,69	0,80	0,65	0,64	0,42	-0,13
Guarapuava – Col Agrícola - IDR	0,92	0,91	0,80	0,93	0,26	0,50	0,68	0,67	0,45	0,61	0,77	0,71	0,60	0,49	-0,04
Ibaiti - AT (*)	0,89	0,86	0,80	0,96	0,64	NA	0,51	0,79	1,00	0,43	0,63	0,57	0,74	0,24	-0,17
Ibiporã - IDR	0,91	0,87	0,81	0,95	0,54	NA	0,60	0,76	1,00	0,64	0,74	0,81	0,63	0,40	0,57
Icaraima - AT (*)	0,87	0,90	0,74	0,96	0,53	NA	0,78	0,48	1,00	0,65	0,70	0,68	0,39	-0,03	NA

Estações	CC														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Ivaí - AT (*)	0,92	0,90	0,88	0,97	0,66	0,07	0,38	0,55	-0,16	0,54	0,66	0,82	0,69	0,38	0,47
Laranjeiras do Sul - IDR	0,92	0,92	0,72	0,96	0,46	0,51	0,71	0,48	0,46	0,65	0,70	0,84	0,65	0,42	0,57
Londrina - IDR	0,91	0,87	0,78	0,96	0,50	NA	0,75	0,73	1,00	0,63	0,79	0,83	0,54	0,63	0,69
Mauá da Serra - IDR	0,87	0,84	0,71	0,92	0,69	NA	0,89	0,90	1,00	0,53	0,62	0,83	0,61	0,43	-0,18
Morretes - IDR	0,78	0,93	0,79	0,94	0,44	NA	0,43	0,72	1,00	0,66	0,69	0,77	0,61	0,15	0,25
Morretes - AT (*)	0,84	0,93	0,79	0,94	0,44	NA	0,50	0,77	1,00	0,55	0,67	0,67	0,55	0,67	NA
Nova Cantu - IDR	0,87	0,91	0,75	0,95	0,41	NA	0,38	0,78	1,00	0,60	0,62	0,79	0,67	0,32	0,47
Palotina - IDR	0,91	0,93	0,76	0,94	0,34	NA	0,66	0,48	1,00	0,65	0,67	0,67	0,43	0,46	0,46
Palotina - AT	0,73	0,90	0,66	0,90	0,43	NA	0,37	0,43	1,00	0,63	0,48	0,57	0,41	0,32	-0,11
Paranapoema - AT (*)	0,92	0,87	0,72	0,95	0,53	NA	0,87	0,54	1,00	0,51	0,71	0,65	0,31	0,52	0,91
Pato Branco - IDR	0,94	0,94	0,84	0,95	0,55	0,39	0,67	0,54	0,21	0,70	0,69	0,82	0,66	0,44	0,13
Pinhais - IDR	0,89	0,94	0,80	0,92	0,23	NA	0,82	0,06	0,42	0,72	0,59	0,69	0,64	0,19	-0,03

Estações	CC														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Planalto - IDR	0,92	0,93	0,79	0,97	0,60	NA	0,77	0,60	1,00	0,68	0,68	0,80	0,69	0,46	0,04
Planalto - AT (*)	0,89	0,93	0,73	0,97	0,62	NA	0,91	0,51	1,00	0,68	0,69	0,72	0,54	0,45	NA
Ponta Grossa - IDR	0,92	0,92	0,81	0,93	0,45	0,42	0,64	0,44	1,00	0,68	0,78	0,82	0,65	0,66	0,66
Quedas do Iguaçu - IDR	0,93	0,92	0,76	0,95	0,46	NA	0,74	0,38	1,00	0,65	0,68	0,75	0,52	0,50	0,70
São Miguel do Iguaçu - IDR	0,92	0,94	0,80	0,96	0,60	NA	0,88	0,36	1,00	0,68	0,66	0,80	0,66	0,32	0,72
Usina Santa Terezinha - AT	0,93	0,89	0,77	0,97	0,68	NA	0,72	0,66	1,00	0,53	0,75	0,61	0,65	0,71	0,58

APÊNDICE H

Viés Relativo (RB) para os índices de extremos climáticos entre as estações meteorológicas e o conjunto de dados do programa de reanálise JRA-55. As estações com marcação (*) são estações meteorológicas automáticas.

Estações	RB														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Antonina - IDR	-14,63	-20,08	-0,76	-4,03	-33,64	NA	-47,83	-56,13	0,00	2,58	-4,64	4,52	-3,32	-9,52	20,00
Apucarana - IDR	0,45	8,96	8,91	26,73	-18,80	-100,00	6,03	224,84	0,00	-0,98	-0,55	-2,36	-2,68	-10,43	52,17
Bandeirantes - IDR	-11,67	-9,81	5,55	1,83	-35,14	-100,00	-30,18	20,98	0,00	4,99	-4,19	1,51	5,51	32,35	1,02
Bela Vista do Paraíso - IDR	-2,29	2,34	6,96	13,61	-21,53	-100,00	-2,93	94,44	0,00	5,09	0,34	2,00	3,45	43,35	15,12
Cambará - IDR	-9,31	-5,53	11,97	19,68	-35,15	-100,00	-18,93	65,86	0,00	1,78	-6,28	1,19	1,84	4,09	13,33
Campo Tenente - AT	-7,53	-14,24	1,89	16,07	-34,15	-92,31	-41,72	10,49	0,00	10,26	7,01	-1,89	14,04	-75,80	-41,94
Cândido de Abreu - IDR	-8,07	-1,49	9,05	16,98	-26,70	-100,00	-19,99	83,01	0,00	-8,29	-16,13	-5,48	-5,55	450,00	NA
Cascavel - IDR	-2,10	8,91	15,41	38,97	-28,97	-100,00	1,39	463,74	0,00	-6,34	-15,33	-11,45	-12,82	36,62	75,00
Cascavel - Coodetec - IDR	-2,86	3,79	12,50	31,61	-28,10	-100,00	-2,88	273,45	0,00	-8,48	-26,75	-15,43	-9,72	18,52	NA
Cerro Azul - IDR	-18,18	-23,09	-2,08	3,96	-41,56	-81,82	-57,60	-77,00	0,00	0,67	-7,83	2,73	-0,13	-44,74	96,00
Cianorte - IDR	-5,55	1,99	8,78	18,06	-28,97	NA	-11,80	69,17	0,00	0,22	-2,00	-0,93	-4,47	24,27	113,51

Estações	RB														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Clevelândia - IDR	-2,65	3,92	14,76	42,29	-26,02	-88,98	-1,84	3150,0	0,12	5,12	4,96	3,42	3,74	28,89	27,03
Clevelândia - AT (*)	-3,51	0,62	13,92	47,08	-29,72	-81,82	-7,19	946,15	0,10	-6,92	5,98	-26,52	10,50	550,00	0,00
Dois Vizinhos - AT	-7,46	-2,90	9,92	33,33	-35,14	-100,00	-16,30	185,84	0,08	-1,29	4,27	-16,07	9,31	227,59	28,57
Fernandes Pinheiro - IDR	-7,54	-1,53	11,07	30,33	-29,50	-90,48	-24,90	762,96	0,00	3,93	1,87	-2,29	9,77	1,30	-44,30
Foz do Iguaçu - AT (*)	-5,21	-1,35	13,57	44,86	-38,90	-100,00	-4,62	111,51	0,00	-11,77	9,67	-16,90	6,94	90,57	-100,00
Francisco Beltrão - IDR	-9,17	-4,12	12,89	42,71	-39,63	-93,33	-20,73	273,71	0,06	5,70	9,78	0,25	14,68	97,14	-14,29
General Carneiro - AT (*)	-13,18	-12,17	9,24	92,10	-42,70	-90,29	-51,67	437,50	0,05	-11,74	2,40	-27,01	14,97	406,67	-46,15
Guaira - AT	-7,52	-9,27	8,30	18,65	-37,10	-100,00	-13,70	72,82	0,00	14,90	29,05	9,24	39,65	16,26	-83,33
Guarapuava - Cedeteg - IDR	-4,64	-1,56	11,41	46,93	-28,06	-94,44	-13,26	1545,0	0,00	0,78	5,14	-18,42	21,00	108,93	-68,42
Guarapuava - Col Agrícola - IDR	-5,33	2,58	13,04	52,85	-29,08	-93,91	-12,58	4770,0	0,06	0,91	1,94	1,27	3,32	34,69	110,53
Ibaiti - AT (*)	-11,89	-9,92	0,46	1,40	-31,65	-100,00	-38,74	13,55	0,00	-0,33	-23,12	-20,56	1,97	3,13	133,33
Ibiporã - IDR	-7,20	-3,54	6,92	5,05	-25,73	-100,00	-17,76	29,58	0,00	2,48	-3,54	2,90	1,34	-2,73	-1,04
Icaraima - AT (*)	-4,51	-1,56	9,18	21,85	-33,33	NA	-7,93	48,39	0,00	-0,23	-3,54	-11,19	0,57	141,38	-100,00

Estações	RB														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Ivaí - AT (*)	-12,72	-11,79	3,60	15,63	-35,51	-76,47	-49,16	52,29	0,10	3,22	-19,29	-14,30	3,42	44,00	-60,00
Laranjeiras do Sul - IDR	-4,94	2,95	6,67	33,49	-29,29	-88,37	-12,13	372,64	0,05	2,38	4,79	2,04	1,57	28,07	27,50
Londrina - IDR	-5,87	-0,57	12,11	16,95	-29,53	-100,00	-13,03	119,06	0,00	3,48	0,06	-1,79	5,78	9,49	-29,22
Mauá da Serra - IDR	4,93	13,70	10,46	25,98	-5,19	-100,00	43,51	436,70	0,00	-1,77	-19,57	0,20	-16,59	49,12	433,33
Morretes - IDR	-12,83	-20,13	-0,35	-5,99	-35,82	NA	-49,57	-42,28	0,00	2,39	2,56	-1,93	5,35	-46,67	203,23
Morretes - AT (*)	-13,10	-17,31	-0,30	-3,29	-35,04	NA	-47,13	-38,05	0,00	-20,26	4,79	-26,38	11,53	-7,69	NA
Nova Cantu - IDR	-11,22	-4,56	4,07	25,56	-35,50	-100,00	-24,58	78,82	0,00	2,62	-0,26	1,63	5,67	-11,06	69,23
Palotina - IDR	-8,32	-3,58	14,64	57,89	-45,70	-100,00	-14,48	126,11	0,00	-1,13	-0,57	-1,44	1,60	-4,59	7,27
Palotina - AT	-6,12	-6,25	10,02	26,82	-36,24	-100,00	-9,12	104,69	0,00	16,31	21,54	10,46	36,87	7,52	-87,76
Paranapoema - AT (*)	-8,43	-6,61	9,97	19,79	-38,46	NA	-10,93	59,19	0,00	-6,69	-1,63	-15,75	-2,20	75,68	66,67
Pato Branco - IDR	-5,26	-0,72	13,00	35,74	-32,47	-91,53	-12,58	503,35	-0,01	5,57	6,90	3,48	8,22	36,10	-3,23
Pinhais - IDR	1,58	4,57	22,73	71,60	-41,76	-100,00	-9,01	8073,3	0,07	0,37	-3,94	0,43	-2,05	-56,25	188,89

Estações	RB														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Planalto - IDR	-5,47	0,26	11,08	29,54	-33,17	-100,00	-6,94	105,72	0,00	1,68	3,10	0,54	7,21	24,07	24,24
Planalto - AT (*)	-6,14	-2,62	10,04	31,71	-34,73	-100,00	-7,85	89,44	0,00	-10,99	1,74	-20,61	12,04	400,00	NA
Ponta Grossa - IDR	-7,03	-2,64	4,22	26,30	-22,75	-89,66	-26,32	106,73	0,00	-0,36	-4,46	4,80	-1,70	41,67	223,08
Quedas do Iguaçu - IDR	-8,95	-2,47	9,45	25,78	-35,87	-100,00	-19,80	145,08	0,00	-0,05	-6,21	-4,43	0,49	66,99	155,56
São Miguel do Iguaçu - IDR	-4,23	1,33	13,01	38,70	-37,37	-100,00	-5,05	97,48	0,00	2,99	-12,33	-6,41	-2,94	50,70	46,15
Usina Santa Terezinha - AT	-3,84	3,79	12,58	19,31	-32,26	NA	-2,81	79,80	0,00	-1,01	-21,86	-7,51	-21,83	12,12	46,15

APÊNDICE I

Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) para os índices de extremos climáticos entre as estações meteorológicas e o conjunto de dados do programa de reanálise JRA-55. As estações com marcação (*) são estações meteorológicas automáticas.

Estações	RMSE														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Antonina - IDR	5,41	4,13	1,67	1,72	3,51	0,00	103,89	45,53	0,00	6,98	6,98	7,32	9,07	4,66	4,44
Apucarana - IDR	1,16	2,60	2,33	3,24	1,96	0,43	19,97	116,05	0,00	7,26	8,43	5,63	7,52	8,16	3,51
Bandeirantes - IDR	4,25	3,01	1,88	1,78	4,44	0,38	92,10	21,45	0,00	7,95	9,88	6,86	9,00	10,52	4,28
Bela Vista do Paraíso - IDR	1,82	1,95	1,96	2,05	2,27	0,16	17,54	80,05	0,00	7,87	8,72	5,21	7,65	10,86	4,69
Cambará - IDR	3,37	2,26	2,96	2,93	4,70	0,70	58,11	53,05	0,00	6,93	8,94	6,49	10,03	8,23	3,78
Campo Tenente - AT	3,93	3,25	2,75	2,69	3,80	1,37	79,68	23,96	0,00	7,54	14,04	9,07	14,87	17,95	5,95
Cândido de Abreu - IDR	2,71	2,18	2,20	2,44	3,23	1,05	47,83	28,09	0,00	8,01	8,77	7,18	9,17	4,35	4,91
Cascavel - IDR	1,20	2,61	3,28	3,77	3,08	0,71	13,62	121,15	0,00	7,72	10,18	6,30	8,46	9,67	1,95
Cascavel - Coodetec - IDR	1,52	1,84	2,77	3,33	2,95	2,00	10,63	107,06	0,00	7,76	9,82	6,68	8,77	9,61	0,00
Cerro Azul - IDR	6,26	5,01	1,65	2,25	5,12	1,15	146,62	52,06	0,00	7,38	9,10	7,16	8,58	5,68	4,19
Cianorte - IDR	2,16	2,10	2,24	2,60	3,18	0,00	35,34	70,96	0,00	7,14	8,16	6,13	7,77	7,40	4,00

Estações	RMSE														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Clevelândia - IDR	1,29	1,83	2,82	3,08	2,96	3,40	13,53	32,18	1,96	6,30	8,76	5,08	7,66	9,03	3,09
Clevelândia - AT (*)	1,52	1,51	2,91	3,35	3,36	3,33	15,17	39,72	1,21	6,78	9,07	6,56	9,31	10,29	0,00
Dois Vizinhos - AT	2,68	2,08	2,69	3,34	4,17	1,14	44,18	80,94	1,11	9,91	7,84	6,19	10,19	8,69	3,16
Fernandes Pinheiro - IDR	2,56	1,88	2,30	2,78	3,56	2,42	45,97	15,36	0,00	6,98	7,36	5,52	8,83	6,28	3,92
Foz do Iguaçu - AT (*)	2,24	1,71	3,57	4,58	4,62	0,84	15,31	116,89	0,00	6,52	8,66	8,25	12,29	9,56	3,79
Francisco Beltrão - IDR	3,10	2,02	2,79	3,66	5,02	2,49	48,47	61,33	1,07	6,24	8,83	6,40	9,19	7,90	4,45
General Carneiro - AT (*)	4,17	2,83	2,06	4,36	5,87	12,70	94,05	4,81	0,43	7,26	7,73	10,54	9,30	8,22	1,90
Guaira - AT	3,55	3,22	2,62	3,34	4,32	0,33	47,07	90,70	0,00	8,03	13,62	8,40	12,46	12,27	6,16
Guarapuava – Cedeteg - IDR	1,74	1,65	2,38	3,79	3,35	4,19	22,18	22,16	0,00	6,00	6,98	7,54	8,86	7,28	3,24
Guarapuava – Col Agrícola - IDR	1,93	2,08	2,55	3,81	3,56	4,41	22,07	17,61	1,11	7,26	7,54	7,10	8,53	8,70	5,92
Ibaiti - AT (*)	4,05	2,75	1,33	1,26	3,76	1,26	95,50	12,35	0,00	8,38	10,83	11,84	8,18	6,04	3,66
Ibiporã - IDR	2,64	2,17	1,94	1,61	3,02	0,16	52,49	31,26	0,00	7,11	8,52	5,73	8,34	9,16	3,38
Icaraima - AT (*)	2,06	2,20	2,59	3,09	3,64	0,00	25,56	80,59	0,00	6,78	8,67	7,31	11,89	6,83	4,16

Estações	RMSE														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Ivaí - AT (*)	4,09	2,82	1,29	1,85	4,25	1,52	105,97	6,01	1,50	7,85	9,29	5,65	8,12	7,21	4,96
Laranjeiras do Sul - IDR	1,85	2,04	1,96	3,02	3,37	1,75	27,09	48,49	1,06	6,59	8,36	5,31	7,75	8,42	2,97
Londrina - IDR	2,21	2,00	2,80	2,40	3,58	0,37	37,14	70,94	0,00	7,13	7,50	5,44	9,35	6,76	3,70
Mauá da Serra - IDR	2,00	3,40	2,59	3,09	1,05	0,96	61,64	63,57	0,00	9,73	10,58	6,01	8,88	8,67	5,01
Morretes - IDR	4,76	4,20	1,51	1,85	3,33	0,00	108,95	45,02	0,00	6,52	6,52	6,31	8,54	3,99	4,78
Morretes - AT (*)	4,80	3,56	1,55	1,66	3,29	0,00	104,43	42,70	0,00	7,79	7,46	8,56	10,51	2,92	5,52
Nova Cantu - IDR	3,97	2,20	1,64	3,12	4,28	1,22	68,13	51,33	0,00	7,40	9,92	5,91	7,67	9,86	3,41
Palotina - IDR	3,09	2,01	3,42	5,43	6,06	3,11	42,94	112,69	0,00	6,82	9,17	7,52	10,38	8,14	3,37
Palotina - AT	3,22	2,57	2,93	3,75	4,19	0,33	32,47	109,86	0,00	7,35	13,71	8,31	12,45	13,01	6,54
Paranapoema - AT (*)	3,19	2,63	2,83	3,03	4,92	0,00	35,86	86,34	0,00	8,17	9,72	7,88	12,11	7,04	2,53
Pato Branco - IDR	1,89	1,78	2,71	3,21	3,70	1,96	28,54	68,56	1,05	5,99	8,67	5,37	8,33	8,44	4,42
Pinhais - IDR	1,36	1,43	4,12	5,38	4,32	3,34	14,60	56,08	1,28	5,87	8,69	7,51	7,49	4,82	5,81

Estações	RMSE														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Planalto - IDR	2,16	1,87	2,73	3,31	3,66	1,11	20,71	97,61	0,00	6,26	8,71	5,48	7,67	8,33	3,28
Planalto - AT (*)	2,53	2,04	2,78	3,46	3,99	0,82	22,91	93,68	0,00	8,72	10,24	7,41	10,60	12,29	0,00
Ponta Grossa - IDR	2,39	1,74	1,43	2,77	2,62	2,70	44,63	7,04	0,00	6,31	7,40	5,52	8,07	5,44	2,64
Quedas do Iguaçu - IDR	3,08	2,09	2,38	2,92	4,24	0,69	50,04	70,35	0,00	6,79	8,99	6,60	9,43	9,36	2,93
São Miguel do Iguaçu - IDR	1,85	1,90	3,17	4,02	4,26	1,54	15,35	105,68	0,00	6,77	10,33	5,94	7,99	9,54	1,89
Usina Santa Terezinha - AT	1,66	2,25	3,16	2,74	3,52	0,00	13,74	104,62	0,00	7,98	9,69	8,94	10,23	4,31	3,93

APÊNDICE J

Distância entre os índices de simulação e observação (DISO) para os índices de extremos climáticos entre as estações meteorológicas e o conjunto de dados do programa de reanálise JRA-55. As estações com marcação (*) são estações meteorológicas automáticas.

Estações	DISO														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Antonina - IDR	0,37	0,36	0,28	0,21	0,88	NA	1,19	1,14	0,00	0,93	0,90	0,89	1,22	2,89	3,22
Apucarana - IDR	0,10	0,22	0,28	0,48	0,44	NA	0,32	3,92	0,00	0,96	1,05	0,68	0,95	1,73	2,35
Bandeirantes - IDR	0,26	0,26	0,27	0,20	0,74	NA	0,73	0,44	0,00	1,07	1,23	0,85	1,22	2,62	2,13
Bela Vista do Paraíso - IDR	0,20	0,17	0,23	0,27	0,42	NA	0,25	1,65	0,00	1,06	1,11	0,65	1,02	2,61	2,62
Cambará - IDR	0,19	0,19	0,37	0,40	0,90	NA	0,46	1,18	0,00	0,91	1,09	0,80	1,35	1,64	2,04
Campo Tenente - AT	0,43	0,33	0,50	0,46	0,92	2,43	1,10	1,93	0,00	1,14	1,81	1,34	2,00	2,49	3,75
Cândido de Abreu - IDR	0,15	0,20	0,26	0,37	0,71	NA	0,49	1,51	0,00	1,02	1,00	0,81	1,12	9,65	NA
Cascavel - IDR	0,08	0,23	0,34	0,70	0,67	NA	0,28	8,07	0,00	0,95	1,15	0,72	1,01	2,46	2,51
Cascavel - Coodetec - IDR	0,12	0,14	0,29	0,57	0,64	NA	0,10	4,81	0,00	0,95	1,12	0,75	1,07	4,36	NA
Cerro Azul - IDR	0,33	0,42	0,25	0,31	0,90	2,78	1,28	1,43	0,00	0,98	1,13	0,90	1,14	1,90	4,37

Estações	DISO														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Cianorte - IDR	0,13	0,17	0,24	0,34	0,71	NA	0,48	1,25	0,00	0,94	1,01	0,75	0,98	2,20	3,52
Clevelândia - IDR	0,09	0,16	0,31	0,77	0,65	1,72	0,42	55,48	0,52	0,84	1,11	0,63	1,00	2,38	3,43
Clevelândia - AT (*)	0,10	0,12	0,36	0,85	0,61	1,60	0,34	16,84	0,25	0,82	0,99	0,79	1,07	10,71	0,00
Dois Vizinhos - AT	0,16	0,17	0,34	0,60	0,81	NA	0,51	3,25	1,00	1,16	0,90	0,72	1,21	5,28	6,40
Fernandes Pinheiro - IDR	0,16	0,17	0,27	0,58	0,81	1,92	0,58	13,64	0,00	0,94	0,91	0,69	1,15	1,55	2,48
Foz do Iguaçu - AT (*)	0,14	0,12	0,41	0,80	0,78	NA	0,20	2,00	0,00	0,77	0,97	0,96	1,38	2,48	NA
Francisco Beltrão - IDR	0,18	0,16	0,30	0,79	0,90	1,88	0,50	4,80	0,72	0,84	1,12	0,83	1,26	2,66	3,40
General Carneiro - AT (*)	0,25	0,27	0,26	1,72	1,03	1,97	1,49	8,64	0,00	0,95	0,88	1,20	1,12	7,95	1,62
Guaíra - AT	0,31	0,24	0,37	0,43	0,86	NA	0,75	1,36	0,00	1,17	1,89	1,20	1,95	2,29	3,57
Guarapuava – Cedeteg - IDR	0,11	0,14	0,28	0,89	0,86	1,89	0,32	27,46	0,00	0,78	0,84	0,95	1,15	2,80	3,16
Guarapuava – Col Agrícola - IDR	0,13	0,19	0,31	0,98	0,91	1,83	0,39	85,69	0,55	0,96	0,92	0,88	1,12	2,16	5,50
Ibaiti - AT (*)	0,24	0,25	0,22	0,16	0,67	NA	0,83	0,48	0,00	1,10	1,19	1,26	0,94	2,48	7,17
Ibiporã - IDR	0,16	0,19	0,24	0,18	0,65	NA	0,51	0,58	0,00	0,94	1,03	0,72	1,09	1,78	1,61

Estações	DISO														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Icaraima - AT (*)	0,16	0,17	0,31	0,40	0,75	NA	0,27	1,00	0,00	0,85	1,00	0,87	1,43	4,29	NA
Ivaí - AT (*)	0,24	0,25	0,16	0,34	0,71	2,12	1,06	1,33	1,16	1,02	1,11	0,68	0,99	2,87	1,98
Laranjeiras do Sul - IDR	0,12	0,17	0,32	0,61	0,75	1,87	0,37	6,55	0,54	0,88	1,05	0,65	1,00	1,97	2,62
Londrina - IDR	0,14	0,18	0,31	0,33	0,72	NA	0,34	2,09	0,00	0,95	0,92	0,67	1,25	1,35	1,26
Mauá da Serra - IDR	0,16	0,33	0,36	0,52	0,35	NA	0,76	7,58	0,00	1,15	1,23	0,67	1,07	2,40	13,34
Morretes - IDR	0,32	0,36	0,23	0,21	0,85	NA	1,03	0,79	0,00	0,86	0,85	0,79	1,16	2,56	7,14
Morretes - AT (*)	0,28	0,31	0,23	0,18	0,84	NA	0,96	0,71	0,00	1,00	0,87	0,99	1,26	2,48	NA
Nova Cantu - IDR	0,24	0,18	0,27	0,49	0,86	NA	0,76	1,39	0,00	0,98	1,24	0,74	1,03	1,97	3,64
Palotina - IDR	0,17	0,15	0,36	1,04	1,04	NA	0,42	2,25	0,00	0,90	1,13	0,95	1,38	1,71	2,56
Palotina - AT	0,30	0,19	0,40	0,54	0,86	NA	0,65	1,93	0,00	1,08	1,80	1,19	1,90	2,25	3,01
Paranapoema - AT (*)	0,17	0,21	0,34	0,38	0,83	NA	0,23	1,13	0,00	1,01	1,07	0,94	1,53	2,53	2,31
Pato Branco - IDR	0,12	0,14	0,28	0,66	0,73	1,91	0,40	8,79	0,79	0,80	1,09	0,69	1,07	1,99	3,17

Estações	DISO														
	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	FD	SU	TR	GSL	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	CSDI
Pinhais - IDR	0,13	0,14	0,45	1,28	1,07	NA	0,25	140,72	0,58	0,75	1,11	0,92	0,98	2,70	8,09
Planalto - IDR	0,13	0,14	0,29	0,54	0,71	NA	0,26	1,88	0,00	0,82	1,09	0,69	1,01	1,92	4,51
Planalto - AT (*)	0,16	0,15	0,34	0,57	0,73	NA	0,17	1,63	0,00	0,97	1,04	0,85	1,25	7,75	NA
Ponta Grossa - IDR	0,15	0,16	0,22	0,55	0,69	1,85	0,59	2,47	0,00	0,83	0,90	0,68	1,04	1,78	6,22
Quedas do Iguaçu - IDR	0,18	0,16	0,30	0,49	0,83	NA	0,43	2,60	0,00	0,88	1,12	0,81	1,24	2,57	4,36
São Miguel do Iguaçu - IDR	0,12	0,14	0,31	0,69	0,77	NA	0,15	1,81	0,00	0,85	1,15	0,68	0,99	2,41	2,19
Usina Santa Terezinha - AT	0,11	0,18	0,32	0,35	0,65	NA	0,28	1,43	0,00	0,96	1,02	0,98	1,09	1,17	2,60

