



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO - UFES
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS - CCHN
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

VAGNER TEIXEIRA DE SIQUEIRA FILHO

MUDANÇAS CLIMÁTICAS OBSERVADAS NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA (ES)
ENTRE 1961 A 2023

VITÓRIA - ES

2026

VAGNER TEIXEIRA DE SIQUEIRA FILHO

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS OBSERVADAS NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA (ES)
ENTRE 1961 A 2023**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Orientador: Professor Drº Wesley de Souza Campos Correa

VITÓRIA - ES

2026

VAGNER TEIXEIRA DE SIQUEIRA FILHO

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS OBSERVADAS NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA (ES)
ENTRE 1961 A 2023**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Orientador: Professor Drº. Wesley de Souza Campos Correa

COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



WESLEY DE SOUZA CAMPOS CORREA

Data: 30/01/2026 14:27:57-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Drº. Wesley de Souza Campos Correa
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Documento assinado digitalmente



MARIA ELISA SIQUEIRA SILVA

Data: 29/01/2026 17:21:22-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Drª. Maria Elisa Siqueira Silva
Universidade de São Paulo - SP

Documento assinado digitalmente



PEDRO HENRIQUE BONFIM PANTOJA

Data: 30/01/2026 08:13:35-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Meteorologista Me. Pedro Henrique Pantoja
Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência
Técnica e Extensão Rural - Vitória

AGRADECIMENTOS

Ao ler alguns outros TCCs, tinha em mente que escrever essa parte seria fácil, e consequentemente seria uma das primeiras partes a ser redigida, mas me enganei, assim como em achar que seria fácil. Essa parte do trabalho acabou sendo uma das últimas a ser confeccionadas nesta monografia.

De maneira inversa à qual começam majoritariamente os agradecimentos: não sou o primeiro da família a me formar numa universidade, mas posso dizer que sou o primeiro da família a completar a graduação morando sozinho, em uma cidade e estado diferentes da qual fui criado e cresci, me distanciando dos meus pais, irmã, tios, tias, avó, laços familiares e de amizades que me moldaram como pessoa até os meus 18 anos, quando saí de Cabo Frio – RJ em 2022 para chegar à Vitória e cursar minha graduação em Geografia na Universidade Federal do Espírito Santo.

Tive que lidar com todas as responsabilidades que a vida adulta te exige para sobreviver em meio à rotina desgastante da contemporaneidade. Se abdicando de horas de sono, momentos de lazer, para correr atrás de subsistência, trabalhando parte desse momento acadêmico como CLT, numa jornada de 6/1 que se iniciava às 22:00h e percorria toda madrugada até às 07:00h, com tarefas extremamente cansativas e exaustivas, concomitantemente com as exigências da universidade, e tentando alinhar sobreviver a isso tudo em meio ao caos de um jovem recém-chegado.

Mas nesse texto não pode refletir apenas dores e sofrimentos, tendo as dificuldades como holofote. Para chegar até aqui, onde considero apenas o começo da minha caminhada, muitos me ajudaram e precisam ter seus nomes citados.

Em especial, gostaria de agradecer primeiramente a Deus, sem ele não seria possível estar aqui. Em seguida, minha mãe, Priscila da Silva Neves Siqueira, e meu pai, Vagner Teixeira de Siqueira. Minha avó, Luzia Maria da Silva Neves, que cumpriu frequentemente a função de pai e mãe na minha vida. Além das outras pessoas extremamente importantes na minha vida: Licia Neves Siqueira (minha querida irmã e amiga), Washington Luiz, Rosana da Silva Neves e Layla Franco Suhett Marconcini, minha companheira de vida para todas as horas, desafios, lutas, momentos de tristeza e de alegria.

Em seguida, meu muito obrigado aos meus primos e primas, amigos e amigas, pessoas que dividiram grande parte de suas vidas comigo, através de ensinamentos, momentos de acolhimento, parceria, sofrimentos e anseios. Alguns nomes precisam ser ditos como

forma de eternizar minha gratidão: Andressa Lemos Fernandes, chefe e amiga para além do trabalho – você me ensinou muito. Wesley, orientador e parceria para além do círculo acadêmico. Paulo de Tarso e Gustavo Farias, uma amizade de mais de 10 anos e que irá se perpetuar por muito mais tempo. Agradeço também ao time de futsal universitário da geografia, Trepida - FC, e a todos os amigos desse grupo que me acolheram quando cheguei aqui sem nenhuma amizade e rede de apoio. Para aqueles que não tiveram seus nomes tecidos aqui, mas, sabem que lutaram comigo, sintam-se inclusos nesta seleta lista.

Obrigado a todos que, durante toda a minha trajetória, sempre me apoiaram, me ajudaram, me motivaram a tentar ser uma pessoa melhor individualmente e coletivamente. Nenhum caminho se trilha sozinho, e o meu é cercado de muita gente que foi luz durante o percurso, alguns ficaram e outros seguem comigo, mas todos plantaram sementes que continuarei regando. Sei que não irei parar por aqui.

"Quando criança eu sonhava em crescer e ter todo melhor dessa vida. Hoje sou um homem crescido, e a criança em mim ainda é viva."

(Abebe Bikila)

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é identificar as possíveis mudanças climáticas no município de Vitória (ES) a partir da análise da temperatura do ar, da precipitação e dos Índices Climáticos Extremos, durante o período de 1961 a 2023, por meio dos testes estatísticos de Mann-Kendall. Para tal, foram utilizadas séries diárias de precipitação e temperatura do ar, com mais de 60 anos de dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). De modo geral, a precipitação apresentou aumento em escalas mensal, sazonal e anual, resultando na intensificação dos eventos extremos pluviométricos, bem como no aumento das temperaturas, quando comparadas às normais climatológicas de 1991-2023 em relação ao período de 1961-1990. Os resultados ora encontrados indicam que a temperatura máxima média apresentou um aumento de aproximadamente 1,0 °C, enquanto a temperatura mínima média elevou em 1,3 °C ao longo de 63 anos. A precipitação total anual apresentou um aumento significativo de aproximadamente 445 mm em 61 anos, assim como os demais índices extremos de precipitação (RX1day e RX5day), indicando que a capital capixaba tem ficado mais úmida, em função também da maior ocorrência de precipitação de curto prazo. Para os extremos de temperatura (TNx, TXn, TN10p, TN90p, TX10p e TX90p), observa-se, em sua maioria, uma tendência significativa de aumento dos dias quentes (4,45%) e das noites quentes (18%), enquanto houve redução na frequência dos dias frios (4,31%) e das noites frias (6,27%), indicando um clima mais quente em Vitória (ES) ao longo da série histórica. Por outro lado, os índices de número de dias sem precipitação (CDD), TNn, TXx, WDSI3 e WDSI6 não apresentaram mudanças estatisticamente significativas; contudo, ainda se observa um aumento substancial no número desses eventos ao longo da série histórica.

Palavras-chave: Climatologia; chuva; onda de calor; eventos extremos.

ABSTRACT

This study aims to identify potential climate changes in the city of Vitória, Espírito Santo State, Brazil, through the analysis of air temperature, precipitation, and climate extreme indices over the period from 1961 to 2023. Daily precipitation and air temperature datasets spanning more than 60 years were obtained from the Brazilian National Institute of Meteorology (INMET). Trend detection was performed using the non-parametric Mann–Kendall test to assess the statistical significance of increasing or decreasing trends, while Sen's Slope estimator was applied to quantify the magnitude of linear trends. The results indicate a general increase in precipitation at monthly, seasonal, and annual scales, leading to an intensification of extreme rainfall events, alongside a consistent rise in air temperature when comparing the climatological normals of 1991–2023 with those of 1961–1990. Over the 63-year period, mean maximum air temperature increased by approximately 1.0 °C, while mean minimum temperature rose by about 1.3 °C. Annual total precipitation exhibited a statistically significant increase of approximately 445 mm over 61 years, accompanied by increases in extreme precipitation indices (RX1day and RX5day), suggesting a trend toward wetter conditions in the capital city, particularly due to more frequent short-duration rainfall events. Regarding temperature extremes (TNx, TXn, TN10p, TN90p, TX10p, and TX90p), most indices revealed significant trends toward an increase in warm days (4.45%) and warm nights (18%), along with a reduction in the frequency of cold days (4.31%) and cold nights (6.27%), indicating a progressively warmer climate in Vitória. Conversely, the indices related to consecutive dry days (CDD), TNn, TXx, WDSI3, and WSDI6 did not present statistically significant trends; however, a noticeable increase in the occurrence of these events was still observed throughout the historical series. Overall, the findings provide robust evidence of warming and increasing precipitation extremes in Vitória, reinforcing the relevance of long-term climate monitoring and adaptation planning at the municipal scale.

Keywords: Climatology; rain; heat waves; extreme events.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área em estudo.	20
Figura 2: Precipitação Total Anual (mm) no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.	42
Figura 3: Anomalia Anual de Precipitação (mm) no município de Vitória (ES) em comparação com a normal 1961-1990.....	43
Figura 4: Precipitação Total Anual no município de Vitória (ES) para as normais climatológicas de 1961-1990 e 1991-2023.....	45
Figura 5: Precipitação Total Anual no município de Vitória (ES) para as normais climatológicas de 1961-1990 e 1991-2023 divididas em estações do ano.....	45
Figura 6: Temperatura Máxima Média Anual no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.	47
Figura 7: Anomalia Anual de Temperatura Máxima (° C) no município de Vitória (ES) em comparação com a normal 1961-1990.....	48
Figura 8: Temperatura Máxima Média no município de Vitória (ES) para as normais climatológicas de 1961-1990 e 1991-2023.	49
Figura 9: Temperatura Máxima Média no município de Vitória (ES) para as normais climatológicas de 1961-1990 e 1991-2023 divididas em estações do ano.	50
Figura 10: Temperatura Mínima Total Anual no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.	51
Figura 11: Anomalia Anual de Temperatura Mínima (° C) no município de Vitória (ES) em comparação com a normal 1961-1990.....	52
Figura 12: Temperatura Mínima Mensal no município de Vitória (ES) para as normais climatológicas de 1961-1990 e 1991-2023.	54
Figura 13: Temperatura Mínima Média no município de Vitória (ES) para as normais climatológicas de 1961-1990 e 1991-2023 divididas em estações do ano.	55
Figura 14: Precipitação Máxima Total em um dia – Rx1day no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.	57
Figura 15: Precipitação Máxima Total acumulada em cinco dias – Rx5day no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.....	58

Figura 16: Número Máximo de Dias Consecutivos Secos (CDD) no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.	60
Figura 17: Menor Temperatura Mínima Anual (TNn) no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.	62
Figura 18: Maior Temperatura Mínima Anual (TNx) no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.	63
Figura 19: Menor Temperatura Máxima Anual (TXn) no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.	64
Figura 20: Maior Temperatura Máxima Anual no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.	66
Figura 21: Frequência de noites frias durante o ano (TN10p) no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.	67
Figura 22: Frequência de noites quentes (Tn90p) durante o ano no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.	69
Figura 23: Frequência de dias frios (TX10p) durante o ano no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.	70
Figura 24: Frequência de dias quentes (TX90p) durante o ano no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.	72
Figura 25: Número de ondas de calor (WSDI3) para três dias consecutivos durante o ano no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023....	73
Figura 26: Número de ondas de calor para seis dias consecutivos (WSDI6) ou mais durante o ano no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: ENs e LNs do período de 1961-2023 - tipos e intensidades.....	35
Tabela 2: Indicadores de extremos de precipitação utilizados neste trabalho..	38
Tabela 3: Indicadores de extremos de temperatura utilizados neste trabalho..	39
Tabela 4: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de Precipitação Total Anual.	44
Tabela 5: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de Temperatura Máxima Média.	48
Tabela 6: Diferença da Temperatura Máxima Média Total para as duas normais climatológicas e suas variações em Vitória(ES).....	49
Tabela 7: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de Temperatura Mínima Média.....	53
Tabela 8: Temperatura Mínima Mensal para as duas normais climatológicas e suas variações em Vitória (ES).	54
Tabela 9: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de RX1day.....	57
Tabela 10: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de RX5day.....	59
Tabela 11: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de CDD.....	61
Tabela 12: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de TNn.....	62
Tabela 13: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de TNx.....	64
Tabela 14: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de TXn.....	65
Tabela 15: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de TXx.....	66
Tabela 16: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de TN10p.....	68
Tabela 17: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de TN90p.....	69

Tabela 18: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de TX10p.....	71
Tabela 19: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de TX90p.....	72
Tabela 20: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de WSDI3.....	74
Tabela 21: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de WSDI6.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CDD	Número máximo de dias consecutivos sem chuva no ano (dias). Este índice reflete a duração de períodos de estiagem
EN	El Niño
LN	La Niña
PRCPTOT	Precipitação anual total dos dias úmidos (mm). Fornece a precipitação acumulada durante o ano
RX1day	Máxima precipitação diária no ano (mm). Precipitação diária mais intensa ocorrida no ano. O índice reflete a intensidade de chuva que pode causar inundações bruscas
RX5day	Máxima precipitação em 5 dias consecutivos no ano (mm). Precipitação acumulada em 5 dias, máxima ocorrida em um ano. É um indicador para possibilidade de deslizamento
TN10p	Porcentagem anual de dias em que TN < percentil 10 (%). Indica a frequência das noites muito frias durante o ano
TN90p	Porcentagem anual de dias em que TN > percentil 90 (%). Indica a frequência dos dias muito quentes durante o ano
TNn	Menor temperatura mínima anual (°C)
TNx	Maior temperatura mínima anual (°C)
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
TX10p	Porcentagem anual de dias em que TX < percentil 10 (%). Indica a frequência de dias muito frios no ano
TX90p	Porcentagem anual de dias em que TX > percentil 90 (%). Indica a frequência de dias muito quentes no ano
TXn	Menor temperatura máxima anual (°C)
TXx	Maior temperatura máxima anual (°C)
WSDI	Número máximo de dias consecutivos no ano com TX > percentil 90 (dias). Indica a duração das ondas de calor no ano
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.2 JUSTIFICATIVAS	18
1.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	19
2. OBJETIVOS	22
2.1 OBJETIVO GERAL:	22
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	22
3. REVISÃO TEÓRICA – CONCEITUAL	23
3.1 CLIMA E SOCIEDADE	23
3.2 VARIABILIDADE CLIMÁTICA	25
3.3 MUDANÇAS CLIMÁTICAS	28
3.4 EVENTOS EXTREMOS	30
3.4.1 Eventos extremos de Precipitação	31
3.4.2 Eventos extremos de Temperatura	32
4. MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1 DADOS OBSERVACIONAIS	34
4.2 ANÁLISE DE TENDÊNCIA E SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA	35
4.3 ÍNDICES CLIMÁTICOS EXTREMOS	37
4.3.1 Indicadores de extremos de precipitação	38
4.3.2 Indicadores de extremos de temperatura	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1 ANÁLISE TEMPORAL DOS DADOS OBSERVACIONAIS	41
5.1.1 Precipitação	41
5.1.2 Temperatura	46
5.2 INDICADORES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS	55
5.2.1 Extremos Climáticos de Precipitação	56

5.2.2 Extremos Climáticos de Temperatura	61
6. CONCLUSÃO	76
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais consistem em um tema em voga, amplamente debatido na comunidade acadêmica e sociedade civil nas últimas duas décadas, sendo foco de diversos estudos e relatórios científicos que norteiam tomadas de decisões por parte dos governantes no Brasil e no mundo (Correa *et al.*, 2022).

Os dois últimos relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, da sigla em inglês de *Intergovernmental Panel on Climate Change*)¹, *Assessment Report* (AR) 5 e 6 (IPCC, 2014; IPCC, 2023), afirmam que as mudanças climáticas atuais são um fator inequívoco e inerente às ações antrópicas. Segundo esses relatórios, há mais de 90% de certeza que essas mudanças seriam de responsabilidade da ação humana, sobretudo, decorrentes da emissão de combustíveis fósseis, queimadas e desmatamento, agravadas pelo acúmulo de gases de efeito estufa, notadamente o dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso.

O AR6, elaborado em 2023, indica que a temperatura média global aumentou em 1,1 °C em relação à era pré-industrial, de 1850 até 2020, e ainda aponta a chance de alterações nos padrões espaciais e temporais, tanto da precipitação quanto da temperatura, até o fim do século XXI. Cabe ressaltar que as mudanças observadas no clima se intensificaram, substancialmente, a partir da década de 1950, impulsionadas pelo aumento populacional e simultaneamente pelos processos de industrialização e urbanização, tecnologia e globalização (Barry; Chorley, 2013; Christopherson; Birkeland, 2018).

As mudanças climáticas, intensificadas pelos fatores antropogênicos, têm contribuído para o aumento da ocorrência e intensidade dos eventos extremos, como: enchentes, secas prolongadas, ondas de calor, tufões, tornados e chuvas intensas, ocasionando impactos adversos nos sistemas naturais e na sociedade (Marengo, 2009; Muller; O’Gorman; Back, 2011). Em especial, os eventos extremos de precipitação estão relacionados ao aumento da taxa de calor latente numa atmosfera mais aquecida (Trenberth, 1999).

¹ Criado em 1988, é o órgão internacional das Nações Unidas (ONU) para avaliar a ciência relacionada as mudanças climáticas. O IPCC prepara Relatórios de Avaliação sobre o estado do conhecimento científico, técnico e socioeconômico sobre mudanças climáticas, seus impactos, riscos futuros e opções para adaptação e mitigação (IPCC, 2021). Atualmente, está no sexto relatório, realizado em 2023.

Há várias evidências que comprovam o efeito das atividades antrópicas sobre o clima no planeta, tais como: a elevação do nível do mar, o recuo de geleiras, a diminuição da cobertura do gelo terrestre, a acidificação dos oceanos e o aumento da temperatura média global (Soares, 2023). Tais destaques só reforçam que o sistema climático terrestre está caminhando para o desequilíbrio (IPCC, 2021).

As mudanças climáticas também afetam o Brasil (Costa *et al.*, 2025; Santos *et al.*, 2020). Ao longo das últimas décadas há registros de diversos eventos extremos. Cada região do país sofreu efeitos específicos das mudanças climáticas ao longo do século XXI, conforme apresentado a seguir.

Na Região Sul do país, observam-se alterações térmicas, como o aquecimento de mais de 0,7 °C, sobretudo nas temperaturas mínimas, e a elevação dos totais pluviométricos anuais (umidificação com tendência à concentração) nas últimas décadas (Marengo, 2007; Mendonça, 2006). Destaca-se, especialmente, o estado do Rio Grande do Sul, que entre os meses de abril e maio de 2024, enfrentou o evento extremo de precipitação mais intenso já registrado em sua história, causando mortes, inundações, alagamentos e deslizamentos de massa (Reboita *et al.*, 2024).

A Região Nordeste, recentemente, enfrentou uma das maiores secas em sua história no período de 2012 a 2017 (Marengo *et al.*, 2022). O evento é considerado um dos mais longos, tendo o último registro de estiagem prolongada nessa magnitude datado de 1720 a 1727 (Lima; Magalhães, 2018). Concomitantemente, o Sudeste do Brasil foi afetado entre 2013 e 2015 por uma seca que gerou uma das piores crises hídricas na história do país (Coelho; Cardoso; Firpo, 2016). No Centro-Oeste, as mudanças no regime de chuvas e o aumento da temperatura já são observadas, e tendem a se agravar ainda mais nos próximos anos, comprometendo áreas agrícolas a saírem do seu ideal climático (Rattis *et al.*, 2021).

O estado do Espírito Santo e o município de Vitória também estão inseridos nesse contexto de mudanças climáticas e aumento dos eventos extremos. Estudos como de Tonon e Cañellas (2023), revelam que há grandes chances de inundação na capital capixaba, resultado da alta precipitação nos cenários atuais e sob efeito das alterações climáticas. Enquanto Oliveira, Martins e Partelli (2023) analisaram as mudanças climáticas sobre a agricultura no Espírito Santo, sobretudo, graças ao aumento da temperatura ao longo dos anos, destacando a vulnerabilidade e sensibilidade das produções em diversas culturas. Regoto *et al.* (2018) apontam para o aumento da precipitação forte e da frequência de chuvas fortes em várias localidades, em especial

nas regiões Sul e Central. Ao passo que as pesquisas de Correa *et al.* (2022) apontam para o aumento da precipitação e da temperatura em todo o estado espírito-santense.

As eventuais mudanças no clima, apontadas nos estudos supracitados, podem impactar de maneira significativa todo o sistema econômico da capital e do território espírito-santense, causando prejuízos e danos à agricultura, às operações portuárias e até mesmo à sociedade como um todo.

A interação desses efeitos entre a dimensão global e a dimensão local dessas mudanças constitui o cerne da análise aqui esboçada, tendo como foco o estudo do comportamento das precipitações e das temperaturas e de seus extremos, na cidade de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.

1.2 JUSTIFICATIVAS

As mudanças climáticas, por causas antrópicas, têm provocado impactos significativos em várias regiões do mundo, incluindo o município de Vitória. Contudo, observa-se que há poucos estudos voltados a essa temática no estado do Espírito Santo, assim como para a capital capixaba. Essa lacuna existente na produção acadêmica evidencia que apesar do tema “mudanças climáticas” abranger diversas áreas do conhecimento e apresentar uma ascensão científica nos últimos tempos, ainda se encontra limitado, demonstrando a necessidade de elaborar pesquisas com essas temáticas na área da climatologia e para o município de Vitória.

Apesar de haver estudos sobre eventos extremos, estes se dedicaram a relatar episódios esporádicos ou a atuação de um único sistema. Por exemplo, os estudos realizados para Vitória, por Correa e Albuquerque (2012), analisaram a influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) nas precipitações intensas e suas consequências sobre a capital capixaba. Entretanto, os autores não se preocuparam em verificar se a ocorrência desses tipos de eventos está aumentando.

As condições de conforto térmico da cidade de Vitória (ES), relacionando o comportamento do clima e a evolução urbana, abrangendo o período de 1931 a 2010, foram analisadas por Xavier, Oliveira e Fialho (2021). Os autores verificaram que houve um aumento de 0,6 °C na sensação térmica em cada mês no período. Já o estudo de Correa (2011), ao analisar a temperatura e a precipitação para o período de 1978 a 2007 para a capital capixaba, concluiu que não foi possível verificar tendência de aumento ou diminuição da precipitação, mas uma leve tendência de aumento na temperatura.

Diante do exposto, nenhum dos trabalhos ora apresentados estudou, por exemplo: as ondas de calor ou os índices climáticos extremos, que são indicadores de mudanças climáticas. Os estudos desses índices são de extrema relevância para compreensão das mudanças climáticas em diversas regiões do mundo, incluindo o Brasil (Marengo; Espinoza, 2016).

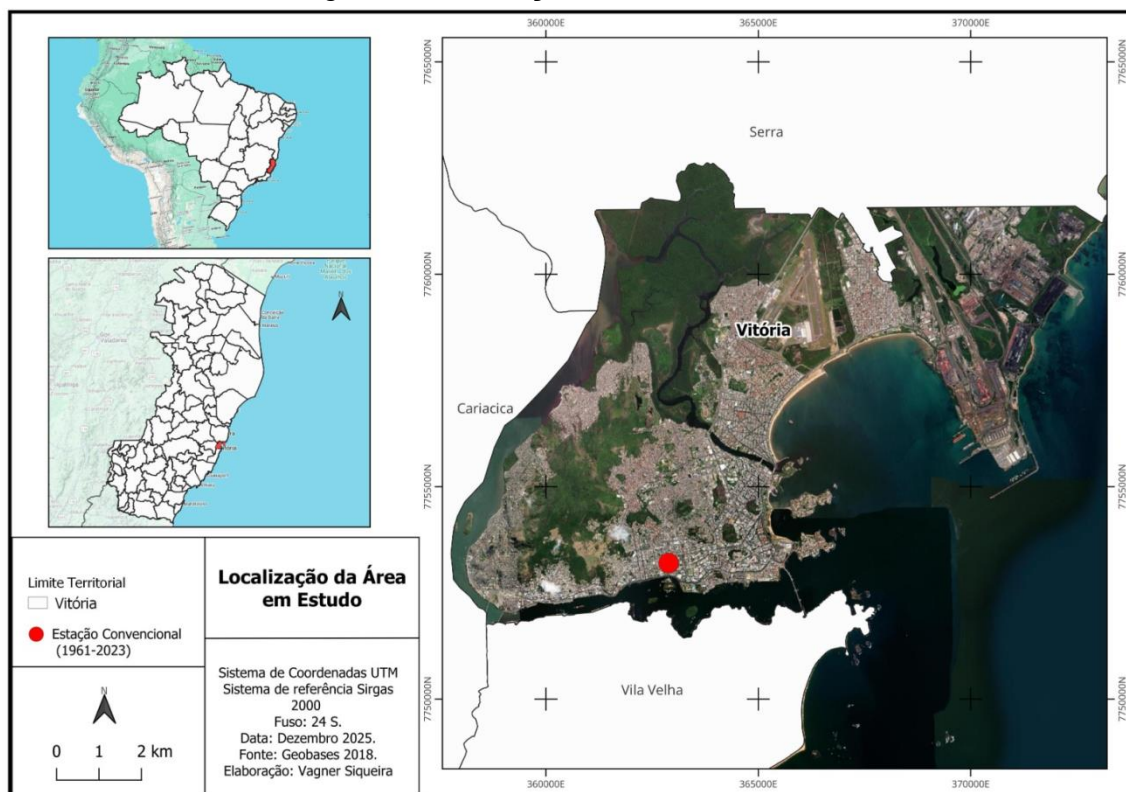
Dessa forma, algumas questões se fazem necessárias e pertinentes: qual o lugar da Geografia como ciência no debate das Mudanças Climáticas? Como a Climatologia Geográfica pode contribuir para a produção de conhecimento acerca de tal problemática? De que forma as Mudanças Climáticas têm impactado a cidade e a Região Metropolitana da Grande Vitória?

Neste contexto, entre os diversos tópicos a serem tecidos associados aos estudos das mudanças climáticas, os resultados ora apresentados podem servir de subsídio e nortear discussões e ações estratégicas de diferentes setores – públicos, privados e sociedade civil – de modo a fomentar políticas públicas e estratégias sustentáveis para mitigações dos efeitos causados pelas ações antrópicas e adaptação que resulte em um futuro com melhores qualidades de vida.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A área em estudo consiste no município de Vitória, capital do estado do Espírito Santo (Figura 1). O município possui uma porção insular e outra continental em sua composição territorial. Localiza-se na região litorânea do estado capixaba, na costa Sudeste do Brasil (lat. -20.3222; long. -40.3381), com uma área de 97,12 km² e uma altitude que varia desde o nível do mar até o ponto mais alto de aproximadamente 309 m (Maciço Central – Morro da Fonte Grande), segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). Ainda que o município de Vitória compreenda diversas ilhas, incluindo Trindade e Martins Vaz, situadas no oceano Atlântico, este trabalho se limita à análise da porção continental da cidade, da Ilha de Vitória, da Ilha do Lameirão (Estação Ecológica Municipal) e das ilhas do Frade e do Boi, sendo esta última já integrada à Ilha de Vitória por meio de aterro no século passado.

Figura 1: Localização da área em estudo.



O município de Vitória tem cerca de 40% de sua área sob cobertura vegetal – considerando espaços como parques, unidades de conservação, área protegida, florestas, locais de preservação e manguezais (PMV, 2012), e ainda caracteriza-se por ser o centro de uma área densamente urbanizada, denominada Região Metropolitana da Grande Vitória (RGMV), formada por sete municípios: Vitória, Cariacica, Fundão, Guarapari, Serra, Viana e Vila Velha, a partir da promulgação da Lei Complementar Estadual n° 58, de 21 de fevereiro de 1995.

A RGMV é a principal concentradora das atividades econômicas do Espírito Santo, sendo portadora de 80% das grandes empresas que contribuem para 48% do PIB capixaba, que apresenta uma população de quase 50% de todo o estado atualmente, diferente do ano de 1960, que na época detinha apenas 14% de habitantes capixabas na região (Zanotelli *et al.*, 2014).

Assim como a RGMV, o município de Vitória também passou por um grande processo de crescimento exponencial de sua população. O IBGE aponta que a população do município cresceu seis vezes nos últimos 70 anos, indo de cerca de 50 mil pessoas em 1950 para cerca de 322.869 habitantes em 2022, e hoje representa cerca de 8,3% da população espírito-santense, de acordo com dados censitários do último Censo (IBGE,

2022). A capital capixaba representa 15,7% do PIB do Espírito Santo, segundo dados referentes ao ano de 2019 (IJSN, 2023).

O PIB per capita de Vitória é de R\$85.035,67 e um salário médio mensal dos trabalhadores formais (2022) de 3,7 salários-mínimos. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é de 0,845 (IBGE, 2022).

As condições de tempo e do clima local de Vitória não são apenas influenciadas pelos sistemas de grande-escala, mas também por fatores de meso-escala que migram e sofrem modificações enquanto transportados pela circulação predominante de grande escala, atingindo a região local (MAIA, 1986).

Em relação à dinâmica atmosférica, os principais fenômenos meteorológicos em escala sinótica que influenciam as características do tempo sobre a capital capixaba são: a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência de Umidade, durante o verão, frentes frias, o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e os Sistemas de Brisa Marítima e Terrestre (Correa *et al.*, 2024).

A estação chuvosa do município ocorre entre outubro e abril (com valor mensal variando entre 130 mm e 220 mm) e a estação menos chuvosa se estabelece entre maio e setembro (com valor mensal variando entre 54 mm e 77 mm) (Correa *et al.*, 2022). As precipitações na estação chuvosa são marcadas por altas temperaturas do ar (24,5 °C a 27,7 °C) e altas taxas de umidade relativa do ar, atingindo cerca de 75%. Enquanto nos meses da estação menos chuvosa, os valores médios de temperatura variam entre 20,0 °C e 23,0 °C, e a umidade relativa média varia entre 60% e 75% (Correa, 2011).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL:

Analisar as mudanças no clima do município de Vitória (ES) a partir da temperatura do ar, da precipitação pluviométrica e dos índices climáticos extremos no período de 1961 e 2023.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analisar a climatologia da temperatura e da precipitação para os períodos de 1961 a 1990 e de 1991 a 2023;
- Detectar as possíveis mudanças nos indicadores de extremos de precipitação e temperatura por meio dos dados observacionais no município de Vitória, comparando os períodos de 1961 a 1990 e de 1991 a 2023, a partir dos índices da ETCCDI – Detecção e Índices de Alteração Climática, baseados na Avaliação Climática Europeia (ECA);
- Investigar a existência ou não de tendência estatisticamente significativa de aumento ou redução na série de dados de precipitação e temperatura, bem como dos índices climáticos extremos a partir do teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall;
- Verificar se há ou não aumento de ondas de calor no município de Vitória, comparando os períodos de 1961 a 1990 e de 1991 a 2023.

3. REVISÃO TEÓRICA – CONCEITUAL

3.1 CLIMA E SOCIEDADE

O clima de uma determinada região é resultado da circulação geral da atmosfera e da sua interação com os fatores e elementos climáticos (Ambrizzi *et al.*, 2021), afetando diversos aspectos da sociedade. Ele pode representar, para uma área qualquer da superfície terrestre, o estado médio da atmosfera e sua variabilidade durante um período de aproximadamente 30 anos, ou a sucessão habitual dos tipos de tempo e suas interações com a paisagem (Ayoade, 1996; Mattos, 1994; Sorre, 1951).

O clima é um fator decisivo para as atividades humanas e a organização de todos os organismos nos mais diversos espaços, sendo um dos principais integrantes do meio físico, interferindo diretamente nos processos geomorfológicos, pedológicos e ecológicos (Ayoade, 1996). Ele exerce uma grande influência na distribuição dos seres humanos, nas redes bióticas e abióticas da superfície terrestre, ora contribuindo para a existência de grandes concentrações, ora reduzindo-as (Costa, 1992).

Desta forma, segundo Conti (2011), as populações que se concentram mais próximas dos trópicos conhecem excessos de calor, porém a variabilidade climática é menor. Nas médias latitudes (entre 30° e 60°), os habitantes estão mais propensos a mudanças constantes no tempo. Já nas altas latitudes (além de 60°), as poucas sociedades estão preparadas para o frio rigoroso e as condições naturais extremas. Outrossim, Costa (1992) revela que o vestuário, os tipos de alimentos, os tipos de habitações, as formas de lazer e certas características, até mesmo psicológicas, variam conforme as condições climáticas e as culturas predominantes em cada povo e região de maneira distinta.

Não obstante, o clima e suas variações ao longo do planeta Terra podem ser modificados substancialmente, diretamente ou indiretamente, pela sociedade (Calvin *et al.*, 2023).

Desde os primórdios da civilização, o ser humano foi-se apropriando dos recursos naturais pelo seu valor de uso, ou seja, utilizando os bens fornecidos pela natureza como maneira de garantir sua sobrevivência e um mínimo de conforto (Oliveira, 2009).

Ainda durante o período pré-histórico e em sociedades antigas, as relações econômicas eram baseadas em trocas de bens e serviços, não tendo valor monetário e nem sendo voltados ao acúmulo de capital. Com o avanço das civilizações e, posteriormente, com a Revolução Industrial (séc. XVIII), origina-se uma nova lógica de produção voltada para

o mercado. O valor de troca passa a se sobrepor ao valor de uso, transformando os recursos naturais em mercadorias (Marx, 2013).

A partir de então, a sociedade segue modelos que transformam em mercadoria o meio ambiente aos seus desejos – onde muitas vezes, vão além de sua necessidade básica de sobrevivência – desconsiderando os impactos das ações humanas sobre o meio natural e as possíveis consequências desse desequilíbrio (Oliveira, 2009).

Nessa perspectiva, as atividades do ser humano, portanto, vêm se estruturando em torno de um regime de produção e consumo insustentável, que excede os limites e a capacidade de regeneração dos ecossistemas naturais do planeta (Hargreaves-Westenberger; Funari, 2024). Concomitantemente, observa-se a expansão das malhas urbanas, em pequenas, médias e grandes cidades, influenciadas pela expansão territorial com o surgimento de novos bairros e loteamentos, enquanto vemos um Brasil e diversas regiões do mundo, cada vez menos rural (Ferreira Feio *et al.*, 2023).

A partir de 1950, com a intensificação dos processos de urbanização e industrialização, tem-se verificado o aumento do consumo e, como consequência disso, observam-se os impactos no clima (Christopherson; Birkeland, 2018). Esses impactos têm relação direta com a mudança no uso e cobertura da terra, com as atividades industriais e urbanas, que liberam toneladas de CO₂ na atmosfera incessantemente (Abreu *et al.*, 2024). Tais formas de viver em meio à sociedade moderna têm alterado o padrão climático ao longo do globo, refletindo nas necessidades dos seres humanos e de toda rede biótica de se adaptarem a esses novos cenários de impactos do clima sobre o globo (Oliveira, 2009).

No Brasil, as mudanças no uso da terra e das florestas, induzidas pelo desmatamento e pelas queimadas, são as principais fontes de emissões de GEE, representando cerca de 48% das emissões totais do país em 2021, de acordo com o SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa) ligado ao Observatório do Clima (Potenza, 2023). A agropecuária aparece em seguida com 27%. O setor energético é o terceiro maior emissor de GEE no Brasil, com 18%. Somando as emissões provenientes do desmatamento² e de outras mudanças de uso do solo às do setor agropecuário, conclui-se de forma abrangente, que a atividade agropecuária é responsável por cerca de 74% de toda a poluição do clima brasileiro (Pendrill *et al.*, 2022; Potenza, 2023).

² Segundo SEEG (Potenza, 2023), de todo desmatamento no Brasil, entre 90% e 99% são impulsionados pela agropecuária.

As manifestações do tempo e as condições climáticas impactam diretamente as atividades agrícolas e o rendimento das colheitas (Monteiro, 2009). Se o clima for desfavorável, a produção poderá ser comprometida, consequentemente afetando toda a economia e sociedade.

Entretanto, as mudanças no clima não ocorrem por todo o globo de maneira homogênea, como o aumento da frequência e intensidade de precipitações em um lugar e o aumento do número de dias secos em outro (Klug *et al.*, 2016), além de impactar espaços e pessoas de maneiras desiguais (Hargreaves-Westenberger; Funari, 2024), uma vez que os locais com maior grau de vulnerabilidade aos riscos das mudanças climáticas encontram-se nos países em desenvolvimento, já que estes não possuem amplo acesso à infraestrutura adequada e apresentam alto nível de ocupação em áreas de risco (Klug *et al.*, 2016).

Embora os eventos extremos acarretados e intensificados pelas mudanças climáticas ao redor do globo também afetem as camadas mais ricas dos países e da população, estas possuem maiores condições de promover alternativas de adaptação e de resistência a seus impactos, enquanto as comunidades e populações mais vulneráveis sofrem de forma desproporcional às reverberações desses eventos (Milanez; Fonseca, 2011; Monteiro, Rhadson Rezende *et al.*, 2023). As mudanças climáticas, portanto, podem potencializar as vulnerabilidades sociais.

3.2 VARIABILIDADE CLIMÁTICA

A atmosfera terrestre não apresenta um padrão climatológico constante: as oscilações do clima em torno do seu valor médio são chamadas de variabilidade climática (Vasconcellos; Reboita, 2021). A variabilidade climática, portanto, é caracterizada por oscilações/flutuações em torno da média climatológica, que ocorrem devido às mudanças naturais e/ou impulsionadas por atividades humanas, sendo essas variações acentuadas desde meados do século XX (Medeiros *et al.*, 2022). Alguns motivos dessas anomalias se devem a fatores como a circulação do ar e dos oceanos a partir de modos com alguma periodicidade, bem como aos processos resultantes de erupções vulcânicas, sendo capazes de perdurar por meses, anos, décadas e assim por diante (IPCC, 2023; Ynoue *et al.*, 2017).

A variabilidade climática é uma das condições que mais provocam impactos na climatologia de uma região, causando efeitos relevantes nas atividades humanas em diferentes escalas, podendo desestruturar os sistemas ambientais e socioeconômicos

(Medeiros *et al.*, 2022). Dentre os causadores da variabilidade do sistema climático, destaca-se a influência dos oceanos.

Os oceanos têm um papel importante na variabilidade climática, pois, além de constituírem um grande reservatório de energia, apresentam oscilações na escala das baixas frequências, alterando as escalas climáticas globais (Limberger, 2016). Isso se deve à alta capacidade térmica da água. A temperatura superficial do mar (TSM) interage diretamente com os processos físicos da atmosfera, promovendo trocas de energia que resultam em ganhos e perdas de calor atmosférico (Silva e Silva, 2012). Desse modo, a TSM assume um papel de forçante atmosférica, capaz de alterar sua circulação, impactando o clima em escala global (Barry; Chorley, 2013). Muitos padrões de teleconexão³ se estabelecem associados às anomalias da TSM, como El Niño e La Niña (Vasconcellos; Reboita, 2021).

Os eventos de El Niño (EN) e La Niña (LN) são alterações no sistema oceano-atmosfera, que acontecem no Oceano Pacífico e influenciam o clima em todo o planeta numa escala interanual (Trenberth, 1999). Durante a fase positiva, ou seja, no EN, há um aumento abrupto na temperatura das águas subsuperficiais e superficiais do Oceano Pacífico, ocasionando mudanças na atmosfera próxima ao oceano. Enquanto na fase negativa, ou seja, de LN, ocorre a diminuição da temperatura dessas águas (Vasconcellos; Reboita, 2021).

“De modo geral, as anomalias de chuva relacionadas com El Niño e com La Niña atingem as mesmas regiões nos mesmos períodos do ano (ou um pouco defasadas), porém, mesmo não sendo uma imagem de espelho perfeita, se apresentam de forma oposta. Ou seja, naquelas regiões onde em anos de El Niño há excesso de chuvas, nos anos de La Niña pode ocorrer seca” (Cunha *et al.*, 2011).

As fases do ENOS provocam diversos impactos no Brasil e no mundo (Kayano *et al.*, 2016). Esses impactos variam ao longo do ciclo de cada fenômeno e apresentam grandes variações espaciais nos respectivos territórios.

Durante o inverno, em episódios de EN (LN), observam-se anomalias negativas (positivas) de precipitação na Região Norte do Brasil, que permanecem até o outono do ano seguinte. Na primavera, efeitos de El Niño se deslocam para Região Sul do país, com anomalias negativas de precipitação e La Niña com anomalias positivas, enquanto,

³ Teleconexão: quando um fenômeno em certo local do globo afeta a circulação atmosférica, podendo causar impactos em locais distintos do planeta (Wallace; Gutzler, 1981).

no mesmo período, ocorrem anomalias de precipitação de sinal oposto nas regiões Centro-Oeste e Norte (Grimm; Ferraz; Gomes, 1998).

No outono, há impactos mais relevantes de precipitação associados à LN sobre a Região Nordeste do Brasil, enquanto em EN o impacto não é tão forte. Na Região Sudeste, o EN vai impactar de acordo com a intensidade, e cada intensidade vai impactar espacialmente de diferentes maneiras, mas em suma, pode gerar um aumento de precipitação durante o outono, enquanto LN tende a impactar de maneira mais moderada em relação às precipitações nessa região (Grimm; Ferraz; Gomes, 1998; Vasconcellos; Reboita, 2021).

Durante a primavera, há significativo aquecimento (resfriamento) sobre o Sudeste, causado pelas condições secas (úmidas) nessa região sob efeito de EN (LN), podendo atingir até 2 °C de variação em torno da média. Em contrapartida, no Sul do Brasil, as temperaturas nesse período de primavera não apresentam variações significativas, devido ao efeito oposto das anomalias de precipitação (Grimm; Ferraz; Gomes, 1998; Vasconcellos; Reboita, 2021).

Em geral, a influência desses modos de variabilidade na temperatura do ar na Região Sudeste tem uma resposta mais linear, enquanto, para a precipitação, os impactos nem sempre são bem definidos (Vasconcellos; Reboita, 2021). Apesar de o impacto na precipitação não ser claro, alguns autores destacam a influência das ZCAS oceânica (continental) durante o EN (LN) (Berlato, 2024).

Diferentemente de outras regiões e estados do Brasil, no Espírito Santo – assim como na cidade de Vitória – existem poucos trabalhos que tratam dos modos climáticos, assim como os impactos do EN e LN no território capixaba, havendo possibilidade de pesquisar sobre tal dinâmica e seus efeitos numa perspectiva local, de maneira mais incisiva no futuro.

Entretanto, Minuzzi *et al.* (2010) evidenciaram em sua pesquisa a influência do fenômeno El Niño na precipitação da Região Sudeste do Brasil. Nesse estudo, os autores indicam que o início do período chuvoso tende a tardar na região central do Espírito Santo, porém não especificam quais os municípios foram analisados e utilizam somente estações da Agência Nacional das Águas (ANA). De qualquer forma, o município de Vitória não possui estações desta agência (Correa, 2011).

Todavia, as oscilações climáticas mencionadas têm relação direta com os efeitos que a circulação atmosférica sofre, afetando a dinâmica atmosférica de uma região e podendo

acarretar impactos em locais distintos do globo (Angelocci; Sentelhas, 2010; Wallace; Gutzler, 1981).

3.3 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O clima da Terra sempre passou, ao longo da sua história, por processos de aquecimento e resfriamento decorrentes de causas naturais (Sui; Chen, 2022). Como essas mudanças, em sua maioria, aconteceram sem a presença dos seres humanos, podem ser denominadas de mudanças climáticas naturais (Ynoue *et al.*, 2017). Contudo, as condições climáticas atuais decorrem de razões naturais e/ou devido às atividades humanas (Krug *et al.*, 2019).

As mudanças climáticas podem ser entendidas como mudanças no estado do clima ao longo do tempo, apresentando variações estatisticamente significativas tanto na média quanto na variabilidade do clima, persistindo por um extenso período, sendo atribuídas direta ou indiretamente às atividades humanas e/ou causas naturais, que acontecem por modificações na composição da atmosfera global e/ou no uso e ocupação do solo, somadas à variabilidade climática (IPCC, 2007; IPCC, 2014; UNFCCC, 1992). Essas mudanças podem causar no clima uma variação além daquelas observadas em períodos comparáveis, gerando impactos socioambientais por vezes indelévels.

“O sistema climático é altamente complexo e consiste em cinco componentes principais: atmosfera, hidrosfera, criosfera, a superfície da terra e a biosfera, e as interações entre eles. O sistema climático evolui em tempo, sob influência de suas próprias dinâmicas internas, e por causa dos forçamentos externos, tais como erupções vulcânicas, variações solares e forçamentos humanos induzidos, tais como: composição de mudança da atmosfera e mudança no uso da terra” (Marengo, 2007).

Entretanto, as forçantes impostas ao sistema climático são divididas em duas categorias: externas e internas (Ynoue *et al.*, 2017). Entre os fatores externos naturais estão os movimentos das placas tectônicas, cujos deslocamentos provocam alterações no manto terrestre e nas distribuições continentais. As divisões que observamos atualmente dos continentes e oceanos diferem das existentes em outros períodos e eras geológicas. Além disso, as variações na radiação solar e as erupções vulcânicas também implicam diferenças no aquecimento da superfície oceânica e continental, pois alteram a concentração de gases na atmosfera, podendo acarretar o aumento ou a diminuição da temperatura média do planeta (Ynoue *et al.*, 2017).

Somam-se às forçantes externas, as modificações dos parâmetros orbitais da Terra – conhecidas como Ciclos de Milankovitch (Excentricidade, Obliquidade e Precessão dos equinócios), que consistem em variações na forma da órbita do planeta e em torno do Sol, influenciando a circulação atmosférica e resultando em diferentes padrões climáticos sobre o globo ao longo de dezenas de milhares de anos (Ynoue *et al.*, 2017).

Dentre as forçantes internas, os oceanos são considerados a principal fonte de variabilidade e mudança do clima (Ynoue *et al.*, 2017). Os seres humanos também afetam o clima, sobretudo por meio das emissões de GEE, da poluição particulada atmosférica (aerossóis) e de outros fatores, como as alterações na composição química da atmosfera (Calvin *et al.*, 2023). Qualquer uma dessas forças, sejam elas de origem natural ou antrópica, pode afetar a variabilidade interna do sistema climático e, consequentemente, provocar mudanças no clima médio (IPCC, 2023; Krug *et al.*, 2019; Marengo, 2009).

Períodos de intensa atividade geológica lançaram à superfície enormes quantidades de gases que formaram, após milhões de anos, uma espécie de bolha gasosa sobre o planeta, criando um efeito estufa natural. No entanto, as atividades industriais intensificaram esse efeito, afetando o clima terrestre para além de sua variação natural, o que demonstra que a atividade antrópica é um fator determinante nas mudanças climáticas (Marengo, 2007).

Desde 1750, no contexto da Revolução Industrial, a concentração atmosférica em CO_2 aumentou mais de 31%, sendo mais da metade desse crescimento observada nos últimos 50 anos (Ynoue *et al.*, 2017). Qualquer fator que altere tais processos naturais, afeta o clima global. Com o aumento das emissões de GEE, observado nos últimos 150 anos, maior quantidade de calor passou a ficar retida na atmosfera, e impactos climáticos cada vez mais intensos vêm sendo vivenciados (Marengo, 2009).

“Os GEE absorvem a radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre e a reemitem para a superfície. Esses gases podem ser comparados a um cobertor, pois não deixam a energia escapar. Quanto maior a quantidade de GEE na atmosfera, mais energia tende a ser absorvida por eles e reemitida para a superfície, o que implica um aumento das temperaturas do planeta” (Ynoue *et al.*, 2017).

A concentração desses gases se deve, sobretudo, ao uso de combustíveis fósseis no transporte, ao desmatamento, à agricultura, mudanças no uso do solo, aterros sanitários e aos processos industriais (IPCC, 2007; Ynoue *et al.*, 2017).

Segundo Ynoue *et al.* (2017), as mudanças climáticas já podem ser observadas, à medida que as anomalias positivas da temperatura do mar e do ar se intensificam no

planeta, provocando a elevação do nível do mar, bem como a redução da cobertura do gelo marinho.

Outrossim, já existem projeções de mudanças do clima futuro, em especial para o Brasil. Estudos indicam um aumento da precipitação em todas as estações do ano em diversas regiões do globo, inclusive em parte da Mata Atlântica no Sudeste do país (Marengo *et al.*, 2009). De modo inverso, os modelos climáticos indicam uma tendência de diminuição das chuvas nos biomas da Amazônia, Caatinga, Cerrado e Pantanal, além do aumento significativo da temperatura (Marengo *et al.*, 2022).

Ambrizzi *et al.* (2019) também reuniram resultados de projeções climáticas, nas quais, de acordo com a síntese, projeta-se um aumento de 2 a 4 °C na temperatura do ar na Região Sudeste e aumento da intensidade dos ventos no litoral da região, além de outros efeitos já observados na contemporaneidade e discutidos anteriormente.

3.4 EVENTOS EXTREMOS

Os eventos extremos são ocorrências geralmente raras de valores extremos de determinadas condições climáticas ou variáveis meteorológicas, que apresentam danos à sociedade e ao espaço (Ferreira; Valverde, 2022).

Esses eventos extremos podem ser de curto prazo, como chuvas torrenciais, ondas de calor e de frio, ciclones tropicais e inundações. Podem também ocorrer a longo prazo, caracterizadas como secas resultantes de um longo período de baixa precipitação (Marengo, 2009).

Segundo o IPCC (2007), um evento extremo é registrado quando ocorre um valor de uma variável climática acima (ou abaixo) dos valores superiores-médios (ou inferior) da faixa de seus valores observados em uma região específica. Tais eventos são raros em sua ocorrência e intensidade em um determinado lugar e período. As características comuns desses eventos são que eles ultrapassam os limites normais das condições climáticas e meteorológicas típicas de um lugar, podendo gerar impactos significativos sobre os ecossistemas e seres humanos (Zhang; Tank; Zwiers, 2009).

Nos dias atuais, os eventos extremos de curta duração têm sido considerados como os mais importantes a serem analisados pelos climatologistas (Marengo *et al.*, 2007), pois alguns modelos climáticos e estudos de projeções do clima para o futuro apontam uma maior frequência desses eventos de curta duração (chuvas intensas, ondas de calor e

frio, períodos secos, temporais e furacões) em cenários de mudanças no clima global (Alexander, 2016).

Já existem evidências de que tais eventos extremos têm aumentado e afetado diferentes áreas ao redor do mundo, produzindo enormes perdas de vidas e prejuízos econômicos (Marengo *et al.*, 2007). Como exemplo, destacam-se as ondas de calor que atingiram a Europa em 2003 e 2024, sendo estes alguns dos verões mais quentes no continente nos últimos 500 anos, superando previsões climáticas com as temperaturas médias do ar sem precedentes históricos (Ionita; Nagavciuc, 2025). Além disso, registram-se impactos relacionados às alterações da biodiversidade, agricultura e pecuária, saúde humana, geração de energia, abastecimento de água e ocorrência de desastres naturais (Marengo, 2007).

O clima, assim como os eventos extremos, não é responsável absoluto pelos desastres que afetam a sociedade, mas atua como fator potencializador desses acontecimentos, que deflagram a ausência de infraestrutura adequada e planejamento em vários entes da sociedade.

3.4.1 Eventos extremos de Precipitação

Segundo Blain *et al.* (2010), a precipitação pluviométrica tem grande importância na caracterização do clima de uma região, influenciando as dinâmicas culturais e, até mesmo, a construção civil.

Eventos extremos de precipitação são causados tanto pelo excesso quanto pela escassez de chuva, de acordo com a dinâmica de cada área, podendo provocar inundações, deslizamentos de encostas, alagamentos, períodos de estiagem prolongada e secas, que afetam a qualidade de vida e a subsistência da população (Ferreira; Valverde, 2022). Sendo assim, torna-se evidente a relevância de métodos que permitam detectar e quantificar, de forma simples e rotineira, o início, a severidade e as vertentes das precipitações e de seus eventos extremos.

Os eventos climáticos extremos de precipitação têm produzido danos cada vez maiores (Faria; Skamvetsakis, 2025), como aquele que atingiu o estado do Rio Grande do Sul em 2024, causando um dos maiores desastres ambientais e humanos da história da região, com expressivos danos ambientais e humanos (Reboita *et al.*, 2024). Em contrapartida, a precipitação abaixo da média no Sudeste do Brasil entre 2014 e 2015, impactou severamente os reservatórios de água para geração de energia e a produção agrícola (Coelho; Cardoso; Firpo, 2016).

Zilli *et al.* (2016) analisaram a tendência de precipitação na Região Sudeste durante um período de 70 anos de dados. Segundo os autores, tanto a frequência de dias chuvosos quanto a ocorrência de dias com precipitação extrema têm aumentado no estado de São Paulo. Não obstante, a precipitação também tem se tornado mais concentrada em poucos dias no Rio de Janeiro e no Espírito Santo. Em pesquisas fundamentadas de maneira mais regional, Regoto *et al.* (2018) mostraram que a frequência e a intensidade dos dias chuvosos e da precipitação diária extrema estão em tendência de aumento no Espírito Santo, sobretudo na região Sul do estado. Além disso, observa-se a predominância de aumentos nos dias secos consecutivos nesse estado.

A Região Sudeste concentra mais de 42% da população brasileira e possui topografia irregular, em função disso, muitos eventos extremos de precipitação ocasionam alagamentos e deslizamentos de terra (Vasconcellos; Reboita, 2021). Segundo o IPCC (2023), com a continuidade da elevação da temperatura média global, os índices pluviométricos totais aumentarão na maioria do território brasileiro, incluindo o Sudeste, enquanto há tendência de redução no Centro-Oeste, em grande parte do Nordeste e na Amazônia.

3.4.2 Eventos extremos de Temperatura

A temperatura, assim como a precipitação, exerce papel fundamental na dinâmica climática e nas condições de subsistência das populações, influenciando fatores econômicos e sociais que dependem do regime de chuvas e dos padrões de temperaturas em diversos espaços temporais. As chuvas, assim como a ausência delas, estão diretamente ligadas às temperaturas, aos efeitos de seca e à disponibilidade de água, se tornando fatores intrínsecos ao modo de como determinada região se organiza e condiciona seu modo de vida (Regoto *et al.*, 2018).

Segundo as entidades da Organização das Nações Unidas (ONU, 2024), paralelamente com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024), o ano de 2023 foi o mais quente já registrado no Brasil e no mundo ao longo do período de 1961 a 2023.

No Brasil, observam-se tendências positivas na frequência de dias e noites quentes e, tendências negativas na frequência de noites e dias frios, concomitantemente atrelado ao aumento da intensidade e frequência de dias com chuvas intensas de 1961 a 2000, de acordo com Marengo (2009) e Vasconcellos; Reboita (2021).

Na Região Sudeste, o comportamento climático segue o mesmo padrão observado em escala nacional, com tendências positivas de maior magnitude nas temperaturas

mínimas e, em menor magnitude, nas temperaturas máximas, indicando noites mais quentes, além do aumento na ocorrência de extremos de chuvas intensas (Regoto *et al.*, 2018).

De acordo com o IPCC (2007), o aumento da temperatura mundial é inequívoco e, consequentemente, as ondas de calor têm sido responsáveis por danos à sociedade e diversos ecossistemas, resultando em mortalidade de animais e queda da produção agrícola (Marengo, 2009b). A influência humana também vem elevando a probabilidade de ocorrência de eventos climáticos extremos desde a década de 1950, incluindo o aumento da frequência de ondas de calor e secas, clima propício a incêndios e inundações (Junior *et al.*, 2023).

Uma onda de calor pode ser caracterizada como um período prolongado de temperaturas acima de um percentil climatológico esperado para uma determinada região e época do ano específica, no qual os índices que estiverem acima do valor calculado, em sua maioria ultrapassando 32°C, por três ou mais dias consecutivos, é caracterizado como onda de calor (da Silva *et al.*, 2021).

Na região central da América do Sul, dados apontam para o aumento gradativo da intensidade e das ocorrências de ondas de calor nos últimos 60 anos. No Brasil, o número desses eventos aumentou em oito vezes, com índices de 7 dias ao longo do período histórico de 1961-1990, passou para 52 dias entre 2011-2020 (Marengo *et al.*, 2025).

Contudo, para o município de Vitória, ainda não há estudos que evidenciem o quantitativo de ondas de calor, bem como estudos dos impactos desses eventos extremos da temperatura do ar sobre a sociedade da capital espírito-santense.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho reuniu parte do seu desenvolvimento fundamentado em pesquisas bibliográficas, incluindo literaturas especializadas e consultas a sites de órgãos municipais, estaduais, federais brasileiros e mundiais. Nesse levantamento, foram encontrados e analisados trabalhos científicos, artigos técnicos, teses, dissertações e monografias a respeito da temática aqui apresentada. Consultaram-se referenciais teóricos nas áreas de climatologia geral, meteorologia, mudanças climáticas e eventos extremos, reunidos a partir de diversos periódicos nacionais e internacionais, de modo a fundamentar as análises propostas.

Além da fundamentação teórica, utilizaram-se dados climáticos provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A partir dessas séries de dados, foram calculados os indicadores de extremos de precipitação e temperatura, bem como aplicados testes de significância estatística, para avaliação de tendência e variações climáticas, cujos resultados são apresentados nas seções subsequentes deste trabalho.

4.1 DADOS OBSERVACIONAIS

Os dados diários de temperatura e precipitação foram provenientes da estação convencional do INMET, localizada nas coordenadas de latitude $-20^{\circ}30'S$ e longitude $-40^{\circ}31' W$ para o município de Vitória (ES). Com o recorte temporal para o período de 1961 a 2023. Essa base de dados é proveniente do Banco de Dados Meteorológicos do INMET (<https://bdmep.inmet.gov.br/>).

Os dados climatológicos foram agrupados em cerca de 63 anos (1961 a 2023), de onde, posteriormente, com o auxílio do software Excel do Windows™, foram elaboradas tabelas e gráficos do comportamento da precipitação, temperatura máxima e mínima do ar e calculados os índices extremos para o município de Vitória (ES).

Os dados foram divididos em dois recortes temporais. O primeiro configura a normal climatológica⁴ de 1961 a 1990; o segundo corresponde ao período de 1991 a 2023, sendo para cada período calculadas as médias aritméticas anuais, mensais e sazonais de temperatura e precipitação, além do cálculo de tendências e significância estatística (ver com mais detalhes a seção 4.3).

De posse dos dados, verificou-se a ausência de algumas informações, tais como um total de 1580 dados de precipitação, representando 6,86% de todos os valores (23.010), dentre eles, os anos completos de 1990 e 1991 referentes à precipitação, representando aproximadamente 3,23% de todas as análises observadas. Enquanto para temperatura, 1284 dados faltantes de temperatura máxima, representando 5,58%, e 1154 de temperatura mínima, representando 5,01%. Estes dados faltantes foram substituídos por '-9999' dentro das planilhas, para não influenciar os resultados. Os demais índices – assim como os dados de 1990 e 1991 para temperatura – não sofreram alteração.

⁴ As "Normais Climatológicas" são obtidas através do cálculo das médias de parâmetros meteorológicos, obedecendo a critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Essas médias se referem a períodos padronizados de 30 (trinta) anos, sucessivamente, de 1901 a 1930, 1931 a 1960 e 1961 a 1990. Como, no Brasil, somente a partir de 1910 a atividade de observação meteorológica passou a ser feita de forma sistemática, o primeiro período padrão possível de ser calculado foi o de 1931 a 1960.

Durante o período analisado nesta pesquisa, o Brasil e o mundo foram influenciados por fenômenos de escala climática global, como por exemplo, o El Niño e La Niña, mostrados na tabela a seguir:

Tabela 1: ENs e LNs do período de 1961-2023 - tipos e intensidades.

El Niño			La Niña		
Fraco	Moderado	Forte	Fraco	Moderado	Forte
1968-69	1963-64	1965-66	1967-68	1973-74	
1992-93	1969-70	1972-73	1970-71	1975-76	
	1976-77	1982-83	1998-99	1988-89	
	1979-80	1987-88		1999-00	
	1986-87	1991-92		2007-08	
	2002-03	1997-98		2010-11	
	2006-07	2015-16		2017-18	
	2009-10	2018-19		2021-22	
		2023-24			
Fonte: CPTEC (http://enos.cptec.inpe.br/) e NOAA (https://www.cpc.ncep.noaa.gov/).					

Contudo, tais fatores não serão analisados em detalhes, visto que não fazem parte do objetivo principal do trabalho. Podendo ser avaliado como possível investigação acadêmica no futuro. Serão apenas mencionadas as possíveis influências nos índices de precipitação e temperatura.

4.2 ANÁLISE DE TENDÊNCIA E SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA

Para a análise de cada uma das séries de valores dos indicadores de extremos de precipitação e temperatura, foi aplicado o teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), com o intuito de investigar a existência ou não de tendência estatisticamente significativa de aumento ou redução nas séries de dados. Complementarmente, utilizou-se o estimador Sen (Sen, 1968), conhecido como Sen's Slope (SS), aplicado para estimar a magnitude dessa tendência linear. Ambos os testes são detalhadamente descritos em Regoto *et al.* (2018) e Zilli *et al.* (2016), onde são apresentadas a metodologia dos mesmos.

O teste de Mann-Kendall é comumente utilizado em análises de séries temporais meteorológicas para a identificação de tendências, permitindo verificar se uma variável apresenta comportamento de aumento ou redução ao longo do período analisado. Apesar da eficiência do teste de Mann-Kendall, ele não fornece a magnitude das tendências detectadas. Nesse sentido, o estimador Sen's Slope atua de forma complementar, sendo responsável por quantificar essa variação. Por meio desse estimador, torna-se possível identificar o grau de variação dos índices climáticos na

região de estudo. A hipótese a ser testada – hipótese nula – é a de que a série temporal foi definida ao nível de 5% ($p < 0,05$) e 10% ($p < 0,1$).

Goossens & Berger (1986) afirmam que o teste de Mann-Kendall é um dos métodos mais adequados para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas, pois possibilita a detecção de existência de tendência monotônica. Ou seja, esse teste serve como maneira de verificar se os elementos da série estão aumentando, diminuindo ou se não apresentam tendências ao longo do tempo, sem que se faça qualquer suposição sobre a distribuição dos dados coletados (Moro *et al.*, 2025).

Dessa forma, o teste de Mann-Kendall é amplamente utilizado por diversos autores para detecção de tendência de diferentes fenômenos, tais como temperatura, precipitação, dias consecutivos secos e entre outros parâmetros. Cristiane *et al.* (2022) utilizaram o teste para analisar as tendências climáticas utilizando dados de precipitação pluviométrica numa região semiárida pernambucana. Enquanto Luiz, Cardoso, Ribeiro (2012) aplicaram o teste de Mann-Kendall para analisar o grau de tendência da temperatura e umidade relativa do ar para Goiânia - GO, para o período de 1961 a 2008.

Como interpretar os resultados:

O Teste de Mann-Kendall é um método não paramétrico, ideal para dados climatológicos que frequentemente não seguem uma distribuição normal.

O Tau de Kendall (τ) é a principal métrica para entender a tendência:

- Valores de Tau: variam de -1 a +1.
- $\tau > 0$ (positivo): Indica uma tendência de aumento. Conforme o tempo passa, os valores tendem a ser maiores.
- $\tau < 0$ (negativo): Indica uma tendência de redução. Conforme o tempo passa, os valores tendem a ser menores.
- $\tau \approx 0$: Indica ausência de tendência ou uma tendência muito fraca.

O p-valor determina se a tendência encontrada é estatisticamente significativa. Um p-valor < 0.05 é o limiar comumente aceito para afirmar que a tendência não está associada ao acaso.

4.3 ÍNDICES CLIMÁTICOS EXTREMOS

Antes de aprofundar no presente tópico, faz-se necessário definir o que se entende por indicadores e índices. Para tanto, segundo a definição proposta pela OMM (2009), indicadores são variáveis ou parâmetros usados para descrever as condições dos eventos extremos. Exemplos de índices incluem dados de precipitação, temperatura, fluxos dos rios, dentre outros. Índices são representações numéricas, geralmente utilizados para calcular a intensidade ou severidade do fenômeno, por exemplo, secas, chuvas extremas, dentre outros. Doravante, como metodologia para investigar os extremos do clima, recorreremos aos índices.

Quando se aborda o tema de mudanças climáticas, utilizam-se, de modo geral, os indicadores de extremos de precipitação e/ou temperatura do ar, propostos pelo *Expert Team on Climate Change and Indices* (ETCCDI)(Zhang *et al.*, 2011), recomendados pela OMM (Zhang; Tank; Zwiers, 2009).

O ETCCDI é um grupo especializado vinculado à Organização Meteorológica Mundial (OMM), criado em 1999, com o objetivo de desenvolver e padronizar internacionalmente métodos para a detecção de mudanças climáticas. Segundo Zhang, Tank, Zwiers (2009), o ETCCDI estabelece um conjunto de índices climáticos de extremos baseados em dados diários de temperatura e precipitação, de acordo com definições e cálculos que permitem a comparação entre diferentes regiões, a partir de suas dinâmicas climáticas locais. Esses índices são utilizados na avaliação de tendências observadas e na validação de projeções climáticas, servindo como base metodológica para análises de eventos extremos (OMM, 2009).

A proposta do ETCCDI tem como fundamentação teórica a utilização da Teoria dos Valores Extremos (TVE), um ramo da estatística/matемática que se dedica à análise de eventos com baixa ocorrência, porém com grandes impactos e intensidades (Zhang *et al.*, 2011). A TVE investiga o comportamento desses eventos mais extremos e intensos de uma série temporal (as chamadas "caudas" da distribuição de eventos), examinando valores que se desviam significativamente do padrão, em vez de analisar o comportamento central dos dados. Essa abordagem permite estimar sua probabilidade de ocorrência, magnitude e tempo de retorno, que, embora ocorram com pouca frequência, produzem impactos significativos nos mais diversos sistemas, tanto naturais quanto sociais (Zhang *et al.*, 2011).

Para o processo de investigação de eventos extremos do tempo e do clima, a OMM, (2009) definiu orientações mais adequadas para sua avaliação e análise, as quais foram utilizadas para elaboração deste trabalho e incluem:

- I) preparação de série de dados, em particular, observações, para análise de extremos;
- II) utilização de índices descritivos;
- III) cálculo de tendências e outras abordagens estatísticas para avaliar mudanças nos extremos do clima;
- IV) avaliação das mudanças observadas e modelos de mudanças projetadas nos extremos.

4.3.1 Indicadores de extremos de precipitação

Os indicadores de extremos de precipitação utilizados neste trabalho são listados na Tabela 2. Tais indicadores foram calculados com o auxílio do software Excel do Windows™.

Esses índices são utilizados pela OMM para verificação de mudanças nos padrões climáticos.

Tabela 2: Indicadores de extremos de precipitação utilizados neste trabalho.

Indicador	Definição	Unidade
PRCPTOT	Precipitação anual total dos dias úmidos (dias nos quais PRCP \geq 1mm)	mm
RX1day	Máxima precipitação diária no ano; precipitação diária mais intensa ocorrida no ano; o índice reflete a intensidade de chuva que pode causar inundações bruscas.	mm
RX5day	Máxima precipitação em 5 dias consecutivos no ano; indicador para possibilidade de deslizamento.	mm
CDD	Número máximo de dias secos consecutivos no ano (PRCP $<$ 1 mm); este índice reflete a duração de períodos de estiagem para uma determinada área.	dias

4.3.2 Indicadores de extremos de temperatura

Os indicadores de extremos de temperatura utilizados neste trabalho são listados na Tabela 3. Tais indicadores foram calculados com o auxílio do software Excel do Windows™.

Esses índices são utilizados pela OMM para verificação de mudanças nos padrões climáticos.

Tabela 3: Indicadores de extremos de temperatura utilizados neste trabalho.

Indicador	Definição	Unidade
TNn	Menor temperatura mínima anual	°C
TNx	Maior temperatura mínima anual	°C
TN10p	Porcentagem anual de dias em que TN < percentil 10; indica a frequência das noites muito frias durante o ano.	% de dias
TN90p	Porcentagem anual de dias em que TN > percentil 90; indica a frequência das noites muito quentes durante o ano.	% de dias
TX10p	Porcentagem anual de dias em que TX > percentil 10; indica a frequência de dias muito frios durante o ano.	% de dias
TX90p	Porcentagem anual de dias em que TX > percentil 90; indica a frequência de dias muito quentes durante o ano.	% de dias
TXn	Menor temperatura máxima anual	°C
TXx	Maior temperatura máxima anual	°C
WSDI	Número máximo de dias consecutivos no ano com TX > percentil 90.	dias

O *Warm Spell Duration Index* (WSDI) é um índice de extremo de temperatura proposto pelo ETCCDI, que quantifica a duração de eventos prolongados de calor excessivo, definidos como períodos de 3 ou 6 dias consecutivos em que a temperatura máxima ultrapassa o percentil 90% (Alexander *et al.*, 2006; OMM, 2009).

Conforme destacado por Alexander *et al.* (2006), diversos estudos utilizam o WSDI para identificar a quantidade de dias em que as temperaturas excederam o valor associado ao percentil 90% em uma determinada localidade. Essa métrica corresponde ao número de dias com $T > T_{90}$, do qual se encontram apenas os 10% mais quentes da série histórica. Em outras palavras, esse percentil funciona como um limite para identificar dias que fogem do comportamento normal e podem ser classificados como excepcionalmente quentes.

Esse índice ajuda a entender a duração das ondas de calor no ano, mudanças climáticas e suas implicações para a saúde pública, agricultura e ecossistemas, permitindo monitorar a intensidade e a persistência de eventos de calor extremo ao longo do tempo (Sillmann *et al.*, 2014).

Em estudos regionais, especialmente em áreas tropicais, alguns pesquisadores adotam janelas reduzidas, preferindo a utilização do WSDI para 3 dias, a fim de captar ondas de calor mais curtas, que são frequentes em climas onde episódios quentes tendem a ser menos duradouros e/ou onde tal definição se adequa melhor às condições fisiológicas, sociais e econômicas locais, considerando suas dinâmicas particulares.

Por outro lado, há pesquisas que mantêm a janela considerada padrão de ≥ 6 dias, para garantir que o evento represente um episódio persistente de calor, e não uma oscilação de curto prazo, uniformizando essa estrutura internacionalmente (Russo *et al.*, 2014).

Autores como Alexander *et al.* (2006) utilizaram em sua pesquisa o WSDI6 e detectaram que aumentou a ocorrência anual de ondas de calor desde o início da década de 1990 no centro e leste dos Estados Unidos, Canadá e em partes da Europa e da Rússia, sendo resultado estatisticamente significativo. Aparecida *et al.* (2021) analisaram através da mesma metodologia (WSDI6), porém, no litoral de São Paulo, verificando que há tendência positiva com relação aos dias consecutivos secos na respectiva região paulista. Enquanto Perkins, Alexander, Nairn (2012) discorrem e analisam, a partir do WSDI3, o aumento de eventos de onda de calor globalmente.

Conforme apresentado, nessa pesquisa utilizaremos o WSDI3 e o WSDI6, como definição de ondas de calor curto (WSDI3) e longo (WSDI6) período.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE TEMPORAL DOS DADOS OBSERVACIONAIS

No presente tópico, serão apresentadas as análises climáticas dos dados observacionais coletados ao longo do período de estudo (1961-2023). O objetivo é identificar e discorrer sobre as tendências climáticas ao longo do tempo na cidade de Vitória (ES), com foco nas alterações dos parâmetros de temperatura e precipitação.

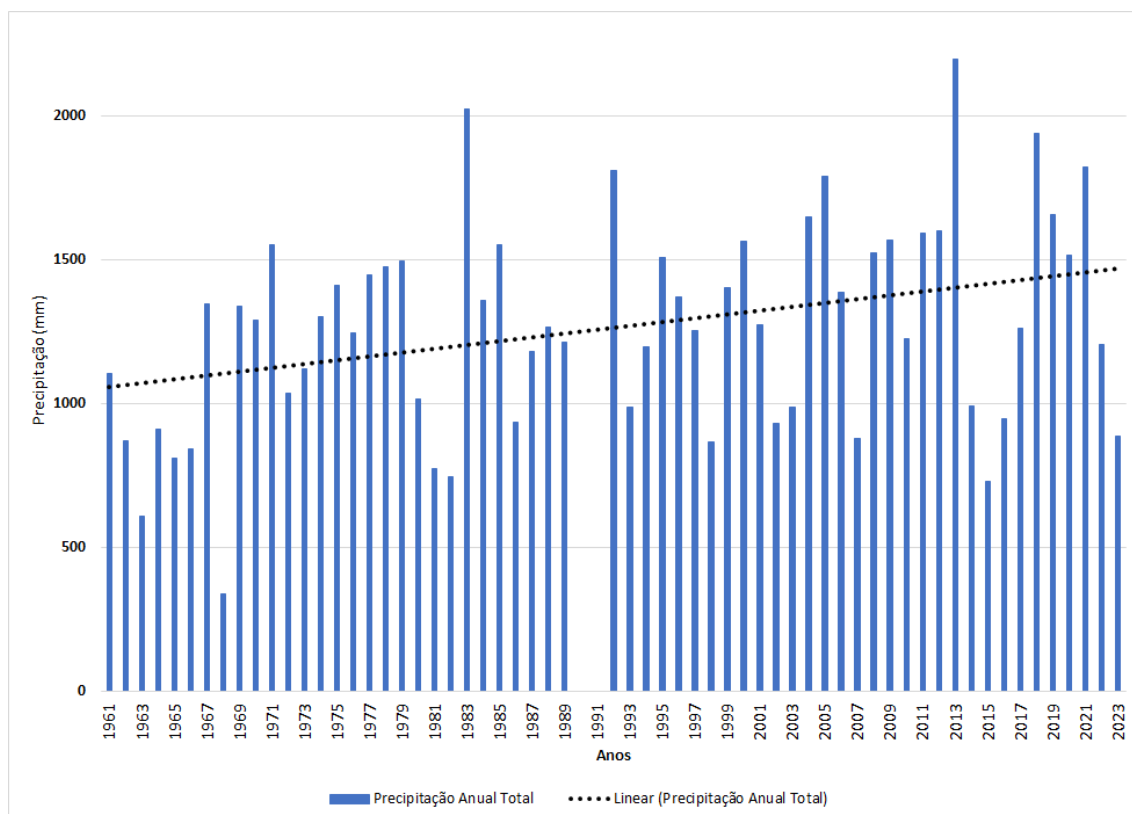
Não obstante, aplicaram-se os testes estatísticos de Mann-Kendall e Sen's Slope para verificar a existência significativa de tendências nas séries de precipitação e temperaturas máximas e mínimas. Além disso, busca-se depreender as variações sazonais, anuais e mensais que podem indicar mudanças climáticas na região durante esse recorte temporal para a cidade.

A seguir, serão expostos os resultados obtidos nesta pesquisa e, posteriormente, a contextualização e a análise crítica dos dados.

5.1.1 Precipitação

A precipitação total anual (mm) entre 1961 e 2023 para o município de Vitória é apresentada na Figura 2. A análise permite verificar a variabilidade da precipitação ao longo do tempo. Observa-se que o maior índice de precipitação ocorreu no ano de 2013, com 2194,6 mm, seguido do ano de 1983, com 2022,6 mm. Também verifica-se que os seguintes anos apresentaram considerável precipitação: 2018 (1939,6 mm), 2021 (1821,6 mm), 1992 (1810,8 mm), 2005 (1790,5 mm), 2019 (1655,3 mm) e 2004 (1649,9 mm), respectivamente. Decorre-se que os maiores volumes totais, em sua maioria, ocorreram no século XXI, com maior concentração na segunda metade do recorte temporal dessa análise (após o ano de 1991).

Figura 2: Precipitação Total Anual (mm) no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.



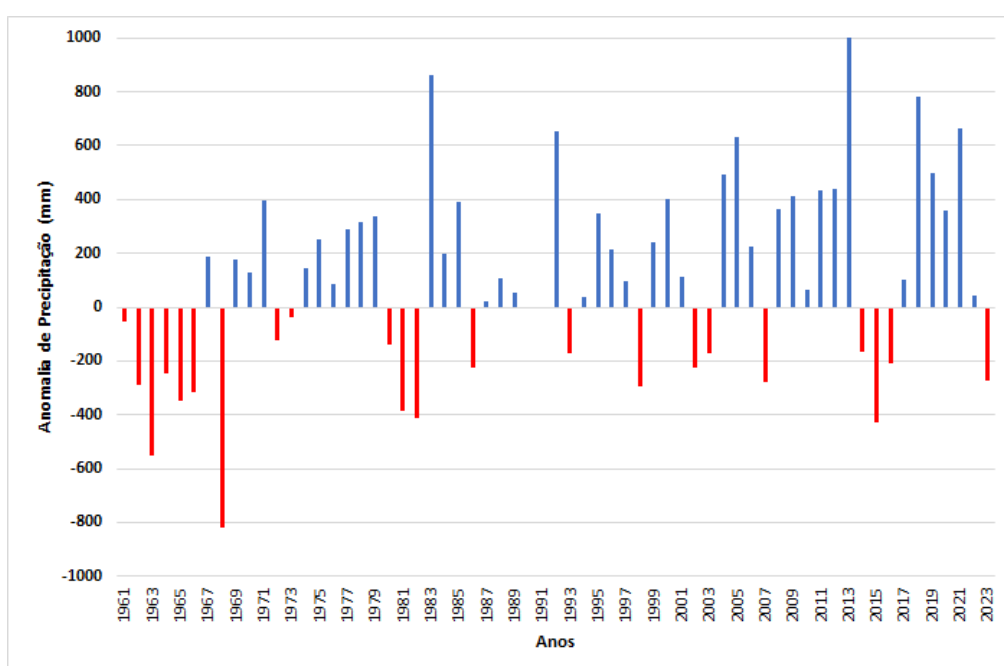
Os anos de 1983 e 1992 apresentaram elevados índices de precipitação. Esses coincidem com o fenômeno de El Niño de intensidade forte, que estiveram associados a anomalias positivas de precipitação no sudeste do Brasil. Esse resultado corrobora os achados de Correa (2011), Minuzzi *et al.* (2010), Marengo (2007), para Vitória, Região Sudeste do país e Brasil, respectivamente.

Destaque-se que o ano de 2013 não apresentou coincidência com o fenômeno de EL ou LN, indicando que outros modos de variabilidade podem ter influenciado na intensidade da ZCAS (Silva *et al.*, 2014). Porém, ainda não há nenhum estudo que explique a variabilidade da ZCAS em dezembro de 2013 e suas repercussões, sendo alvo para possíveis estudos futuros.

O menor índice anual de precipitação foi registrado no ano de 1968, com 338,3 mm, que coincide com o fenômeno de La Niña, de intensidade fraca. Os seguintes anos com menores valores foram: 1963 (606,9 mm), calha com fenômeno de El Niño de intensidade moderada, 2015 (728 mm), seguido dos anos de 1965 e 1966 com 810,9 mm e 842,1 mm, respectivamente, sendo, esses últimos três anos associados a eventos EN de intensidade forte.

A Figura 3 apresenta a anomalia anual de precipitação (mm) com base na normal climatológica de 1961-1990 no município de Vitória (ES). Nela é possível identificar as anomalias dos índices de precipitação a partir da média estabelecida (1158,37 mm). Os anos que apresentaram maiores índices foram, respectivamente: 2013 com 1036,23 mm acima da média, 1983 com 864,23 mm e 2018 com 781,23 mm, sendo que apenas os anos de 1983 e 2018 estão associados à ocorrência de EN forte, 2013 não esteve associado a nenhuma fase do ENOS. Enquanto a menor anomalia de precipitação ocorreu em 1968, com -820,06 mm, sendo esse um ano de transição entre LN e EN, ambos de intensidade fraca.

Figura 3: Anomalia Anual de Precipitação (mm) no município de Vitória (ES) em comparação com a normal 1961-1990.



A Figura 2 e a Tabela 4, permitem-nos verificar a tendência de aumento na precipitação total anual. De acordo com os dados, houve um aumento estatisticamente significativo da tendência nos anos analisados, com o p-valor de 0.0076. Durante esse período, a precipitação aumentou aproximadamente $7,3 \text{ mm}^{-1}/\text{ano}$, resultando em cerca de 445 mm no total de 61⁵ anos para o município de Vitória (ES), indicando que o clima da região pode estar se tornando mais úmido, corroborando os resultados de Regoto *et al.* (2018) e Correa *et al.* (2022).

⁵ O recorte temporal utilizado de 61 anos, como explicado no capítulo anterior, se refere à ausência dessas informações no banco de dados do INMET, onde só foi possível acessar todo o período para a análise de temperatura, enquanto para precipitação não se obteve os anos de 1990 e 1991.

Tabela 4: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de Precipitação Total Anual.

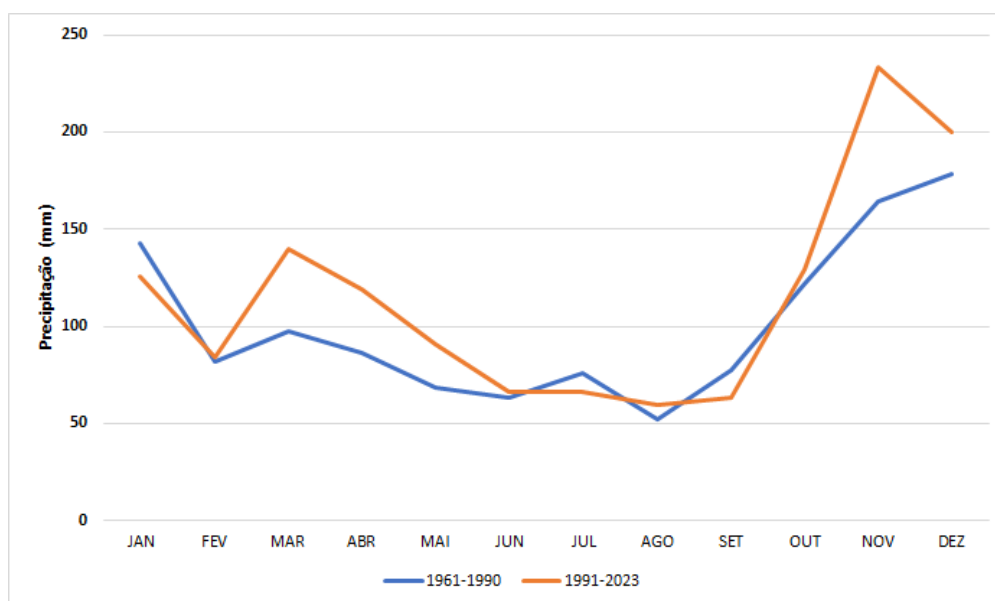
Série	Tendência	Tau de Kendall	p-valor	N (anos)
PRCPTOT	Aumento significativo	0.235	0.0076	61
Série	Tendência	Sen's Slope	p-valor	N (anos)
PRCPTOT	Aumento significativo	7.301754	0.0076	61

Os resultados obtidos por Correa (2011) não mostram tendência crescente ou decrescente na precipitação, ou seja, segundo sua análise, não houve aumento ou decréscimo nos valores de chuvas anuais no município de Vitória entre 1978 a 2007. Porém, tal análise se manifesta diferente do resultado aqui alcançado, devido aumento da série temporal, nos permitindo inferir que há uma tendência de aumento do volume da precipitação, isto é: estão aumentando cada vez mais os valores de chuvas anuais na capital capixaba.

As duas normais climatológicas que se referem à precipitação média mensal, durante o período de 1961-1990, e outra para o período de 1991-2023 no município de Vitória (ES), são apresentadas na Figura 4.

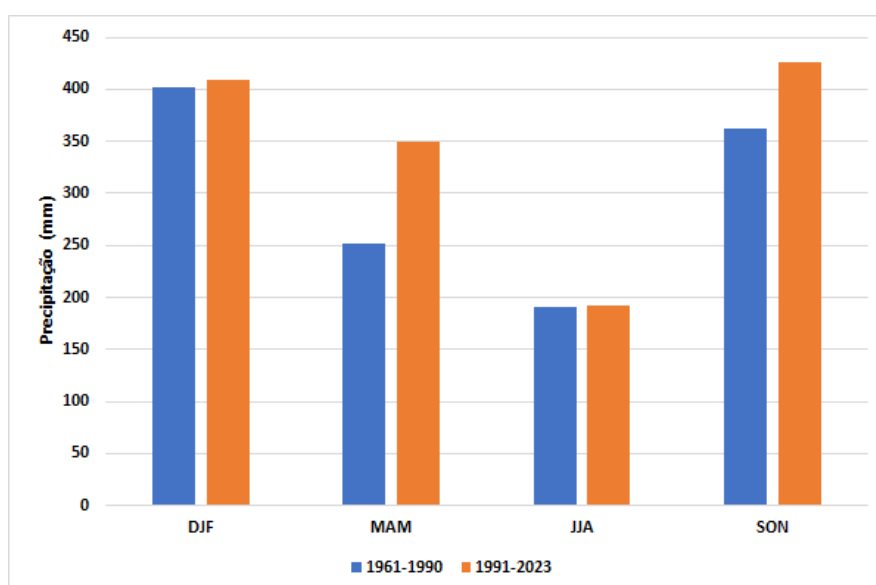
Observa-se que a linha para o período mais recente (1991-2023) (em laranja) apresenta majoritariamente os maiores valores de precipitação, em comparação ao período anterior (1961-1990) (em azul). Os meses de novembro, março e abril são os que apresentam as maiores diferenças entre as duas médias climatológicas. Janeiro, julho e setembro apresentam diferenças negativas entre os dois períodos comparados (1991-2023; 1961-1990).

Figura 4: Precipitação Total Anual no município de Vitória (ES) para as normais climatológicas de 1961-1990 e 1991-2023.



Ao analisar a Figura 5, nota-se as divisões das normais climatológicas separadas por estações anuais, ou seja, a média de todos os verões (DJF: dezembro, janeiro e fevereiro), outonos (MAM: março, abril e maio), invernos (JJA: junho, julho e agosto) e primaveras (SON: setembro, outubro e novembro) para o período de 1961-1990 em azul, e o mesmo se repete para o período de 1991-2023, porém na cor laranja.

Figura 5: Precipitação Total Anual no município de Vitória (ES) para as normais climatológicas de 1961-1990 e 1991-2023 divididas em estações do ano.



No entanto, observa-se que as principais mudanças estão presentes nas estações de outono e primavera, que se destacam por apresentar o aumento dos valores de

precipitação em relação às duas normais climatológicas. Para o outono, houve um aumento de 98,06 mm, e para a primavera, 62,98 mm. Ao passo em que vemos um leve incremento para o inverno, com apenas +0,57 mm, enquanto no verão de 7,56 mm.

Portanto, pode-se depreender que todas as estações climatológicas, para o período de 1991-2023, apresentaram aumento nas precipitações em comparação à normal de 1961-1990, isto é, em todas as estações do ano têm chovido mais.

As pesquisas de Regoto *et al.* (2018) e Correa *et al.* (2022) corroboram com os resultados apresentados aqui, sendo tais autores observam que a precipitação tem aumentado no estado do Espírito Santo, assim como nas regiões sudeste e sul do Brasil. Além disso, o aumento da precipitação, sobretudo na primavera, causado pelo deslocamento da ZCAS mais para o sul da sua posição climatológica (Zilli; Carvalho; Lintner, 2019).

5.1.2 Temperatura

Nesta subseção serão analisados o comportamento anual, sazonal e mensal da temperatura do ar ao longo do período estudado, a fim de identificar possíveis tendências, variações e alterações climáticas no município de Vitória (ES). Para isso, são apresentados gráficos que ilustram, com base nos dados fornecidos pelo INMET e analisados posteriormente na pesquisa, a evolução temporal das temperaturas máximas e mínimas na capital capixaba.

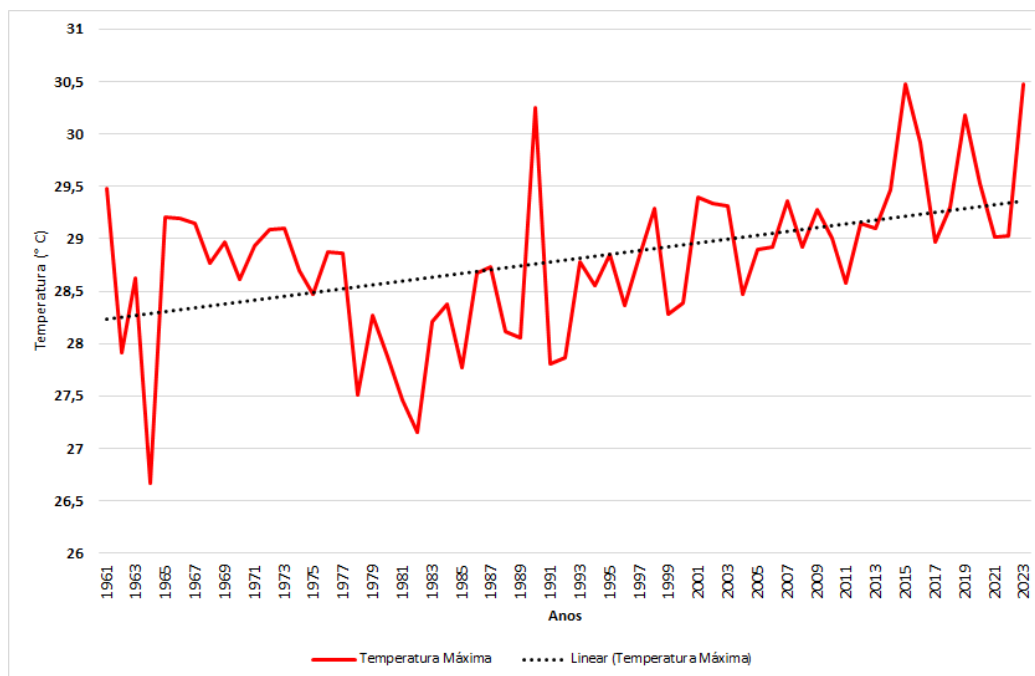
5.1.2.1 Temperatura máxima

A temperatura do ar máxima média anual para o município de Vitória, a partir do período em evidência (1961-2023), é apresentada na Figura 6. A análise mostra a variabilidade da temperatura máxima com o passar dos anos. Entre o período analisado, cabe destacar que os anos de 1990, 2015, 2019 e 2023 apresentaram os maiores valores de temperaturas: 30,24 °C, 30,47 °C, 30,18 °C e 30,47 °C, respectivamente. Sendo o ano de 2023 o mais quente registrado em toda a série temporal. Dentre esses anos, os que tiveram influência de EN foram 2015-16, 2019 e 2023 com intensidade forte do fenômeno no Brasil, enquanto 1990 não esteve associado a EN.

O ano de 2023, particularmente, foi registrado como o ano mais quente globalmente na história da humanidade, sendo que a temperatura média da superfície global ficou 1,4°C acima da média histórica de 1850-1990 (OMM, 2024). No Brasil, também foram registradas as temperaturas mais elevadas, ficando 0,69° C acima do período histórico (1981-2020) (INMET, 2024). Tanto a OMM (2024) quanto o INMET (2024) afirmam que

o recorde registrado na temperatura global em 2023 esteve relacionado à combinação das mudanças climáticas globais impulsionadas pela humanidade, bem como pelo fenômeno El Niño de intensidade forte.

Figura 6: Temperatura Máxima Média Anual no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.

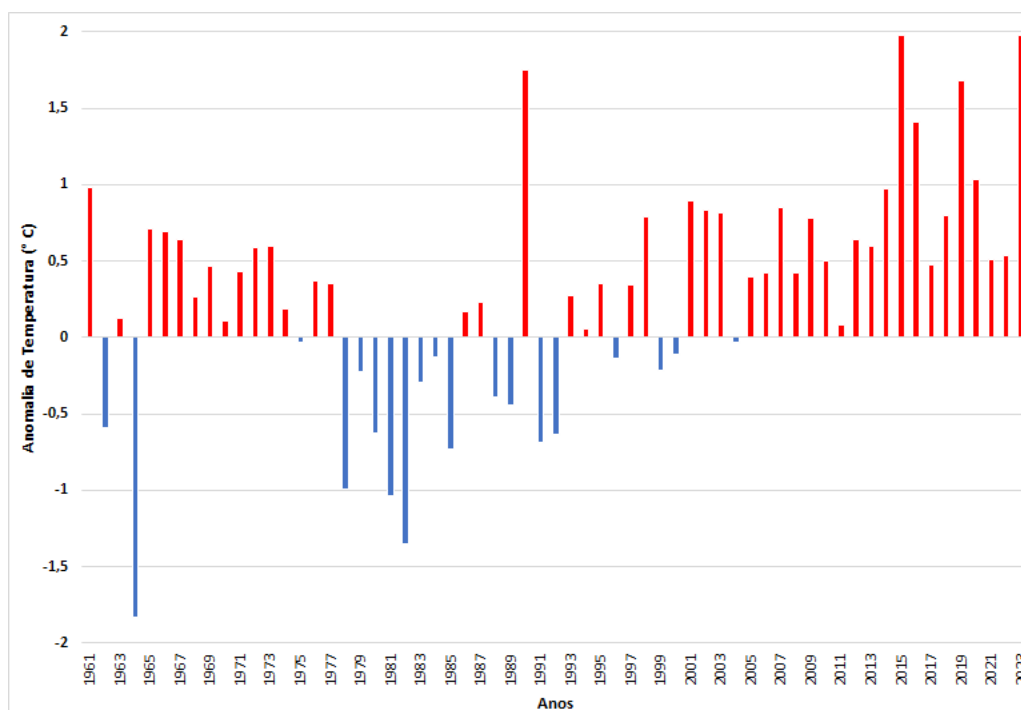


Entre 1961 e 2023, 1964 foi o ano em que foi registrada a menor temperatura máxima do ar, com 26,66 °C, seguido pelos anos de 1978 (27,51 °C), 1981 (27,46 °C), 1982 (27,15 °C), 1985 (27,76 °C), 1991 (27,81 °C) e 1992 (27,86 °C), sendo 1992 o último ano a apresentar a temperatura máxima abaixo de 28 °C no município de Vitória. A partir disso, vemos as temperaturas aumentarem gradativamente até 2023, quando é registrada a maior temperatura máxima registrada em toda a série considerada (1961-2023). Kayano *et al.* (2016), relatam que a intensidade dos eventos de EN, concomitantemente com as temperaturas do ar, aumentou ao longo do período de 1982-2010, enquanto a intensidade e frequência de eventos de LN vêm diminuindo. Kayano *et al.* (2016) relatam a possível relação entre o aumento do número de eventos de EN e o aumento da temperatura do ar paralelamente, impulsionada pelo aumento de GEE na atmosfera.

A Figura 7 apresenta a anomalia anual de temperatura máxima com base na normal climatológica de 1961-1990 no município de Vitória (ES). Nela é possível identificar as variações dos índices de temperatura máxima a partir da média estabelecida (28,5 °C). Os anos que apresentaram maiores índices foram, respectivamente: 2023, com 1,97 °C acima da média, sendo esse o ano com maior anomalia durante toda pesquisa, em

seguida de 2015 com 1,97 °C e 1990 com 1,74 °C. A menor anomalia de temperatura máxima do ar é representada no ano de 1964, com -1,83 °C, ocorrendo nesse ano um EN de intensidade moderada. Observa-se que, a partir do ano de 2004, todas as anomalias foram positivas, isto é, as temperaturas máximas do ar têm ficado acima da média relativa a 1961-1990.

Figura 7: Anomalia Anual de Temperatura Máxima (° C) no município de Vitória (ES) em comparação com a normal 1961-1990.



A Tabela 5, em consonância com a Figura 6, mostra a tendência de aumento da temperatura do ar máxima média anual para a capital capixaba. Esse aumento da tendência é estatisticamente significativo nos anos analisados (1961-2023), segundo o teste de Mann-Kendall e Sen's Slope, com o p-valor igual a 0,0006 em ambos os casos. Durante esse período, a temperatura máxima média do ar aumentou aproximadamente 0,016 °C/ano, resultando em cerca de 1 °C no total dos 63 anos considerados para o município de Vitória.

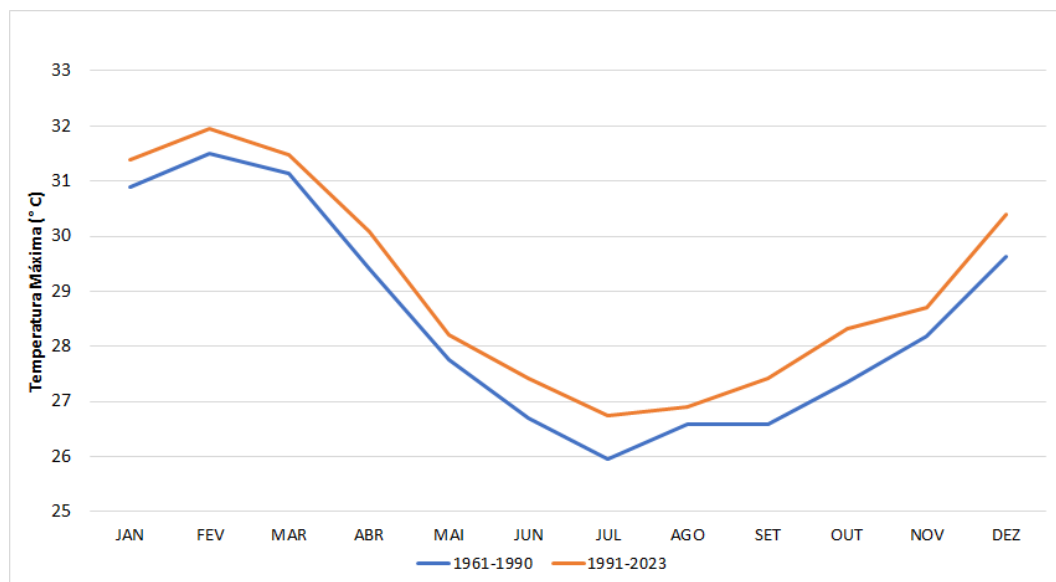
Tabela 5: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de Temperatura Máxima Média.

Série	Tendência	Tau de Kendall	p-valor	N (anos)
Tmax	Aumento significativo	0.299	0.0006	63
Série	Tendência	Sen's Slope	p-valor	N (anos)
Tmax	Aumento significativo	0.01577306	0.0006	63

A Figura 8 mostra as duas normais climatológicas da temperatura do ar máxima mensal, divididas em cerca de 30 anos cada uma delas, para o período de 1961-1990 (linha

azul), e para o período de 1991-2023 (linha laranja), sendo referida pelos doze meses do ano. É possível observar que, durante o período de 1991-2023, todos os meses apresentaram valores médios mensais maiores do que o período anterior (1961-1990).

Figura 8: Temperatura Máxima Média no município de Vitória (ES) para as normais climatológicas de 1961-1990 e 1991-2023.



A maior variação ocorre no mês de outubro, que apresentou um aumento de 0,99 °C em comparação de 1961-1990, seguido dos meses de setembro com +0,84 °C, julho (+0,80 °C), dezembro (+0,77 °C), junho (+0,73 °C), abril (+0,67 °C), janeiro (+0,51 °C), novembro (+0,50 °C), fevereiro (+0,46 °C), maio (+0,45 °C), março (+0,34 °C) e agosto (+0,32 °C), conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6: Diferença da Temperatura Máxima Média Total para as duas normais climatológicas e suas variações em Vitória(ES).

Normal	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961-1990	30,8	31,4	31,1	29,4	27,7	26,6	25,9	26,5	26,5	27,3	28,1	29,6
1991-2023	31,3	31,9	31,4	30,0	28,2	27,4	26,7	26,9	27,4	28,3	28,6	30,4
Diferença	0,51	0,46	0,34	0,67	0,45	0,73	0,80	0,32	0,84	0,99	0,50	0,77

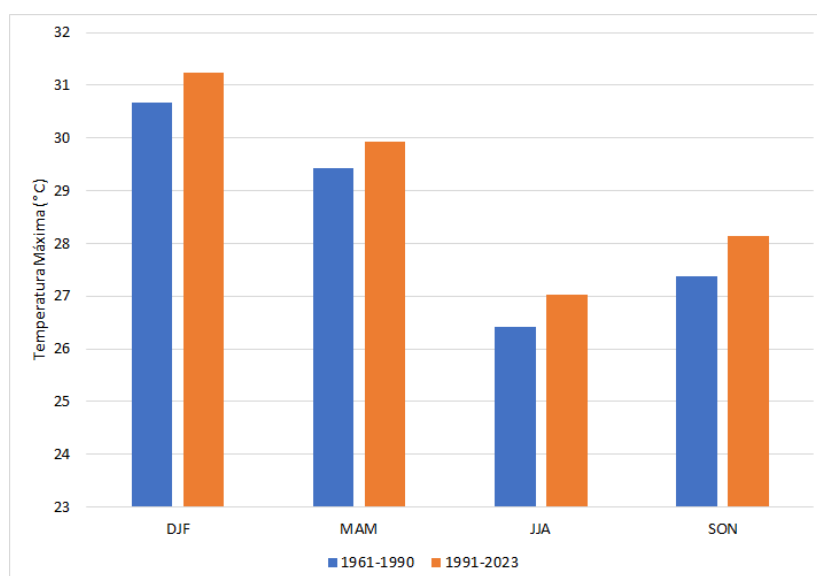
Contudo, pode-se afirmar que todos os meses, desde 1991 até 2023, apresentaram aumento de temperatura máxima média em comparação com o período de 1961-1990. Assim, apesar de estar chovendo mais ao longo dos últimos 63 anos e, ficando as condições de tempo mais associadas a maior umidade, a temperatura máxima do ar também apresenta aumento no período.

Autores como Costa *et al.* (2025) afirmam que a relação entre temperatura do ar e precipitação são fatores interligados, sendo a quantidade de vapor d'água na atmosfera,

proporcional à temperatura do ar e, conseqüentemente, pode-se intensificar padrões de chuva mais intensos. Outrossim, o artigo revela a elevação das temperaturas máximas e mínimas em todo o Brasil, incluindo a Região Sudeste, e destaca que as mudanças climáticas tendem a aumentar a frequência de eventos de chuvas extremas, ao mesmo tempo em que as temperaturas continuam a subir.

A Figura 9 expõe as divisões das normais climatológicas separadas por estações anuais, ou seja, a média de todos os verões (DJF: dezembro, janeiro e fevereiro), outonos (MAM: março, abril e maio), invernos (JJA: junho, julho e agosto) e primaveras (SON: setembro, outubro e novembro) para o período de 1961-1990 em azul, e o mesmo se repete para o período de 1991-2023, porém na cor laranja.

Figura 9: Temperatura Máxima Média no município de Vitória (ES) para as normais climatológicas de 1961-1990 e 1991-2023 divididas em estações do ano.

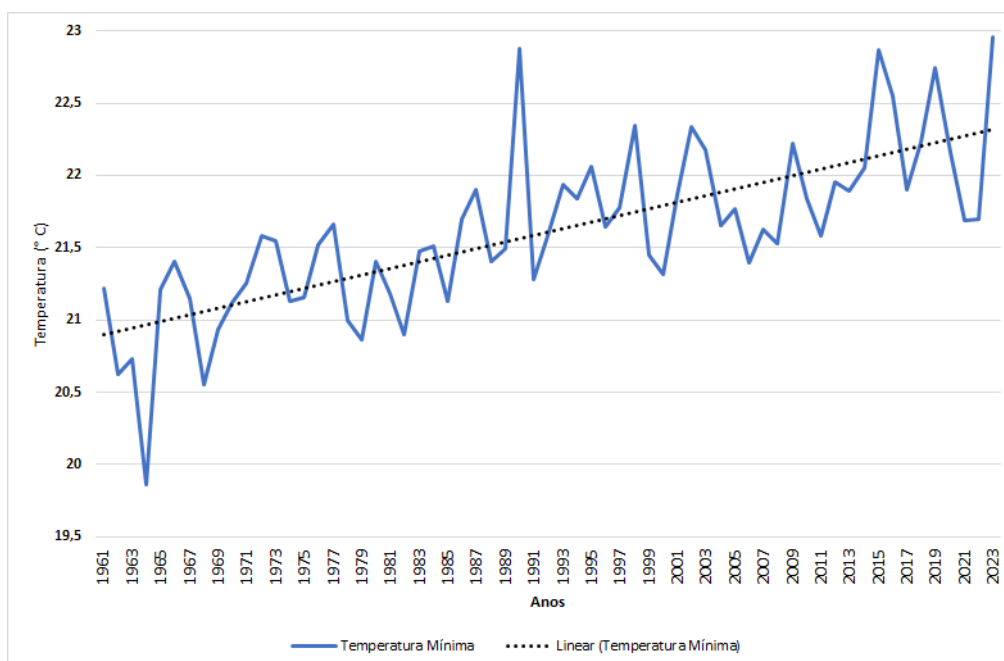


A despeito disso, no gráfico é evidenciado, a partir de todas as colunas laranja, que há um aumento das temperaturas máximas do período de 1991-2023 em todas as estações do ano. Dialogando com o tópico anterior, onde vemos todos os meses com alteração positiva em relação à normal climatológica. Entretanto, é possível observar que a primavera apresentou a maior variação dentre todas as estações, indicando o maior desvio positivo, com 0,78 °C, seguido do inverno (+0,62 °C), verão (+0,58 °C) e outono (+0,49 °C).

5.1.2.2 Temperatura mínima

A variabilidade da temperatura do ar mínima média anual em Vitória (ES) ao longo do período de 1961 a 2023 é apresentada na Figura 10. Verifica-se que o maior valor de temperatura mínima do ar ocorre em 2023, reforçando a tendência de aquecimento já tecida no tópico anterior ao se discutir o comportamento da temperatura máxima média anual, que também apresentou sua maior temperatura no mesmo ano. Além disso, assim como 1964 também apresentou a menor temperatura máxima, esse mesmo ano também se destaca por apresentar a menor temperatura mínima, conciliando tanto as maiores quanto as menores temperaturas em anos semelhantes.

Figura 10: Temperatura Mínima Total Anual no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.



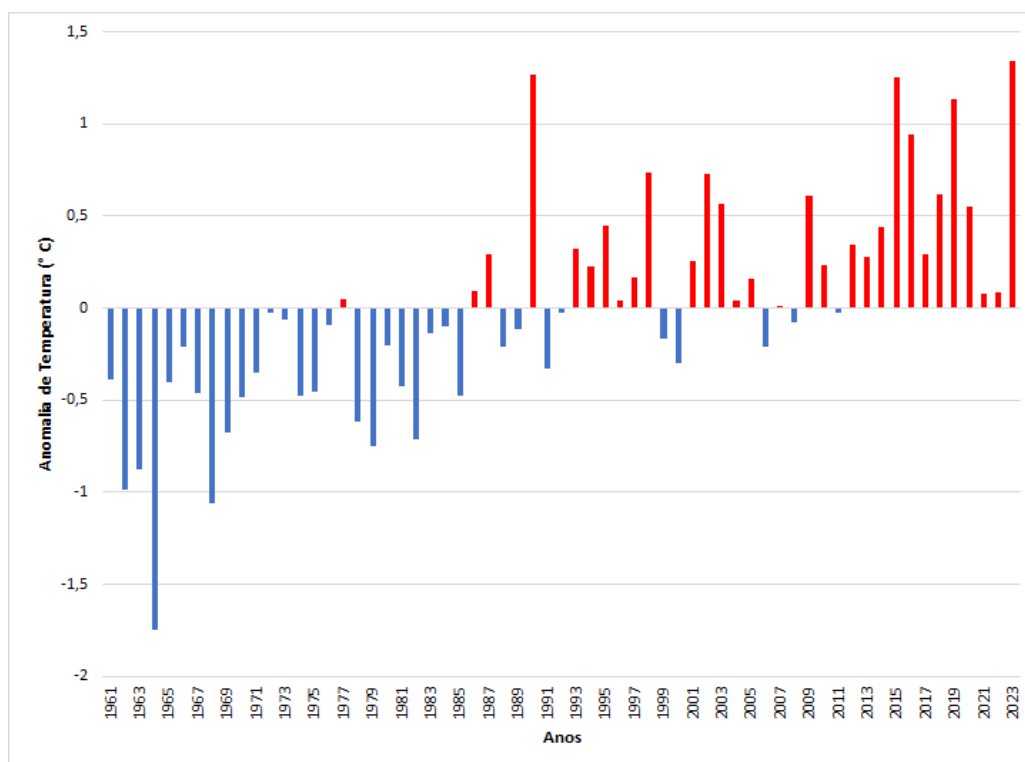
No último ano analisado (2023), a temperatura mínima atingiu seu maior índice com 22,95 °C, seguida de 1990 com 22,87 °C, 2015 (22,86 °C) e 2018 (22,74 °C), sendo essas as maiores temperaturas mínimas desta análise, respectivamente. Estes anos possuem certa conformidade com as temperaturas máximas, discutidas no tópico anterior, apenas mudando de 2019 (Tmax) para 2018 (Tmin).

Conforme discutido na subseção 5.2.2.1, nos anos de 2023, 2015 e 2018-19, houve a influência do fenômeno El Niño de intensidade forte. Isso significa que as temperaturas do ar dos anos citados podem ter sido aumentadas devido a essas condições climáticas e o aquecimento global (OMM, 2024; INMET, 2024).

As menores temperaturas mínimas são registradas para os anos de 1964 com 19,86 °C, 1968 (20,55 °C), 1979 (20,86 °C) e 1982 (20,89 °C), sendo este o último ano a ter sua temperatura mínima abaixo de 21 °C na capital capixaba. Na sequência, vemos apenas as temperaturas mínimas crescendo anualmente. Para esse período, os únicos anos que podem ter tido a influência de fenômenos climáticos remotos, foram 1964 e 1968 com La Niña de intensidade moderada, e 1982 com efeito de El Niño apenas a partir da segunda metade do ano.

A Figura 11 apresenta a anomalia anual de temperatura mínima com base na normal climatológica de 1961-1990 no município de Vitória (ES). Nela é possível identificar as variações dos valores de temperatura mínima a partir da média estabelecida (21,6 °C). Os anos que apresentaram maiores índices foram, respectivamente: 2023 com 1,34 °C acima da média, sendo esse, assim como para temperatura máxima, o ano com maior anomalia durante toda pesquisa, seguido de 1990 com 1,26 °C e 2015 com 1,25 °C, esses últimos dois trocaram de posição com a analogia anterior para Tmax, indicando que permanecem os três anos com maiores anomalias para as duas análises. Enquanto a menor anomalia de temperatura mínima é representada no ano de 1964, com -1,74 °C, permanecendo assim como na temperatura máxima o ano com anomalia mais abaixo da média.

Figura 11: Anomalia Anual de Temperatura Mínima (° C) no município de Vitória (ES) em comparação com a normal 1961-1990.



Observa-se que, a partir do ano de 2011, todas as anomalias foram positivas, isto é, as temperaturas mínimas têm ficado acima da média avaliada desde então. Mesmo sendo um baixo índice, com apenas $-0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ no ano de 2011, vemos as temperaturas mínimas estarem há cerca de 13 anos seguidos acima da média.

A análise da Tabela 7, em consonância com a Figura 9, permite verificar a tendência de aumento na temperatura mínima anual para a capital capixaba. Portanto, o aumento da temperatura foi estatisticamente significativo nos anos analisados, segundo o teste de Mann-Kendall com o p-valor de $8.663\text{e-}11$ e Sen's Slope. Durante esse período, a temperatura mínima aumentou aproximadamente $0,021\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, resultando em cerca de $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ no total de 63 anos para o município de Vitória (ES). Contudo, pode-se afirmar que as temperaturas apresentam tendência crescente, tanto na máxima quanto na mínima, ao longo dos anos analisados para a cidade.

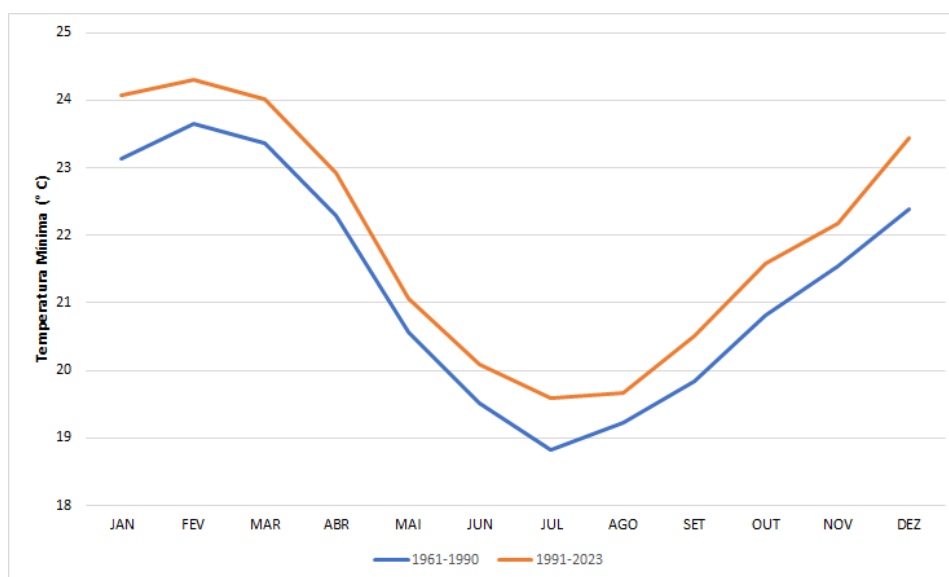
Tabela 7: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de Temperatura Mínima Média.

Série	Tendência	Tau de Kendall	p-valor	N (anos)
Tmin	Aumento significativo	0.561	0.000	63
Série	Tendência	Sen's Slope	p-valor	N (anos)
Tmin	Aumento significativo	0.021612	$8.663\text{e-}11$	63

A Figura 12 mostra as duas normais climatológicas, uma para o período de 1961-1990, apresentada em linha azul, e outra para o período de 1991-2023, apresentada na linha laranja, que se referem à temperatura mínima média mensal no município de Vitória (ES).

A análise da Figura 12 evidencia que a linha para o período de 1991-2023 apresenta para todos os meses os maiores valores de temperatura mínima, se estabelecendo sempre acima do período comparado, que apresenta menores temperaturas. A maior variação da temperatura mínima se refere ao mês de dezembro, com um aumento de $1,04\text{ }^{\circ}\text{C}$, em comparação a normal climatológica. Posteriormente, destacam-se em seguida, os meses (1991-2023) que tiveram os maiores incrementos, respectivamente: janeiro, com um acréscimo de $0,94\text{ }^{\circ}\text{C}$, outubro ($+0,77\text{ }^{\circ}\text{C}$), julho ($+0,74\text{ }^{\circ}\text{C}$), setembro ($+0,67\text{ }^{\circ}\text{C}$), fevereiro ($+0,653\text{ }^{\circ}\text{C}$), março ($+0,650\text{ }^{\circ}\text{C}$), novembro ($+0,63\text{ }^{\circ}\text{C}$), abril ($+0,62\text{ }^{\circ}\text{C}$), junho ($+0,57\text{ }^{\circ}\text{C}$), maio ($+0,49\text{ }^{\circ}\text{C}$) e, por último, agosto ($+0,44\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Figura 12: Temperatura Mínima Mensal no município de Vitória (ES) para as normais climatológicas de 1961-1990 e 1991-2023.



As diferenças térmicas podem ser observadas na Tabela 8:

Tabela 8: Diferença da Temperatura Mínima Média Mensal para as duas normais climatológicas e suas variações em Vitória (ES).

Normal	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961-1990	23,1	23,6	23,3	22,3	20,5	19,5	18,8	19,22	19,8	20,8	21,5	22,3
1991-2023	24,0	24,3	24,0	22,9	21,0	20,0	19,5	19,6	20,5	21,5	22,1	23,4
Diferença	0,94	0,65	0,65	0,62	0,49	0,57	0,74	0,44	0,67	0,77	0,63	1,04

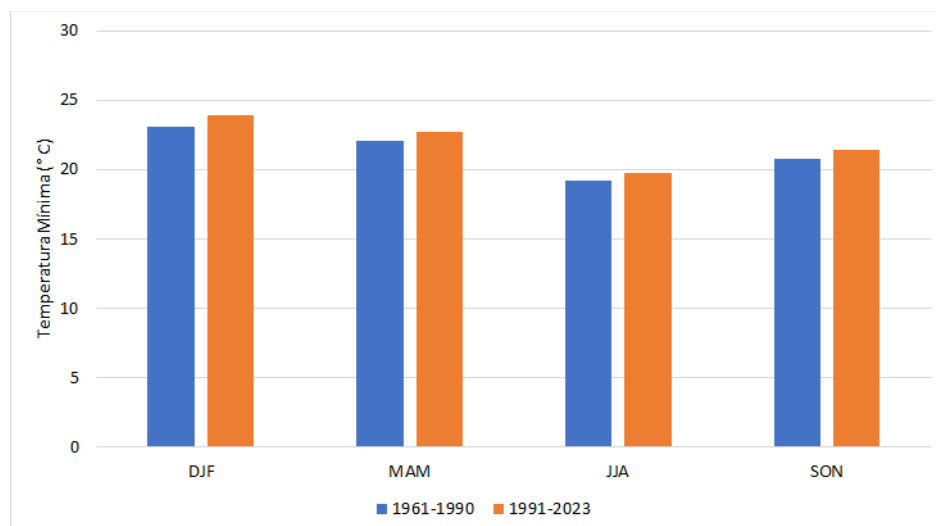
Contudo, afirma-se que todos os meses, desde 1991 até 2023, apresentaram aumento de temperatura mínima em comparação com o período de 1961-1990, apesar de haver variações menores em alguns meses e maiores em outros, todos sofreram desvio positivo. Tal afirmação destaca que, assim como a temperatura máxima, a capital capixaba apresenta aumento em sua temperatura mínima concomitantemente.

Segundo autores como Marengo (2009), Natividade, Garcia, Torres (2017), Regoto *et al.* (2018) e Costa *et al.* (2025), as noites, na maioria do território brasileiro, têm ficado mais quentes, corroborando com os achados dessa pesquisa, onde a temperatura mínima tem aumentado no município de Vitória.

A Figura 13 apresenta as normais climatológicas distribuídas por estações do ano, correspondentes às médias de todos os verões (DJF: dezembro, janeiro e fevereiro),

outonos (MAM: março, abril e maio), invernos (JJA: junho, julho e agosto) e primaveras (SON: setembro, outubro e novembro) para o período de 1961-1990, representado nas colunas em azul. A mesma divisão é apresentada para o período de 1991-2023, indicado pelas colunas na cor laranja.

Figura 13: Temperatura Mínima Média no município de Vitória (ES) para as normais climatológicas de 1961-1990 e 1991-2023 divididas em estações do ano.



A análise da Figura 13 também evidencia que, em todas as estações, as temperaturas mínimas apresentaram valores superiores entre 1991 e 2023 em relação ao período de 1961-1990. Isso indica que as temperaturas mínimas, assim como as máximas, sazonalmente, também estão aumentando na capital capixaba. Posto isso, a estação que apresentou maior variação na temperatura mínima foi o verão, com um desvio positivo de 0,88 °C, seguida da primavera, com um aumento de 0,69 °C, e outono e inverno, ambos com +0,59 °C em suas médias, ou seja, as noites no verão e na primavera estão mais quentes.

5.2 INDICADORES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

No presente tópico, serão apresentadas as análises referentes aos indicadores de extremos climáticos calculados para o período de 1961 a 2023, com o intuito de identificar a evolução dos eventos extremos de precipitação e temperatura no município de Vitória (ES), bem como os testes estatísticos de Mann-Kendall e Sen's Slope, a fim de verificar a presença e a intensidade de tendências no período analisado. Tal investigação abrange parâmetros específicos para chuvas, como CDD (número máximo de dias consecutivos sem chuva no ano), RX1day (maior total diário de chuva) e RX5day

(maior total acumulado de chuva em cinco dias consecutivos). Ao passo que para temperatura, serão abordados Tx (temperatura máxima anual), Tn (temperatura mínima anual) e os índices de ondas de calor WSDI3 e WSDI6, que indicam eventos de três e seis dias consecutivos com temperaturas elevadas.

5.2.1 Extremos Climáticos de Precipitação

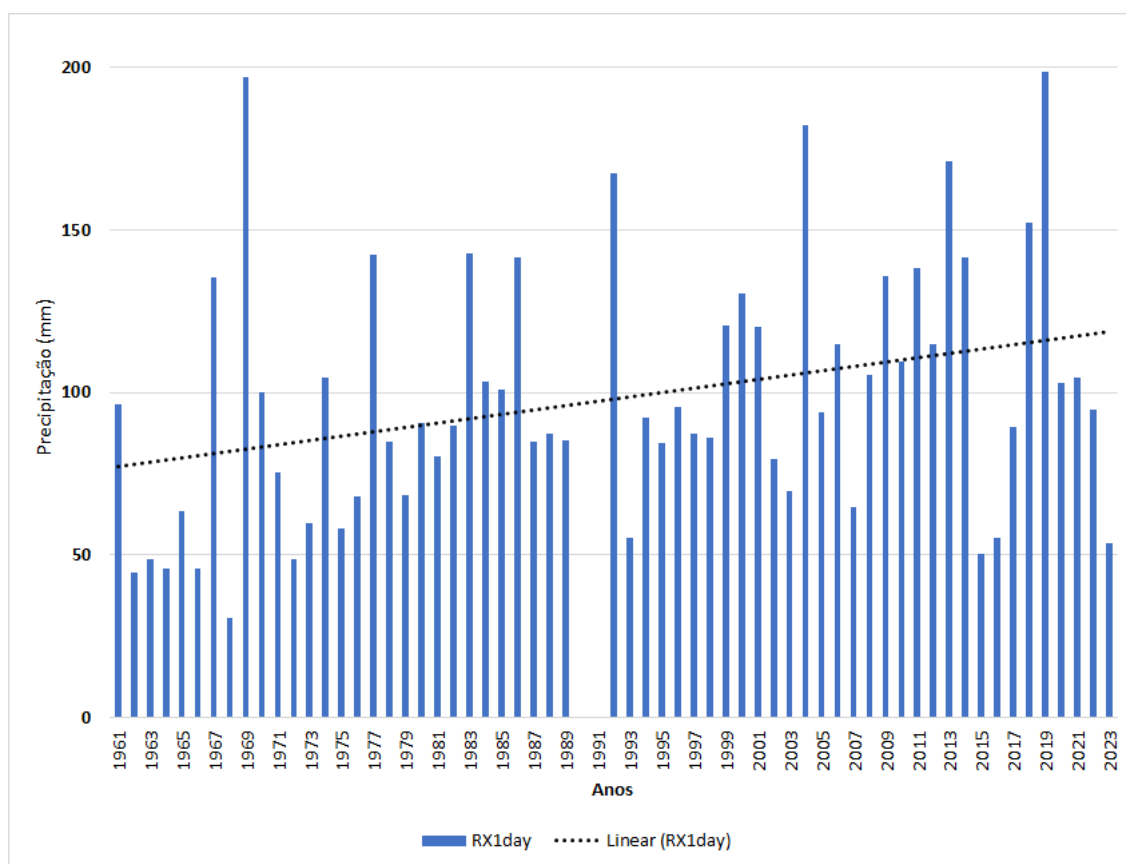
A seguir, serão analisados os resultados obtidos referentes aos extremos climáticos de precipitação, RX1day, RX5day e CDD.

5.2.1.1 RX1day

A variação da precipitação (mm) máxima total em apenas um dia (Rx1) no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023 é apresentada na Figura 12.

Os anos que registraram os maiores índices de precipitação em um dia foram 2019 com o total de 198,6 mm, seguido do ano de 1969, com 196,9 mm, 2004 (182,2 mm), 2013 (171,2 mm), 1992 (167,6 mm) e 2018 (152,4 mm). Enquanto os anos que apresentaram os menores índices foram 1968 com 30,4 mm, posteriormente 1962 com 44,5 mm, 1966 (45,8 mm), 1964 (46 mm), 1972 (48,6 mm) e 1963 (48,8 mm). Os maiores valores registrados de RX1 estão no segundo recorte temporal (1991-2023), indicando uma recorrência mais frequente desse tipo de evento.

Figura 14: Precipitação Máxima Total em um dia – Rx1day no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.



A análise dos dados de RX1day a partir da Figura 14 e da Tabela 9 apresenta uma tendência positiva durante o recorte temporal analisado, evidenciando o aumento dos eventos extremos de precipitação em um dia. Isso indica que as precipitações em 24 horas têm se tornado mais recorrentes, ou mais extremas. Tal evento de precipitação é substancialmente responsável por transtornos diretos à população, como alagamentos, deslizamentos de encosta e outros danos que provocam perdas materiais e vidas. O resultado ora verificado corrobora os resultados encontrados por Alexander *et al.* (2006) e OMM (2009), onde verificaram que os eventos de RX1day estão aumentando.

Tabela 9: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de RX1day.

Série	Tendência	Tau de Kendall	p-valor	N (anos)
RX1day	Aumento significativo	0.262	0.0029	61
Série	Tendência	Sen's Slope	p-valor	N (anos)
RX1day	Aumento significativo	0.8540616	0.0029	61

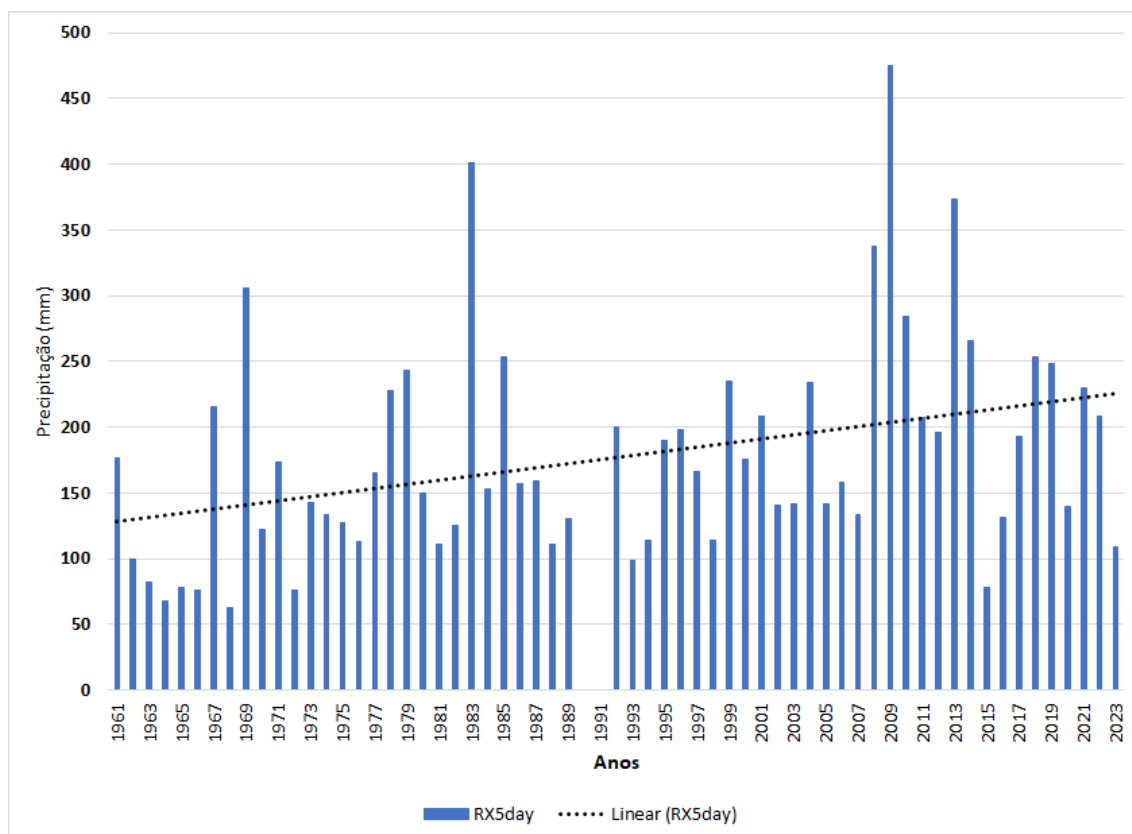
A Tabela (9) aponta a tendência de aumento na precipitação máxima em um dia para a capital capixaba. Esse aumento da tendência é estatisticamente significativo para os anos analisados, segundo os testes de Mann-Kendall e Sen's Slope, com o p-valor igual

a 0.0029 em ambos os casos. Durante o período de 1961 a 2023, o RX1day aumentou aproximadamente 0,85 mm/ano, resultando em cerca de 52 mm no total de 61 anos para o município de Vitória (ES). Logo, a precipitação máxima em um dia aumentou 52 mm em comparação ao início da série histórica.

5.2.1.2 RX5day

A precipitação máxima total acumulada em cinco dias consecutivos, RX5day, (mm) no município de Vitória (ES), para o período de 1961 até 2023, é apresentada na Figura 15. Os anos que apresentaram maiores índices para a presente análise foram, respectivamente: 2009 com 475,3 mm; 1983 com 401,4 mm; 2013 com 373,9 mm; 2008 com 337,5 mm; 1969 com 306,2 mm e 2010 com 284,5 mm. Enquanto os anos que apresentaram menores índices foram: 1968 com 63,1 mm; 1964 com 67,4 mm; 1966 com 76,1 mm; 1972 com 76,3 mm; 1965 com 77,6 mm e 2015 com 77,7 mm, sendo este último, o único ano com precipitação acumulada em cinco dias menor que 100 mm no século XXI. Mais uma vez, evidenciando que os extremos têm se tornado mais comuns a partir dos anos 1990.

Figura 15: Precipitação Máxima Total acumulada em cinco dias – Rx5day no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.



A precipitação máxima anual acumulada em cinco dias apresenta cada vez maiores valores de RX5day em Vitória. Essas podem deflagrar vários transtornos à população, como enchentes, alagamentos, desligamento de massa, entre outros. Eventos como esse também têm se tornado cada vez mais comuns no Brasil e na Região Sudeste, como aponta Zilli *et al.* (2016). A pesquisa Regoto *et al.* (2018) afirma que os padrões apresentados de RX5day exibem uma tendência geral positiva na maioria das regiões do Espírito Santo.

Em consonância com a Figura 15 e a Tabela 10, observa-se um aumento na linha de tendência durante o recorte temporal analisado, isto é, a capital capixaba apresenta um crescimento pluviométrico (mm) acumulado em cinco dias, evidenciando que as precipitações em um período curto, têm contribuído para o total mensal. Segundo a Tabela abaixo (10), esse aumento da tendência é estatisticamente significativo de 1961 a 2023, a partir dos testes de Mann-Kendall e Sen's Slope, com o p-valor igual a 0.0018 em ambos os casos. Durante esse período, o RX5day aumentou aproximadamente 1,63 mm/ano, resultando em cerca de 99 mm no total de 61 anos para o município de Vitória (ES). Logo, a precipitação máxima em cinco dias consecutivos aumentou quase em 100 mm em comparação ao início da série histórica.

Tabela 10: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de RX5day.

Série	Tendência	Tau de Kendall	p-valor	N (anos)
RX5day	Aumento significativo	0.274	0.0018	61
Série	Tendência	Sen's Slope	p-valor	N (anos)
RX5day	Aumento significativo	1.635248	0.0018	61

A pesquisa de Zilli *et al.* (2016) indica que o clima na Região Sudeste está se tornando mais úmido devido principalmente ao aumento da precipitação acumulada nos eventos de chuvas extremas e devido à sua maior frequência de ocorrência. Os resultados observados por Zilli *et al.* (2016) corroboram com os dados apresentados na presente pesquisa, tendo em vista o desvio positivo para RX1day, RX5day e a precipitação total anual analisada no tópico anterior.

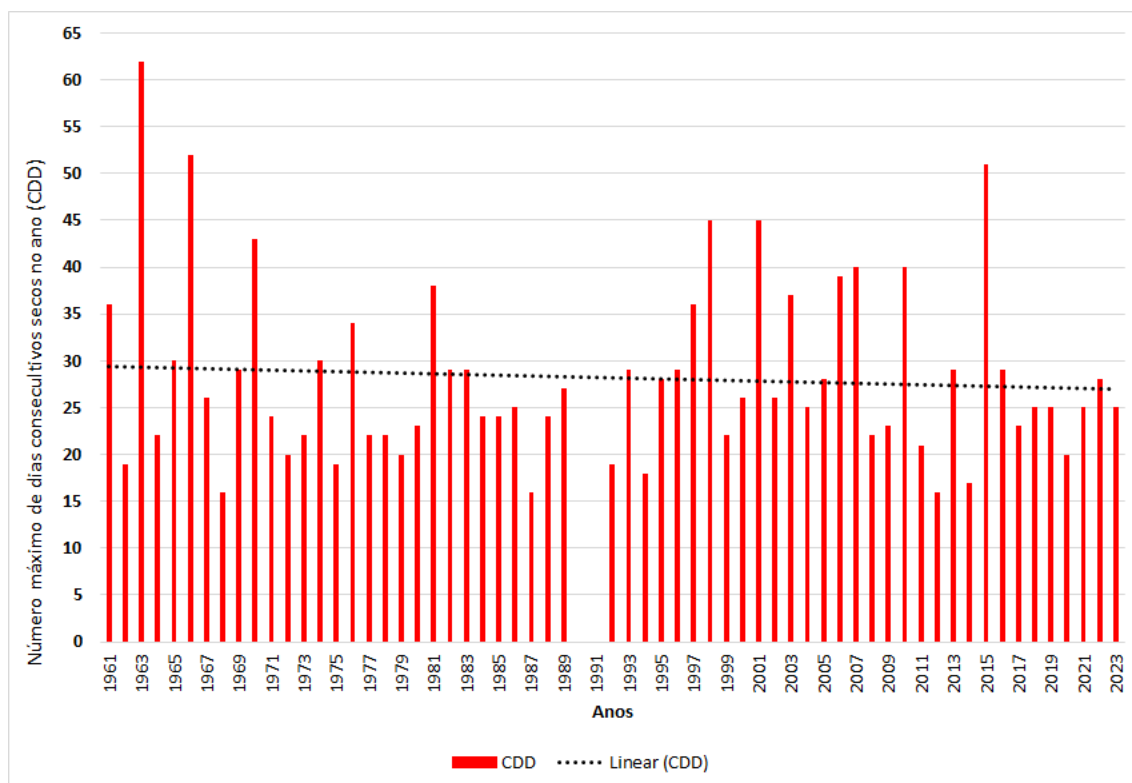
5.2.1.3 CDD

O número máximo de dias consecutivos secos (com precipitação menor que 1 mm) (CDD) para o período em evidência (1961-2023), no município de Vitória (ES), pode ser observado com base na Figura 16.

Os dados de CDD apresentam uma variação aparentemente negativa na linha de tendência, isto é, os números de máximos de dias consecutivos secos não demonstraram aumento na análise. Essa depreensão reflete que, ao passo que vemos as temperaturas aumentarem e influenciar na frequência e intensidade das chuvas, os dias consecutivos secos, aparentemente, diminuem. Segundo Regoto *et al.* (2018), a redução do CDD para o estado capixaba é menor nas áreas serranas e também próximo ao litoral, devido à brisa marítima e à convergência dos ventos úmidos junto à costa que promovem o aumento de nebulosidade com ocorrência de precipitação ao longo do ano.

Os anos em destaque que podem ser observados são: 1963 com 62 dias consecutivos secos (esse valor apresenta um desvio significativo do padrão, sendo um evento de baixa ocorrência, porém com grandes impactos e intensidades, chamado de “cauda” de distribuição), em seguida de 1966 com 52 dias, 2015 com 51, os anos de 1998 e 2001, ambos com 45, e 1970 com 43, respectivamente. Dentre esses anos, todos tiveram influência de EN com intensidade forte ou moderada do fenômeno no Brasil, revelando que esses efeitos podem ter sido fomentados graças a efeitos de maiores escalas.

Figura 16: Número Máximo de Dias Consecutivos Secos (CDD) no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.



Segundo a Tabela 11, apesar de haver uma leve redução na linha de tendência apresentada na Figura 16 durante o recorte temporal analisado, os testes de Mann-

Kendall e Sen's Slope não identificaram tendência significativa. Ambos os testes (MK e SS) apresentaram o p-valor igual a 0.9900 em ambos os casos. Durante esse período, o CDD se manteve praticamente o mesmo ao longo de 61 anos para o município de Vitória (ES), logo, não houve aumento ou redução em comparação ao início da série histórica.

Tabela 11: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de CDD.

Série	Tendência	Tau de Kendall	p-valor	N (anos)
CDD	Sem tendência	-0.002	0.9900	61
Série	Tendência	Sen's Slope	p-valor	N (anos)
CDD	Sem tendência	0	0.9900	61

5.2.2 Extremos Climáticos de Temperatura

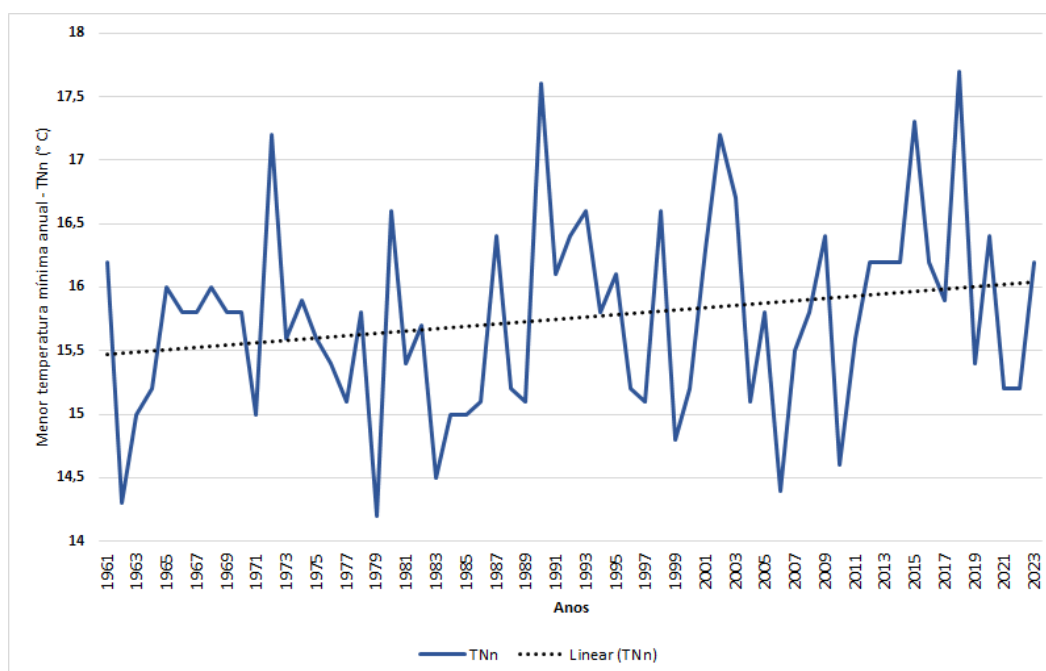
A seguir, serão analisados os resultados obtidos referentes aos extremos climáticos de temperatura, TNn e TNx, TXn e TXx, TN10p, TN90p, WSDI3 e WSDI6, que constituem a menor e a maior temperatura mínima, a menor e a maior temperatura máxima, a frequência (%) das noites frias e quentes no ano, o número de ondas de calor para três e seis dias durante o ano, respectivamente, para a cidade de Vitória.

5.2.2.1 TNn e TNx

As menores temperaturas mínimas anuais (TNn) no município de Vitória (ES) para o período de 1961 até 2023 é apresentada na Figura 17. Os anos que apresentaram maiores índices, isto é, as máximas temperaturas mínimas foram: 2018 com seu ápice chegando a 17,7 °C, posteriormente, 1990 com 17,6 °C, 2015 com 17,3 °C, 2002 e 1972 ambos com 17,2 °C. Enquanto as menores temperaturas mínimas foram para os anos de 1979 com 14,2 °C, em seguida 1962 com 14,3 °C, 2006 com 14,4 °C, 1983 com 14,5°C e 2010 com 14,6 °C, sendo este o último ano com a mínima menor que 15 °C em Vitória (ES).

Conforme a Figura 17, observa-se uma linha de tendência com inclinação positiva para as menores temperaturas mínimas, sugerindo um aumento ao longo da série histórica compreendida entre 1961 e 2023.

Figura 17: Menor Temperatura Mínima Anual (TNn) no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.



A Tabela 12 apresenta os resultados dos testes de significância de Mann-Kendall e Sen's Slope para o índice extremo de temperatura TNn, que permitem verificar a existência de tendência nas menores temperaturas mínimas anuais durante o período de 1961-2023. Baseando-se nos resultados obtidos, conclui-se que não houve tendência estatisticamente significativa de aumento desse índice na capital capixaba, conforme indicado pelo p-valor igual a 0,1095. Apesar de não apresentar significância estatística, vemos um aumento de 0,44 °C, ou seja, as menores temperaturas mínimas apresentam um singelo acréscimo.

Esse valor evidencia que, embora a Figura 17 sugira uma inclinação positiva na linha de tendência, os testes estatísticos demonstram que essa variação não é estatisticamente significativa, indicando que as menores temperaturas mínimas anuais não apresentam aumento significativo ao longo do período analisado.

Tabela 12: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de TNn.

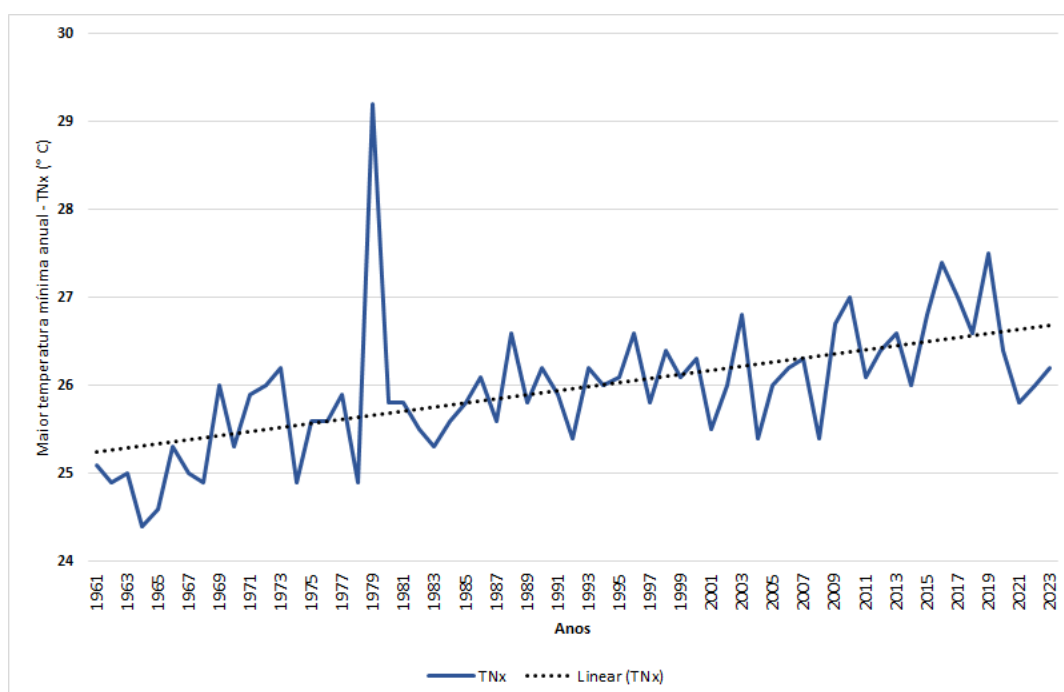
Série	Tendência	Tau de Kendall	p-valor	N (anos)
TNn	Sem tendência	0.138	0.1095	63
Série	Tendência	Sen's Slope	p-valor	N (anos)
TNn	Sem tendência	0.006896552	0.1095	63

Ao analisar a Figura 18, observam-se as maiores temperaturas mínimas anuais (TNx) no município de Vitória (ES) para o período de 1961 até 2023. Os anos que

apresentaram maiores índices, isto é, a maior temperatura mínima no ano, foram: 1979 com seu auge atingindo 29,2 °C, em sequência de 2019 com 27,5 °C, 2016 com 27,4 °C, 2010 com 27 °C e 2003 com 26,8 °C. Em contrapartida, as menores temperaturas de TNx foram para os anos de 1964 com 24,4 °C; 1965 com 24,6 °C; 1968, 1974 e 1978, todos com 24,9 °C, sendo estes os últimos anos com temperatura menor que 25 °C na cidade de Vitória (ES).

A análise da Figura 18, mostra que, a partir da linha de tendência, um acréscimo nas maiores temperaturas mínimas ao longo da série histórica (1961-2023), evidencia que as TNx têm se tornado mais recorrentes.

Figura 18: Maior Temperatura Mínima Anual (TNx) no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.



A Tabela 13 apresenta os testes de significância de Mann-Kendall e Sen's Slope para o extremo de temperatura TNx para o período de 1961-2023. A análise permite afirmar que houve uma tendência de aumento significativo das maiores temperaturas mínimas para o município de Vitória (ES), apresentando o p-valor de 0.0000. Esse valor evidencia que as maiores temperaturas mínimas apresentaram crescimento ao longo da série histórica, e vemos as temperaturas mínimas de maior índice aumentarem exponencialmente com o valor de Sen's Slope 0.025 °C/ano, totalizando aproximadamente 1,57 °C ao longo de 63 anos.

Tabela 13: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de TNx.

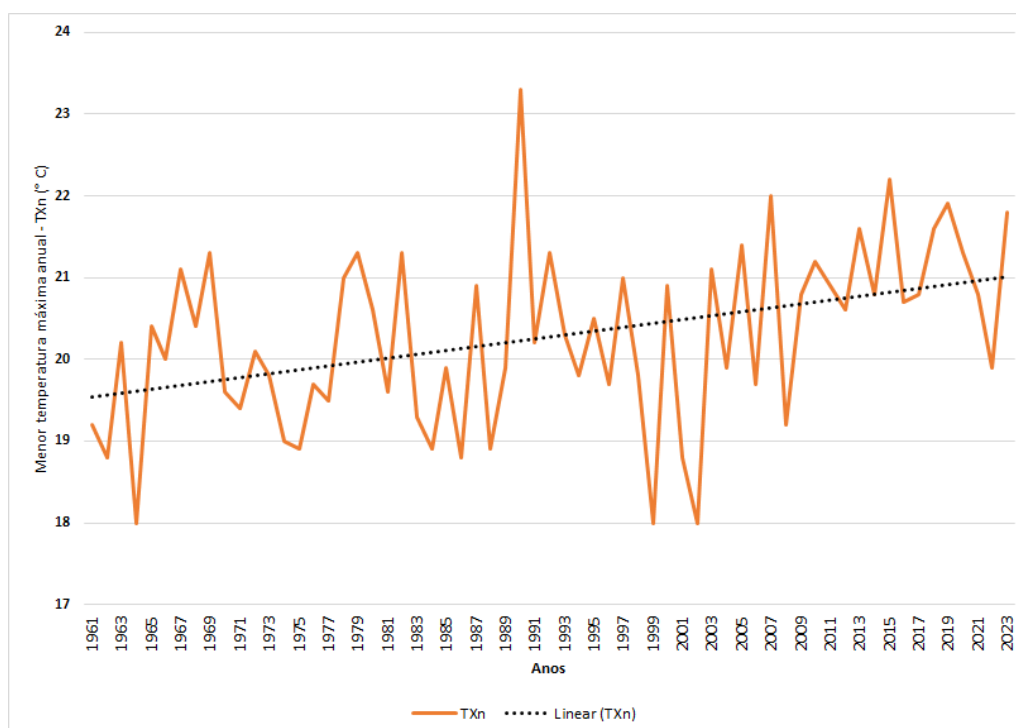
Série	Tendência	Tau de Kendall	p-valor	N (anos)
TNx	Aumento significativo	0.488	0.0000	63
Série	Tendência	Sen's Slope	p-valor	N (anos)
TNx	Aumento significativo	0.025	1.456e-08	63

5.2.2.2 TXn e TXx

A Figura 19 revela a variação da menor temperatura máxima anual (TXn) no município de Vitória (ES) para o período analisado (1961 até 2023). Durante esse recorte temporal, os anos que expuseram maiores índices foram 1990 com 23,3 °C, seguido de 2015 com 22,2 °C, 2007 com 22,0 °C e 2019 com 21,9 °C. Os anos que apresentaram menores índices, isto é, as mais baixas temperaturas máximas, foram 1964, 1999 e 2002, todos marcando 18 °C, seguido de 1986 com 18,8 °C, e 1975, 1984 e 1988, todos com 18,9 °C. O ano de 2002 o foi último a indicar uma temperatura menor que 19 °C na capital capixaba.

A Figura 19 apresenta uma linha de tendência positiva, com o aumento nas menores temperaturas máximas. Esta condição indica que os menores valores de temperatura máxima têm aumentado ao longo da série histórica.

Figura 19: Menor Temperatura Máxima Anual (TXn) no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.



A Tabela 14 apresenta os resultados dos testes de significância de Mann-Kendall e Sen's Slope para o índice extremo de temperatura TXn, que permite verificar a existência de tendência das menores temperaturas máximas anuais durante o período de 1961-2023. Baseando-se nesses testes, observa-se uma tendência estatisticamente significativa de aumento desse índice, apresentado pelo p-valor de 0.0013.

Os resultados indicam que as menores temperaturas máximas apresentaram crescimento ao longo desse recorte temporal, com um valor de Sen's Slope de 0,025 °C/ano, correspondendo a um aumento acumulado de aproximadamente 1,57 °C ao longo de 63 anos, depreendendo uma elevação das temperaturas máximas mais baixas, em consonância com o padrão observado na análise anterior.

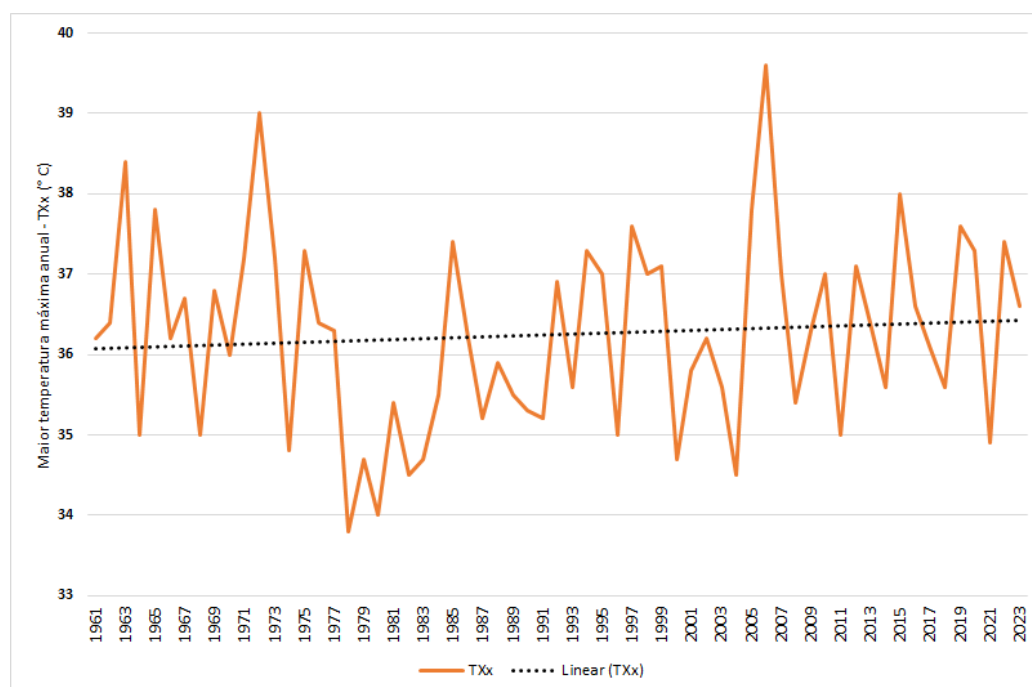
Tabela 14: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de TXn.

Série	Tendência	Tau de Kendall	p-valor	N (anos)
TXn	Aumento significativo	0.277	0.0013	63
Série	Tendência	Sen's Slope	p-valor	N (anos)
TXn	Aumento significativo	0.025	0.0013	63

A Figura 20 revela a variação da maior temperatura máxima anual (TXx) no município de Vitória (ES) para o período de 1961 até 2023. Durante esse recorte temporal, os anos que apresentaram maiores índices foram 2006 com 39,6 °C, seguido de 1972 com 39,0 °C e 1963 com 38,4 °C. Enquanto as menores máximas registradas para esse índice analisado são para os anos de 1978 com 33,8 °C, 1980 com 34,0 °C e 1982 com 34,5 °C.

Ainda segundo a presente Figura (20), ela mostra a linha de tendência positiva, ainda que com pouca mudança, indicando que houve um aumento no índice das maiores temperaturas máximas anuais no município de Vitória para o período analisado.

Figura 20: Maior Temperatura Máxima Anual no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.



A Tabela 15 apresenta os resultados dos testes de significância de Mann-Kendall e Sen's Slope para o índice extremo de temperatura TXx, que permite inferir a existência de tendência nas maiores temperaturas máximas anuais durante o período de 1961-2023. Embora a Figura 20 indique um desvio positivo na linha de tendência, os testes estatísticos demonstram que essa variação não é estatisticamente significativa para o município de Vitória (ES).

Tabela 15: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de TXx.

Série	Tendência	Tau de Kendall	p-valor	N (anos)
TXx	Sem tendência	0.075	0.3860	63
Série	Tendência	Sen's Slope	p-valor	N (anos)
TXx	Sem tendência	0.00727272	0.3860	63

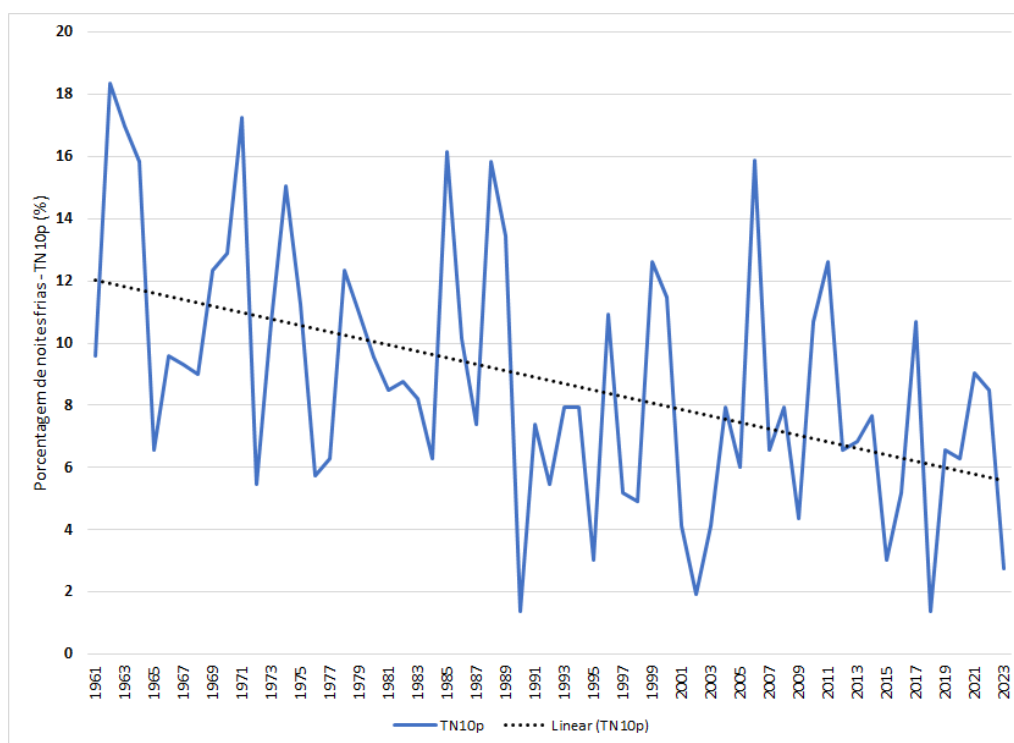
O p-valor de 0,3860 e o Sen's Slope igual a 0,0072 indicam que, apesar de uma leve inclinação positiva, a maior temperatura máxima anual apresentou um incremento de apenas 0,45 °C ao longo da série histórica. Sendo, portanto, uma evidência estatística insuficiente para afirmar a ocorrência de aumento significativo nas maiores temperaturas máximas anuais ao longo da série histórica. Dessa forma, os resultados sugerem que, entre 1961 e 2023, o comportamento do índice TXx na capital capixaba não apresenta significância de intensificação.

5.2.2.3 TN10p

A Figura 21 revela a variação da porcentagem de noites frias (TN10p) para cada ano na capital espírito-santense durante o recorte temporal de 1961 a 2023. Essa porcentagem é baseada na quantidade de noites no ano que estiveram abaixo da temperatura de 18,6 °C, que representa o percentil 10% aplicado nesta metodologia.

Os anos que apresentaram os maiores índices foram 1962, com 18% das suas noites no ano abaixo de 18,6 °C, seguido de 1971, com 17% e 1964, 1985, 1988 e 2006, com 16%. Enquanto é possível observar essa porcentagem diminuir com o passar dos anos, onde os que indicam menores índices são a partir de 1990 e 2018, com apenas 1%, posteriormente 2002 com 2% e 1995, 2015 e 2023 com 3%. Tais resultados mostram que a frequência das noites frias está diminuindo no município.

Figura 21: Frequência de noites frias durante o ano (TN10p) no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.



A Tabela 16 apresenta os resultados dos testes de significância de Mann-Kendall e Sen's Slope para o extremo de temperatura TN10p, permitindo verificar a existência de tendência na porcentagem anual de noites frias durante o período de 1961-2023. Os resultados indicam uma redução estatisticamente significativa da tendência de noites frias (onde as temperaturas estiveram abaixo de 18,6 °C), com o p-valor de 0.0004.

Ao longo desse período, a porcentagem de noites frias diminuiu aproximadamente 0,0996264% ao ano, o que corresponde a um decréscimo acumulado de aproximadamente 6,27% no total de 63 anos para o município de Vitória (ES). Esse comportamento depreende que a frequência de noites frias tem diminuído significativamente no município de Vitória, resultando em aproximadamente 22 dias a menos por ano com temperaturas inferiores a 18,6 °C em comparação ao início da série histórica.

Tabela 16: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de TN10p.

Série	Tendência	Tau de Kendall	p-valor	N (anos)
TN10p	Redução significativa	-0.303	0.00023	63
Série	Tendência	Sen's Slope	p-valor	N (anos)
TN10p	Redução significativa	-0.0996264	0.00023	63

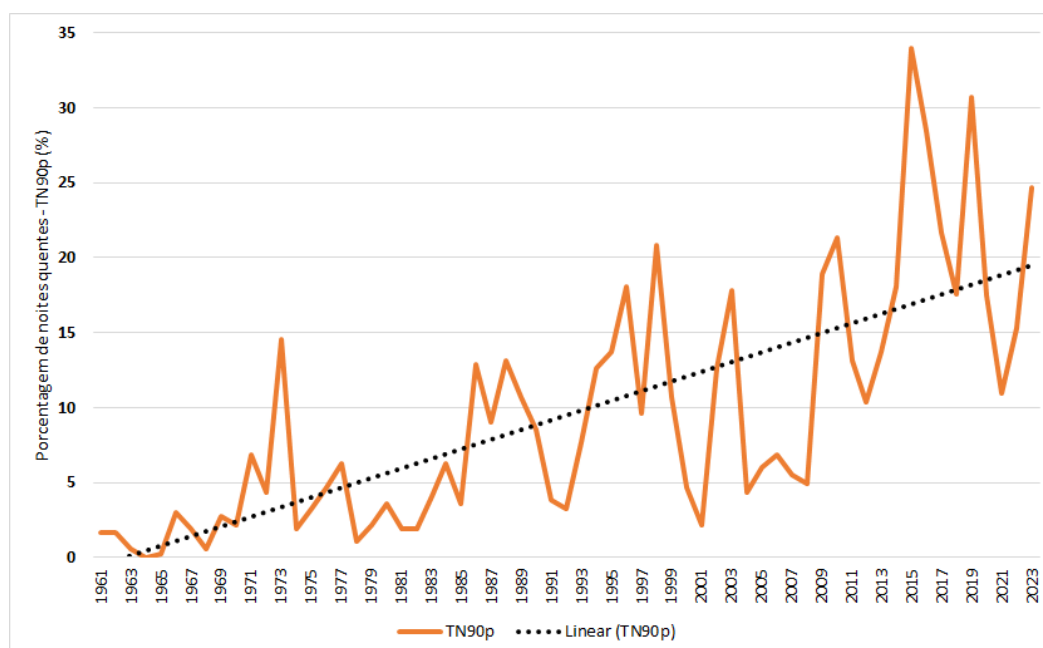
Esses resultados se alinham com os levantamentos de Marengo (2007, 2009a), IPCC (2014) e Natividade; Garcia; Torres (2017), que apontaram a diminuição na frequência de noites frias para diversas regiões do Brasil e Espírito Santo.

5.2.2.4 TN90p

A Figura 22 revela a variação da porcentagem de noites quentes (TN90p) para cada ano na capital espírito-santense durante o recorte temporal de 1961 a 2023. Essa porcentagem é baseada na quantidade de noites no ano que ultrapassaram a temperatura de 24,5 °C, que representa o percentil 90% aplicado nesta metodologia.

Os anos que apresentaram os maiores índices, ou seja, porcentagens mais altas de noites quentes no ano, foram: 2015 com 34% de suas noites durante o ano acima de 24,5 °C, posteriormente, 2019 com 31%, 2016 com 28% e 2023 com 25%. Enquanto vemos os menores índices para os anos de 1964, 1965 com nenhum evento apresentado, 1968 e 1978 com apenas 1%.

Figura 22: Frequência de noites quentes (Tn90p) durante o ano no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.



A Tabela 17 apresenta os resultados dos testes de significância de Mann-Kendall e do estimador de Sen para o índice extremo TN90p, que permite verificar a existência de tendência na porcentagem anual de noites quentes ao longo do recorte temporal evidenciado (1961-2023). Os resultados indicam um aumento estatisticamente significativo na frequência de noites quentes (onde as temperaturas estiveram acima de 24,5 °C), com o p-valor de 8.911e-12.

Durante esse período, observou-se a porcentagem de noites quentes aumentar aproximadamente 0,292 % ao ano na porcentagem de noites quentes, resultando em um acréscimo acumulado de aproximadamente 18% ao longo dos 63 anos analisados para o município de Vitória (ES). Esse dado indica que há aproximadamente 65,7 dias a mais por ano com temperaturas superiores a 24,5 °C em comparação ao início da série histórica. Portanto, esse aumento evidencia uma intensificação da ocorrência de noites quentes desde a década de 1960.

Tabela 17: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de TN90p.

Série	Tendência	Tau de Kendall	p-valor	N (anos)
TN90p	Aumento significativo	0.577	8.911e-12	63
Série	Tendência	Sen's Slope	p-valor	N (anos)
TN90p	Aumento significativo	0.2922707	8.911e-12	63

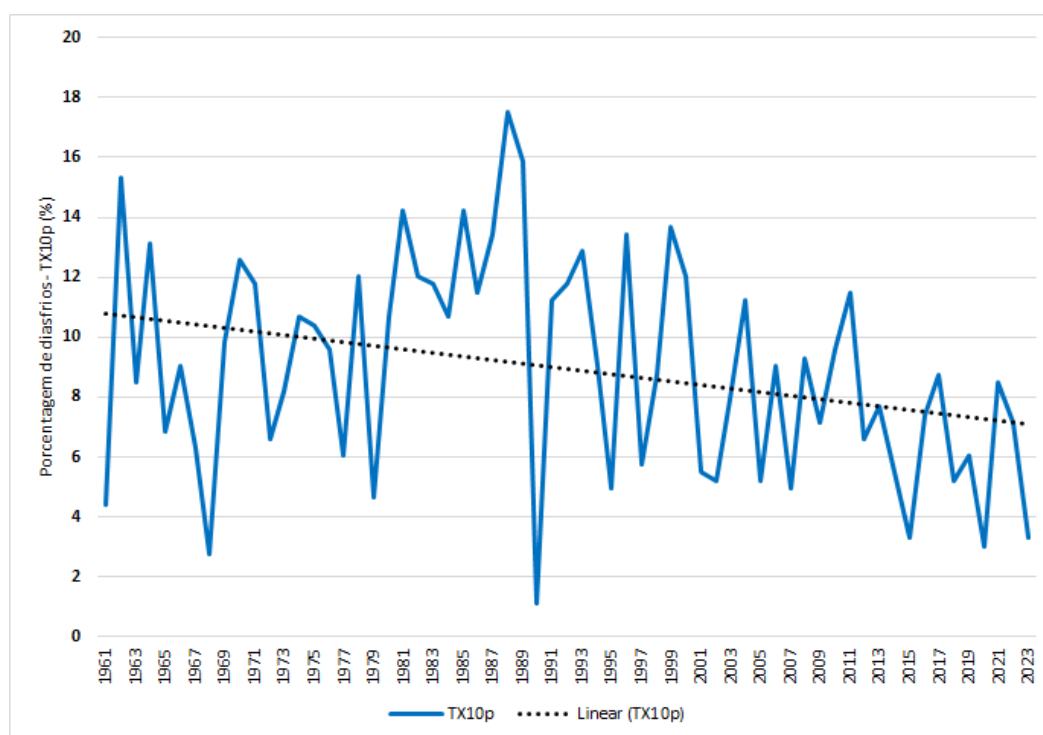
Esse comportamento apresenta consonância com os resultados apresentados por Alexander *et al.* (2006), que identificaram, em escala global, um aumento de aproximadamente 25 noites quentes desde 1951, reforçando a tendência de aquecimento observada para a cidade em estudo. Assim como alinha com o levantamento de Marengo (2009a) e Regoto *et al.* (2018), que apontaram o aumento na frequência de noites quentes para o Brasil e Espírito Santo.

5.2.2.5 TX10p

A Figura 23 revela a variação da porcentagem de dias frios (TX10p) para cada ano na capital espírito-santense durante o recorte temporal de 1961 a 2023. Essa porcentagem é baseada na quantidade de dias no ano que estiveram abaixo da temperatura de 24,4 °C, que representa o percentil 10% aplicado nesta metodologia.

Entretanto, os anos que apresentaram os maiores valores foram 1988, com 18% dos dias no ano abaixo da temperatura de 24,4 °C, 1989 com 16% e 1962 com 15%. Não obstante, na presente Figura (21), vemos uma linha de tendência negativa, indicando que possivelmente os dias frios no ano têm diminuído. Os anos que apresentaram menores índices foram 1990 com 1%, ou seja, cerca de 3,65 dias, seguido de 1968, 2015, 2020 e 2023, com apenas 3%.

Figura 23: Frequência de dias frios (TX10p) durante o ano no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.



A Tabela 18 apresenta os resultados dos testes de significância de Mann-Kendall e do estimador Sen's Slope para o índice extremo TX10p, que permite avaliar a tendência da porcentagem anual de dias frios ao longo do período analisado (1961-2023). Os resultados indicam uma tendência estatisticamente significativa de redução na frequência de dias frios (onde a temperatura esteve abaixo de 24,4 °C), com o p-valor igual a 0.0182.

Tabela 18: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de TX10p.

Série	Tendência	Tau de Kendall	p-valor	N (anos)
TX10p	Redução significativa	-0.204	0.0182	63
Série	Tendência	Sen's Slope	p-valor	N (anos)
TN90p	Redução significativa	-0.06849315	0.0182	63

Ao longo do período estudado, a porcentagem de dias frios diminuiu aproximadamente 0,06849315 %/ano, o que corresponde a um decréscimo acumulado de aproximadamente 4,31% no total de 63 anos para o município de Vitória (ES). Esse comportamento evidencia que a frequência de dias frios tem diminuído significativamente na capital capixaba, resultando em aproximadamente 16 dias a menos por ano com temperaturas máximas inferiores a 24,4 °C em comparação ao início da série histórica. Esse resultado é coerente com o comportamento oposto observado para os dias quentes, cuja frequência apresentou aumento estatisticamente significativo, conforme será discutido no tópico a seguir.

Em escala global, Alexander *et al.* (2006) também identificaram uma redução significativa na ocorrência de dias frios, com maior destaque para regiões do leste asiático, oeste europeu, partes da Austrália e do Canadá. Ainda segundo os autores, houve uma diminuição de aproximadamente 20 dias frios desde 1951. Assim como Natividade, Garcia, Torres, (2017) e Regoto *et al.* (2018), que corroboram com os resultados encontrados para o município de Vitória.

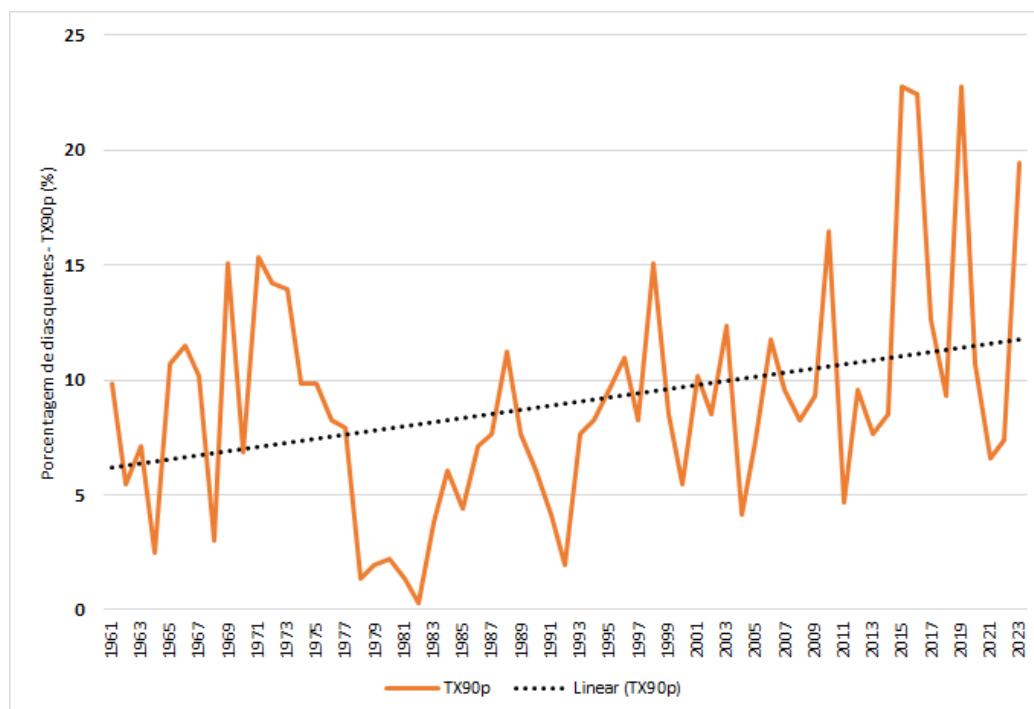
5.2.2.6 TX90p

A Figura 24 revela a variação da porcentagem de dias quentes (TX90p) para cada ano na capital espírito-santense durante o recorte temporal de 1961 a 2023. Essa porcentagem é baseada na quantidade de dias no ano que ultrapassaram a temperatura de 33 °C, que representa o percentil 90% aplicado nesta metodologia.

Desse modo, os anos que indicaram maiores índices foram 2015 e 2019, com 23% dos dias no ano com temperatura acima de 33 °C, seguido de 2016 com 22% e 2023 com

19%. Em contrapartida, os anos que apresentaram menores índices foram 1982 com nenhum evento, 1978 e 1981 com apenas 1%.

Figura 24: Frequência de dias quentes (TX90p) durante o ano no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.



A Tabela 19 apresenta os testes de significância de Mann-Kendall e Sen's Slope para o extremo TX90p, que permite verificar a tendência na porcentagem de dias quentes no ano durante o período evidenciado (1961-2023). Entretanto, houve um aumento estatisticamente significativo da tendência nos anos analisados, com o p-valor de 0.0362. Durante esse período, a porcentagem de dias quentes aumentou aproximadamente 0,07070261 %/ano, resultando em cerca de 4,45% no total de 63 anos para o município de Vitória (ES).

Esse resultado demonstra que a frequência de dias quentes tem aumentado significativamente na capital capixaba, com aproximadamente mais 16 dias durante o ano acima de 33 °C em comparação ao início da série histórica, sendo o oposto dos dias frios que sofreram redução significativa em sua porcentagem.

Tabela 19: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de TX90p.

Série	Tendência	Tau de Kendall	p-valor	N (anos)
TX90p	Aumento significativo	0.181	0.0362	63
Série	Tendência	Sen's Slope	p-valor	N (anos)
TX90p	Aumento significativo	0.07070261	0.0362	63

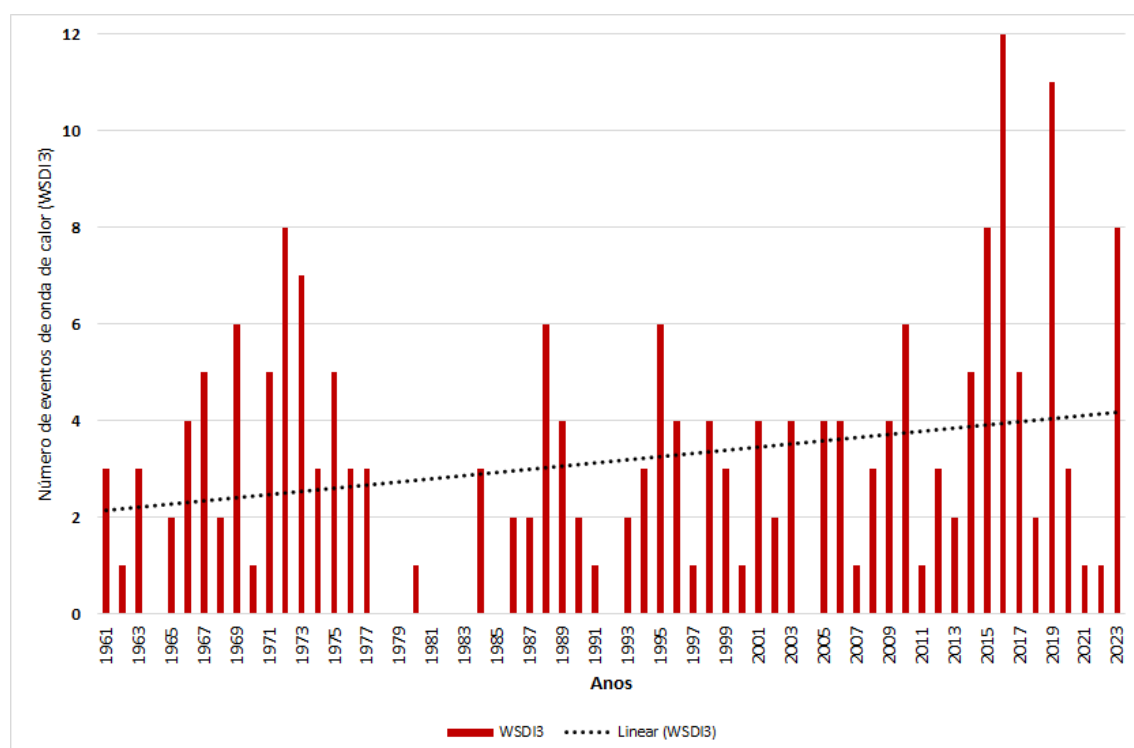
Alexander *et al.* (2006) e Haylock *et al.* (2006) corroboram com o resultado alcançado na pesquisa, onde os autores discutiram o aumento significativo dos dias quentes, sobretudo, no hemisfério norte do globo e América do Sul, e Marengo (2009a) e Junior *et al.* (2023) relatam o mesmo para Brasil e Espírito Santo, ao passo que as noites frias vêm diminuindo significativamente em todo planeta.

5.2.2.7 WSDI3

A Figura 25 apresenta a variação dos números de ondas de calor para três dias consecutivos durante o ano em Vitória para o período de 1961-2023, a partir do percentil 90%, que equivale a 33,0 °C nesta pesquisa, ou seja, qualquer índice acima desse valor durante três dias consecutivos é uma onda de calor de curta duração medida nesta metodologia (WSDI3).

Os anos que indicaram os maiores índices foram 2016, com 12 eventos, seguido de 2019 com 11, 1972, 2015 e 2023 com 8 eventos. Enquanto os menores índices foram para os anos que não ocorreram eventos de onda de calor, como 1964, 1978, 1979, 1981, 82, 83, 85, 1992 e 2004, sendo este o último ano sem ocorrência de ondas de calor para três dias.

Figura 25: Número de ondas de calor (WSDI3) para três dias consecutivos durante o ano no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.



Apesar de observar a Figura 25 apresentar uma linha de tendência positiva, através da Tabela abaixo (20), utilizando o teste de Mann-Kendall e Sen's Slope, é possível afirmar que não há uma tendência significativa para as ondas de calor de três dias na capital capixaba. Com o p-valor igual a 0.1589 e o Sen's Slope 0.01923077, estabelece apenas um aumento de 1,21 dias durante o período analisado no município. Contudo, esse resultado indica a ausência de mudança significativa para WSDI3 no município durante a série histórica analisada.

Tabela 20: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de WSDI3.

Série	Tendência	Tau de Kendall	p-valor	N (anos)
WSDI3	Sem tendência	0.121	0.1589	63
Série	Tendência	Sen's Slope	p-valor	N (anos)
WSDI3	Sem tendência	0.01923077	0.1589	63

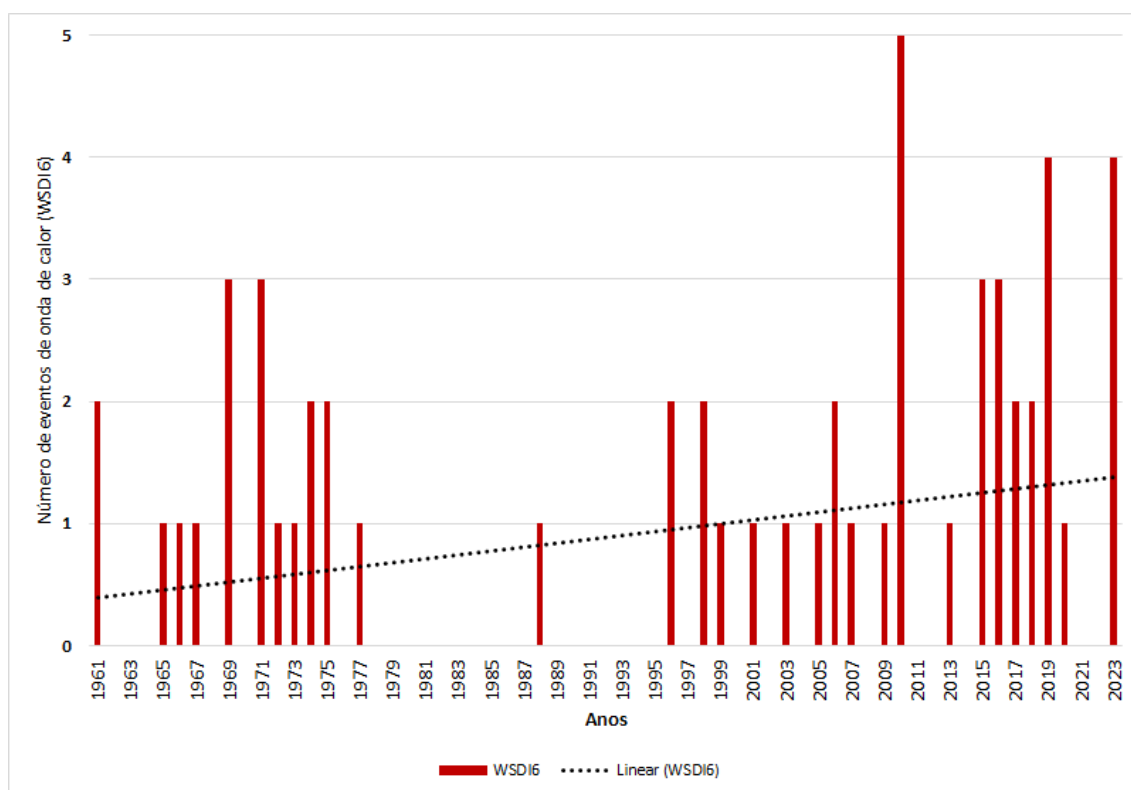
Embora a Tabela 20 não apresente tendência significativa para três dias consecutivos acima de 33,0 °C, houve um aumento de 20% na ocorrência desses eventos, comparando 1961-1990 com 1991-2023. No primeiro período foram registrados 81 eventos, ao passo que para o segundo período houve 119 eventos, indicando o aumento de registros de ondas de calor de curta duração. Isso pode significar que as ondas de calor para três dias estão aumentando na capital capixaba, porém não é estatisticamente significativo até o momento.

5.2.2.8 WSDI6

A Figura 26 apresenta a variação dos números de ondas de calor para seis dias consecutivos (ou mais) durante o ano em Vitória para o período de 1961-2023, a partir do percentil 90%, que equivale a 33,0 °C, ou seja, qualquer índice acima desse valor durante seis dias consecutivos corresponde a uma onda de calor de longa duração medida nesta metodologia (WSDI6).

Portanto, os anos que apresentaram maiores índices foram: 2010 com 5 eventos, sendo o maior já registrado, posteriormente, 2019 e 2023 indicando 4 eventos ao longo do ano. Enquanto anos como 2021, 2022 e alguns outros não apresentaram índice, sendo os menores valores registrados.

Figura 26: Número de ondas de calor para seis dias consecutivos (WSDI6) ou mais durante o ano no município de Vitória (ES) para o período de 1961 a 2023.



Ao observar a Figura 26 em consonância com a Tabela 21, utilizando o teste de Mann-Kendall e Sen's Slope, é possível afirmar que não há uma tendência significativa para as ondas de calor de seis dias na capital capixaba. Apesar de analisar uma linha de tendência positiva na Figura discutida (26), ainda não é possível identificar mudança significativa nos padrões de WSDI6 a partir dos testes de significância em Vitória (ES).

A Tabela 21 revela o p-valor 0.1537 e Sen's Slope 0.000, indicando a ausência de mudança significativa no município, contrapondo os resultados alcançados por da Silva *et al.* (2021), que verificaram tendência significativa de aumento no número de dias com onda de calor durante 1980-2019 para quase toda a Região do Sudeste brasileiro.

Tabela 21: Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de WSDI6.

Série	Tendência	Tau de Kendall	p-valor	N (anos)
WSDI6	Sem tendência	0.113	0.1537	63
Série	Tendência	Sen's Slope	p-valor	N (anos)
WSDI6	Sem tendência	0.000	0.1537	63

Embora a Tabela 21 não apresente tendência significativa para seis dias consecutivos acima de 33,0 °C, houve um aumento de 32% na ocorrência desses eventos,

comparando 1961-1990 com 1991-2023. No primeiro período foram registrados 19 eventos, ao passo que para o segundo período houve 37 eventos, isso representa o dobro de eventos comparando as duas normais, indicando o aumento da ocorrência de ondas de calor persistentes, isso pode significar que as ondas de calor para seis dias estão aumentando na capital capixaba, porém não significativamente até o momento.

6. CONCLUSÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) teve como objetivo analisar as mudanças no clima do município de Vitória (ES) a partir da temperatura do ar, da precipitação pluviométrica e dos índices climáticos extremos, utilizando dados da estação meteorológica convencional do INMET no período de 1961 a 2023. A aplicação de métodos estatísticos permitiu identificar alterações significativas no comportamento climático local ao longo da série histórica.

Os resultados indicam um aumento da precipitação total anual e sazonal. A precipitação anual total apresentou um incremento de 455 mm ao longo de 61 anos (1961-2023), sendo estatisticamente significativo. Em relação aos meses, novembro foi o que mais apresentou mudança (1991-2023), com um aumento de 69,33 mm em comparação ao período de 1961-1990. Para as estações, outono houve um acréscimo de 98,06 mm, e para a primavera 62,98 mm, indicando mudanças entre os períodos analisados.

A análise dos extremos de precipitação revelou tendências estatisticamente significativas associadas ao aumento da intensidade das chuvas fortes, conforme indicado pelos índices RX1day, resultando num aumento aproximado de 52 mm, e RX5day, que apresentou aumento de cerca de 100 mm em comparação ao início da série histórica. Esses resultados sugerem uma intensificação dos eventos extremos de precipitação, o que pode elevar a probabilidade de ocorrência de desastres naturais, tais como: deslizamentos de massa, alagamentos e enchentes, entre outros. Enquanto o índice de dias secos consecutivos (CDD) não apresentou tendência significativa, indicando que o clima na capital capixaba pode estar ficando mais úmido.

No que se refere à temperatura, verifica-se um aumento consistente das temperaturas máximas e mínimas médias ao longo do período analisado. Verificou-se o aumento de aproximadamente 1,0 °C na temperatura máxima (Tmax) e de 1,3 °C na temperatura mínima (Tmin) entre 1961 e 2023. As maiores variações de Tmax ocorreram no mês de outubro, que apresentou um acréscimo de 0,99 °C, assim como na estação da primavera, que concentrou a maior elevação das temperaturas máximas em analogia

com as outras estações, com um aumento de 0,78 °C em comparação ao início da série histórica. Em relação à T_{min}, o mês de dezembro apresentou a maior variação, com aumento de 1,04 °C, enquanto a estação do verão concentrou o maior incremento das temperaturas mínimas com 0,88 °C durante o período analisado no município de Vitória (ES). Todos esses índices apresentaram mudanças estatisticamente significativas.

As tendências dos extremos de temperatura acompanharam, em sua maioria, o padrão observado para as temperaturas médias reveladas acima, com alterações estatisticamente significativas nos índices associados à maior temperatura mínima (TN_x) e menor temperatura máxima (TX_n), que ambos apresentaram um aumento de 1,57 °C ao longo de 63 anos. Assim como houve aumento significativo na frequência de noites quentes com 18% (isto é, 65,7 dias), e dias quentes com acréscimo de 4,45% (isto é, 16 dias) em relação ao início da série histórica, em contrapartida, houve redução significativa para noites frias com 6,27% (isto é, 22 dias), e dias frios com decréscimo de 4,31% (isto é, 16 dias) em relação ao início da série histórica. Enquanto índices como TN_n, TX_x, WSDI3 e WSDI6 não apresentaram significância estatística no período analisado, porém, ainda assim verifica-se o aumento das menores temperaturas mínimas (0,44 °C), ocorrência das ondas de calor de curta duração (aumento de 20% na ocorrência) e persistente (aumento de 32% na ocorrência).

De modo geral, verifica-se que o clima do município de Vitória apresenta sinais consistentes de mudanças, caracterizados pelo aumento das temperaturas máximas e mínimas, pelo acréscimo da precipitação e pela frequência e intensidade dos eventos extremos. O aumento das temperaturas máximas e mínimas, evidenciado pela maior ocorrência de ondas de calor de curta e longa duração, bem como pelo incremento na proporção de dias e noites quentes, concomitantemente à redução da frequência de dias e noites frias, indicam um aumento no regime de temperatura local.

Além disso, o clima pode estar ficando mais úmido, com o aumento da precipitação total anual, mensal e sazonal. As combinações dessas condições podem corroborar para a ocorrência de eventos extremos, sobretudo de precipitação. Essa constatação pode ser evidenciada pelo aumento da intensidade dos eventos de RX1day e RX5day, que indicaram aumento significativo no município de Vitória. O aumento desses eventos extremos de precipitação e temperatura podem impactar diretamente o cotidiano da população local, assim como no bem-estar social. Tais considerações deflagram cenários característicos associados às mudanças climáticas.

Essas evidências estão em consonância com resultados encontrados por outros pesquisadores no Brasil e na América do Sul, reforçando a relevância e necessidade de

estudos climáticos em escala local e regional, para planejamentos urbanos e adaptação frente aos impactos das mudanças climáticas.

A partir deste trabalho, é possível propor futuras pesquisas com temas sobre os impactos de EN e LN, impactos das mudanças climáticas para a RMGV e para o Espírito Santo, bem como futuras projeções climáticas para o município de Vitória e para o estado do Espírito Santo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, N. L.; RIBEIRO, E. S. da C.; SOUSA, C. E. S. de; MORAES, L. M.; OLIVEIRA, J. V. C. de; FARIA, L. de A.; RUGGIERI, A. C.; CARDOSO, A. da S.; FATURI, C.; RÊGO, A. C. do; SILVA, T. C. da. Mudanças de uso da terra e emissão de gases de efeito estufa: uma explanação sobre os principais drivers de emissão. **Ciência Animal Brasileira**, v. 25, 2024. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v25e-77646p>.
- ALEXANDER, Lisa V. Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. **Weather and Climate Extremes**, v. 11, p. 4–16, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.007>.
- ALEXANDER, L V; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; TANK, A. M. G. K.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; KUMAR, K. R.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH**, v. 111, n. D05109, p. 1–22, 2006. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>.
- AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; ROCHA, R. P. da; LLOPART, M. The state of the art and fundamental aspects of regional climate modeling in South America. **ANNALS OF THE NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES**, v. 1436, n. 1, p. 98–120, 2019. <https://doi.org/10.1111/nyas.13932>.
- AMBRIZZI, T.; REHBEIN, A.; DUTRA, L. M. M.; CRESPO, N. M. Mudanças climáticas e a sociedade, p. 25, 2021. .
- ANGELOCCI, R.; SENTELHAS, C. Variabilidade, tendência, anomalia e mudança climática, p. 1–8, 2010. .
- ARIAS, P.; BUSTAMANTE, M. (Orgs.). **IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)].** IPC. Geneva, Switzerland, 25 jul. 2023. DOI 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.
- AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 4ª. Rio de Janeiro, 1996.
- BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. Mudanças Climáticas. *In*: BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. (orgs.). **Atmosfera, Tempo e Clima**. 9ª. Porto Alegre: Bookman, 2013. p. 512.
- BERLATO, M. A. **El Niño oscilação Sul : clima, vegetação e agricultura**, 2024.

- BLAIN, G. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; PEZZOPANE, J. E. M.; BONOMO, R. Índice padronizado de precipitação aplicado às condições de seca no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 10, p. 1067–1073, 2010. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662010001000007>.
- CHRISTOPHERSON, R. W.; BIRKELAND, G. H. **Geossistemas: Uma introdução à geografia física**. 1ª. Porto Alegre: Oficina de Textos, 2018.
- COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. **Revista Climanalise**, n. 1, p. 55–61, 2016. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/Coelhoetal.pdf>.
- CORREA, W. de S. C. **Comportamento dos elementos climáticos, temperatura e precipitação, no município de Vitória (ES) no período de 1978 a 2007**. 2011. 83-32 f. Universidade Federal do Espírito Santo, 2011.
- CORREA, W. de S. C.; AYLAS, G. Y. R.; ALEXANDRE SANTIAGO, M.; SILVA, M. E. S.; VALE, C. C. do; SILVA, C. B. da; PATUCC, N. N. A Ilha de Calor Urbana em ambiente tropical : a Região Metropolitana da Grande Vitória no Brasil. **REVISTA DO DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA - Universidade de São Paulo**, v. 42, p. 19, 2022. <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.186970>.
- CORREA, W. de S. C.; SOARES, W. R.; AYLAS, G. Y. R.; REIS JUNIOR, N. C.; MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; NOBRE, C. Avaliação das simulações de temperatura e precipitação de um subconjunto de modelos do CMIP6 para o Brasil. **Derbyana**, v. 43, n. January 1985, p. e774, 29 dez. 2022. DOI 10.14295/derb.v43.774. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/derbyana/article/view/774>.
- CORREA, W. S. C.; ALBUQUERQUE, T. T. A. A influência da zona de convergência do atlântico sul nas precipitações intensas no mês de novembro de 2008 e suas consequências sobre o município de Vitória/ES. **Revista Geonorte**, v. 1, n. November, p. 796–806, 2012. Disponível em: www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2473.
- CRISTIANE, A.; FERNANDES, G.; SILVA, J. A.; MARTINS, M. S. O uso do teste de mann-kendall para detecção de tendência da precipitação em região semiárida pernambucana, v. 2022, p. 1–11, 2022. .
- CUNHA, G. R. da; PIRES, J. L. F.; GENEI, A. D.; SANTI, A.; PASINATO, A.; SILVA, A. A. G. da; ASSAD, E. D.; ROSA, C. M. da. El Niño/La Niña - Oscilação Sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, RS, p. 5, jan. 2011. .
- DA COSTA, J. M. F.; SILVEIRA, C. da S.; COSTA, A. C.; JUNIOR, A. D. M.; GONÇALVES, S. T. N. Trend analysis of precipitation extremes in Brazil: the role of atmospheric temperature. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, v. 60, n. 1, p. 1–18, 2025. <https://doi.org/10.5327/Z2176-94782123>.
- DA SILVA, G. A. M.; CARDOSO, C. de S.; AMBRIZZI, T.; DE SOUZA, C. P.; MENDES, D.; GOMES, H. B. Detecção e atribuição das anomalias anuais dos índices de extremos de chuva e temperaturas máxima e mínima diárias sobre o litoral de São Paulo/Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 5, p. 3008–3043, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/249981/46619>. Acesso em: 27 nov. 2025.
- DOS SANTOS, D. J.; PEDRA, G. U.; DA SILVA, M. G. B.; GUIMARÃES, C. A.; ALVES, L. M.; SAMPAIO, G.; MARENGO, J. A. Future rainfall and temperature changes in Brazil under global warming levels of 1.5°C, 2°C and 4°C. **Sustentabilidade em Debate**, v. 11, n. 3, p. 57–73, 2020. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33933>.

FARIA, N. M. X.; SKAMVETSAKIS, A. Eventos climáticos extremos no Rio Grande do Sul e os impactos na Saúde dos Trabalhadores. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 50, p. 1–13, 2025. <https://doi.org/10.1590/2317-6369/18024pt2025v50eddsst8>.

FERREIRA, C. B. C.; VALVERDE, M. C. Análise dos Índices de Extremos de Precipitação em Cenários Futuros na Bacia do Rio de Iguape - São Paulo. Santo André, p. 15, 2022. .

FERREIRA FEIO, E.; CRAVO HERRERA, R.; ALVES VELOSO, G.; OLIVEIRA E SILVA JÚNIOR, H. Expansão Urbana E Sua Influência No Microclima Na Cidade De Altamira, Pa. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 1, n. 110, p. 282–297, 2023. <https://doi.org/10.61636/bpg.v1i110.3072>.

FREITAS, R. Estudo apresentado na Feira do Verde mostra que Vitória tem 40,5% de área verde. 2012. **PMV**. Disponível em: <https://m.vitoria.es.gov.br/noticia/estudo-apresentado-na-feira-do-verde-mostra-que-vitoria-tem-405-por-cento-de-area-verde-10071>. Acesso em: 7 nov. 2025.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Berger, A. Annual and seasonal climatic variations over the Northern Hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, v. 4, n. B 4, p. 385–400, 1986. .

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Nino and La Nina events. **Journal of Climate**, v. 11, n. 11, p. 2863–2880, 1998. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<2863:PAISBA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<2863:PAISBA>2.0.CO;2).

HARGREAVES-WESTENBERGER, L.; FUNARI, A. P. MEIO AMBIENTE E A (RE)PRODUÇÃO DAS DESIGUALDADES SOCIAIS NAS METRÓPOLES BRASILEIRAS. In: IPEA (org.). **50 ANOS DE REGIÕES METROPOLITANAS NO BRASIL E A POLÍTICA NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO: NO CENÁRIO DE ADAPTAÇÃO DAS CIDADES ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E À TRANSIÇÃO DIGITAL**. Brasília, 2024. p. 249–271.

HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIAÇÃO, Y. M. T.; BAEZ, J.; BARROS, V. R.; BERLATO, M. A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIA, V. J.; GRIMM, A. M.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.; MARINO, M. B.; MONCUNILL, D. F.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; TREBEJO, I.; VINCENT, L. A. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, v. 19, n. 8, p. 1490–1512, 2006. <https://doi.org/10.1175/JCLI3695.1>.

IJSN, I. J. dos S. N. **Produto Interno Bruto (PIB) dos Municípios do Espírito Santo – 2021**. 1. ed. Vitória: IJSN, 2023.

INMET. Ano de 2023 é o mais quente da série histórica no Brasil. 2024. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/ano-de-2023-é-o-mais-quente-da-história-do-brasil>. Acesso em: 23 out. 2025.

IONITA, M.; NAGAVCIUC, V. 2024 : The year with too much summer in the eastern part of Europe. **Royal Meteorological Society**, v. 80, n. 9, p. 288–295, 2025. DOI 10.1002/wea.7696. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/wea.7696>.

IPCC. **Mudança do clima 2023: Relatório Síntese**, 2023.

IPCC. What is the IPCC? **Intergovernmental Panel on Climate Change**, n. July, p. 1–2, 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/07/AR6_FS_What_is_IPCC.pdf.

- IPCC, I. P. O. C. C. Climate Change 2007 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC. **Science**, [s. l.], n. October 2009, p. 1009, 2007. DOI volume. Disponível em: <http://www.amazon.com/Climate-Change-2007-Contribution-Assessment/dp/0521880092>.
- IPCC PANEL. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. 1. ed. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014.
- JUNIOR, N. C. R.; NOBRE, C. A.; SANTOS, J. M.; PEZZOPANE, J. E. M. **Mudanças climáticas: efeitos sobre o Espírito Santo**, 2023.
- KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A. F. De; GARCIA, S. R.; ALAN, J. **El Niño e La Niña dos últimos 30 anos : diferentes tipos**, 2016.
- KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4ª. London, 1975.
- KLUG, L. B.; MARENGO, J. A.; LUEDEMANN, G.; KLUG, L. B. Mudanças Climáticas E Os Desafios Brasileiros Para. In: IPEA (org.). **Estatuto da Cidade e a Habitat III : um balanço de quinze anos da política urbana no Brasil e a Nova Agenda Urbana**. Brasília: [s. n.], 2016. p. 314–322. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/160920_estatuto_cidade_cap12.pdf.
- KRUG, T.; OMETTO, J.; ARAGÃO, L.; VINHAS, L. O Brasil e as Mudanças Climáticas, n. 1, p. 1–9, 2019. .
- LIMBERGER, L. ESTUDOS DE TELECONEXÕES ATMOSFÉRICAS E POSSIBILIDADES DE AVANÇOS NA CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA: CONCEITOS, FONTES DE DADOS E TÉCNICAS. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, p. 10–19, out. 2016. <https://doi.org/doi.org/10.5380/abclima.v19i0.48870>.
- LUIZ, G. C.; CARDOSO, H. C.; RIBEIRO, L. L. Aplicação do teste sazonal de mann kendall na análise de tendência da temperatura e umidade relativa do ar – goiânia-go: série histórica 1961 a 2008. **REVISTA GEONORTE**, Goiânia, v. 1, n. 5, p. 414–427, 2012. .
- MAIA, L. F. P. . **Alguns aspectos dinâmico-climatológicos em Minas Gerais**. 1986. 93 f. Universidade Federal de Viçosa, 1986.
- MANN, H. B. Nonparametric Tests Against Trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245–259, 1945. .
- MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033–1050, 2016. <https://doi.org/10.1002/joc.4420>.
- MARENGO, J. A.; GALDOS, M. V.; CHALLINOR, A.; CUNHA, A. P.; MARIN, F. R.; VIANNA, M. dos S.; ALVALA, R. C. S.; ALVES, L. M.; MORAES, O. L.; BENDER, F. Drought in Northeast Brazil: A review of agricultural and policy adaptation options for food security. **Climate Resilience and Sustainability**, v. 1, n. 1, p. 1–20, 2022. <https://doi.org/10.1002/cli2.17>.
- MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 15, p. 2241–2255, dez. 2009. <https://doi.org/10.1002/joc.1863>.
- MARENGO, José A.; JIMENEZ, J. C.; ESPINOZA, J. C.; CUNHA, A. P.; ARAGÃO, L. E. O. Increased climate pressure on the agricultural frontier in the Eastern Amazonia–Cerrado transition zone. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1–10, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04241-4>.

MARENGO, Jose A. Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima - Impactos sociais e econômicos. **Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas - GPMC**, v. 13, n. 8, p. 1–5, 2009. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/newsletters/Boletim_No8_Port.pdf.

MARENGO, Jose A; COSTA, M. C.; CUNHA, A. P.; ESPINOZA, J.; JIMENEZ, J. C.; LIBONATI, R.; MIRANDA, V.; TRIGO, I. F.; SIERRA, J. P.; MOLINA-CARPIO, J.; SALINAS, R. Climatological patterns of heatwaves during winter and spring 2023 and trends for the period 1979 – 2023 in central South America, n. February, p. 1–21, 2025. <https://doi.org/10.3389/fclim.2025.1529082>.

MARENGO, José Antonio. Mudanças Climáticas: Detecção e cenários futuros para o Brasil até o final do Século XXI. In: TEXTOS, O. de (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. 1. ed. São Paulo, 2009a. p. 463.

MARENGO, José Antonio. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**, 2009b. v. 1. Disponível em: http://www.lloyds.com/News_Centre/360_risk_insight/The_debate_on_climate_change/.

MARENGO, José Antonio. **Mudanças Climáticas e seus Efeitos sobre a Biodiversidade Brasileira**. 2ª, 2007. v. 5.

MARX, K. **O Capital: crítica da economia política**. 1. ed. São Paulo: [s. n.], 2013.

MATTOS, C. C. L. V. de. O Clima e o Meio Ambiente. **O Clima e o Meio Ambiente**, p. 3, 1994. <https://doi.org/10.5380/abclima.v13i0.34539>.

MEDEIROS, R. M. de; FRANÇA, M. V. de; ARAÚJO, W. R. de; SABOYA, L. M. F.; CUNHA FILHO, M.; HOLANDA, R. M. de; BRAGA, S. E. Variabilidade e suas mudanças climáticas em séries de temperatura máxima do ar e precipitação em Brasília – DF. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, p. 14, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30080>.

MENDONÇA, F. Aquecimento Global E Suas Manifestações Regionais E Locais: Alguns Indicadores Da Região Sul Do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 2, p. 71–86, 2006. <https://doi.org/10.5380/abclima.v2i0.25388>.

MILANEZ, B.; FONSECA, I. F. da. JUSTIÇA CLIMÁTICA E EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS: UMA ANÁLISE DA PERCEPÇÃO SOCIAL NO BRASIL. [s. l.], p. 82–99, 2011.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, J. M. N. da; VIANELLO, R. L. INFLUÊNCIA DO FENÔMENO CLIMÁTICO EL NIÑO NO PERÍODO CHUVOSO. **Geografia (Londrina)**, v. 15, n. 2, p. 5–19, 2010. DOI 10.5433/2447-1747.2006v15n2p5. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6586>. Acesso em: 21 nov. 2025.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**, 2009. Disponível em: https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/47918/agrometeorologia_dos_cultivos.pdf.

MONTEIRO, R. R.; SANTOS, M. dos; SOUZA, J. O. R.; VIEIRA, M. B. V. B. Racismo Ambiental, Justiça Ambiental E Mudanças Climáticas No Brasil: Uma Análise Dos Relatórios Anuais Dos Objetivos De Desenvolvimento Sustentavel. **Revista Em Favor de Igualde Racial**, v. 6, n. 3, p. 117–132, 2023. <https://doi.org/10.29327/269579.6.3-9>.

MORO, I. P.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. E. M. TENDÊNCIAS EM SÉRIES TEMPORAIS METEOROLÓGICAS E SEUS IMPACTOS

- NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 36, n. 21, p. 202–224, 2025.
<https://doi.org/10.55761/abclima.v36i21.19077>.
- MULLER, C. J.; O’GORMAN, P. A.; BACK, L. E. Intensification of precipitation extremes with warming in a cloud-resolving model. **Journal of Climate**, v. 24, n. 11, p. 2784–2800, 2011. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI3876.1>.
- NATIONS, U. UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, v. 62220, 1992. .
- 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.
<https://doi.org/10.1590/0102-7786324008>.
- OLIVEIRA, G. S. de. **Coleção Explorando o Ensino - Mudanças Climáticas**. MEC/SEB; M. Brasília: [s. n.], 2009. v. 13, .
- OLIVEIRA, M. G.; MARTINS, M. Q.; PARTELLI, F. L. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AGRICULTURA NO ESPÍRITO SANTO. In: EDITORIAL, P. (org.). **Mudanças Climáticas: Efeitos sobre o Espírito Santo**. 1. ed. Jundiaí: [s. n.], 2023. p. 146–175.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). ONU confirma que 2023 bate recorde de temperatura global. 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/257750-onu-confirma-que-2023-bate-recorde-de-temperatura-global>. Acesso em: 23 out. 2025.
- PENDRILL, F.; GARDNER, T. A.; MEYFROIDT, P.; PERSSON, U. M.; ADAMS, J.; AZEVEDO, T.; LIMA, M. G. B.; BAUMANN, M.; CURTIS, P. G.; DE SY, V.; GARRETT, R.; GODAR, J.; GOLDMAN, E. D.; HANSEN, M. C.; HEILMAYR, R.; HEROLD, M.; KUEMMERLE, T.; LATHUILLIÈRE, M. J.; RIBEIRO, V.; TYUKAVINA, A.; WEISSE, M. J.; WEST, C. Disentangling the numbers behind agriculture-driven tropical deforestation. **Science**, v. 377, n. 6611, 2022.
<https://doi.org/10.1126/science.abm9267>.
- PERKINS, S. E.; ALEXANDER, L. V; NAIRN, J. R. Increasing frequency , intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells. **GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS**, v. 39, n. L20714, p. 1–5, 2012. DOI 10.1029/2012GL053361. Available at: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2012GL053361>. Acesso em: 27 nov. 2025.
- POTENZA, R. F. SEEG-10-anos-v5. [s. l.], , p. 1–54, 2023. .
- RATTIS, L.; BRANDO, P. M.; MACEDO, M. N.; SPERA, S. A.; CASTANHO, A. D. A.; MARQUES, E. Q.; COSTA, N. Q.; SILVERIO, D. V.; COE, M. T. Climatic limit for agriculture in Brazil. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 11, n. 12, p. 1098–1104, 2021.
<https://doi.org/10.1038/s41558-021-01214-3>.
- REBOITA, M. S.; MATTOS, E. V.; CAPUCIN, B. C.; SOUZA, D. O. de; FERREIRA, G. W. de S. A Multi-Scale Analysis of the Extreme Precipitation in Southern Brazil in April/May 2024. **Atmosphere**, v. 15, n. 9, 2024.
<https://doi.org/10.3390/atmos15091123>.
- REGOTO, P.; DEREZYNSKI, C.; SILVA, W. L.; SANTOS, R.; CONFALONIERI, U. Trends in Extreme Precipitation over Espírito Santo State - Southeast Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 41, n. 1, p. 365–381, 16 maio 2018. DOI 10.11137/2018_1_365_381. Disponível em:
<https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/27807>.
- ROBERTO DE LIMA, J.; ROCHA MAGALHÃES, A. Secas no Nordeste: registros históricos das catástrofes econômicas e humanas do século 16 ao século 21. **Parcerias Estratégicas**, [s. l.], v. 23, n. 46, p. 191–212, 2018. .

RUSSO, S.; DOSIO, A.; GRAVERSEN, R. G.; SILLMANN, J.; CARRAO, H.; DUNBAR, M. B.; SINGLETON, A.; MONTAGNA, P.; BARBOLA, P.; VOGT, J. V. Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 119, p. 1–13, 2014. <https://doi.org/10.1002/2014JD022098>. Received.

SEN, P. K. Estimates of the Regression Coefficient based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association**, [s. l.], v. 63, n. 324, p. 1379–1389, 1968. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2285891>.

SILLMANN, J.; DONAT, M. G.; FYFE, J. C.; ZWIERS, F. W. Observed and simulated temperature extremes during the recent warming hiatus. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 9, n. 6, p. 1–8, 2014. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/6/064023>.

SILVA, B. F. P. da; RAMOS, H. E. do A.; SILVA, J. G. F. da; HOLLANDA, M. P. de. Chuva extrema: O caso de dezembro de 2013 no estado do Espírito Santo. **Incaper em revista**, [s. l.], v. 4 e 5, n. 1, p. 113, 2014.

SILVA, M. E. S.; SILVA, C. B. Variabilidade Climática – Processos Físicos E Dinâmicos Nos Oceanos E Atmosfera. **Geography Department, University of Sao Paulo**, [s. l.], n. 2012, p. 372–406, 2012. <https://doi.org/10.7154/rdg.2012.0112.0016>.

SOARES, W. R. CONCEITOS BÁSICOS PARA O ENTENDIMENTO SOBRE AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. In: JUNIOR, N. C. R.; NOBRE, C. A.; SANTOS, J. M.; PEZZOPANE, J. E. M. (orgs.). **Mudanças Climáticas: efeitos sobre o Espírito Santo**. Vitória: PACO EDITORIAL, 2023. p. 17–40.

SORRE, Ma. **Les Fondements de la Géographie Humaine**. 1. ed. Colin: Tome Premier: Les fondements biologiques. Paris: Armand, 1951.

SUI, Y.; CHEN, Y. Signals in temperature extremes emerge in China during the last millennium based on CMIP5 simulations. **Climatic Change**, v. 172, n. 3–4, p. 1–18, 2022. DOI 10.1007/s10584-022-03377-0. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03377-0>.

TONON, I.; CAÑELLAS, K. Resiliência Urbana às Mudanças Climáticas – ESTUDO DE CASO: INUNDAÇÕES NA BACIA DE BENTO FERREIRA EM VITÓRIA, ES. In: EDITORIAL, P. (org.). **Mudanças Climáticas: Efeitos sobre o Espírito Santo**. 1. ed. Jundiaí: [s. n.], 2023. p. 112–144.

TRENBERTH, K. E. Conceptual framework for changes of extreme of the hydrological cycle with climate change, 1999. .

VASCONCELLOS, F. C.; REBOITA, M. S. Clima da Região Sudeste. In: IRACEMA F. A. CAVALCANTI, N. J. F. (org.). **Clima das regiões brasileiras e variabilidade climática**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. p. 43–60.

VASCONCELLOS, F. C.; REBOITA, M. S. Clima da Região Sudeste. In: IRACEMA F. A. CAVALCANTI, N. J. F. (org.). **Clima das regiões brasileiras e variabilidade climática**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. p. 43–60.

WALLACE, J. M.; GUTZLER, D. S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. **Monthly Weather Review**, v. 109, n. 4, p. 784–812, 1981. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1981\)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1981)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2).

WMO, W. M. O. **State of the Global Climate 2023**. 1. ed. Geneva: WMO, 2024.

WORD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Impact of weather and climate extremes. **Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation**, [s. l.], n. 72, p. 55, 2009. Disponível em: <https://library.wmo.int/idurl/4/48826>.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Guidelines on analysis of extremes in

a changing climate in support of informed decisions for adaptation. **World Meteorological Organization**, Genova, v. 72, n. 1500, 2009. .

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Impact of weather and climate extremes**. Genova: [s. n.], 2009.

XAVIER, T. C.; OLIVEIRA, W. D.; FIALHO, E. S. Análise das condições de conforto térmico da cidade de Vitória, ES. **Geography Department University of Sao Paulo**, [s. l.], v. 41, p. e172471, 2021. <https://doi.org/10.11606/eissn.2236-2878.rdg.2021.172471>.

YNOUE, R. Y.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZ, T.; SILVA, G. A. M. da. **Meteorologia - noções básicas**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: www.ofitexto.com.br.

ZANOTELLI, C. L.; FERREIRA, F. C.; BERGAMASCHI, L. M. de; BETTIM, A. R. A renda da terra na Região Metropolitana da Grande Vitória – ES – Brasil. **Confins**, [s. l.], v. 21, n. 21, p. 9, 2014. <https://doi.org/https://doi.org/10.4000/confins.9738>.

ZHANG, X.; ALEXANDER, L.; HEGERL, G. C.; JONES, P.; TANK, A. K.; PETERSON, T. C.; TREWIN, B.; ZWIERS, F. W. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. **WIREs Climate Change**, [s. l.], v. 2, n. 6, p. 851–870, 2011. <https://doi.org/10.1002/wcc.147>.

ZHANG, X.; TANK, A. M. G.; ZWIERS, F. W. Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. **World Meteorological Organization**, Genova, v. 72, n. 1500, 2009. .

ZILLI, M. T.; CARVALHO, L. M. V.; LINTNER, B. R. The poleward shift of South Atlantic Convergence Zone in recent decades. **Climate Dynamics**, [s. l.], v. 52, n. 5–6, p. 2545–2563, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4277-1>.

ZILLI, M. T.; CARVALHO, L. M. V.; LIEBMANN, B.; SILVA, M. A. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. **International Journal of Climatology**, [s. l.], v. 37, p. 2269–2279, 2017. <https://doi.org/10.1002/joc.4840>.