



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E COMPUTAÇÃO CIENTÍFICA  
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA APLICADA



MILENA LUMI HANGAI

**Análise de eventos extremos e tendências da precipitação e da  
temperatura por meio de séries históricas, no estado de São  
Paulo**

Campinas  
28/06/2023

MILENA LUMI HANGAI

**Análise de eventos extremos e tendências da precipitação e da temperatura por meio de séries históricas, no estado de São Paulo**

Monografia apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção de créditos na disciplina Projeto de Extensão Supervisionado, sob a orientação do(a) Prof. Ana Maria Heuminski de Ávila.

## Resumo

A mudança climática é um tema cada vez mais relevante em escala global, afetando diversas regiões do planeta. No caso do Brasil, as características geográficas tornam o país especialmente vulnerável a desastres hidrometeorológicos. Com isso em mente, esta monografia teve como objetivo avaliar os eventos climáticos extremos nos municípios de Piracicaba, Campinas e São Paulo, a fim de identificar possíveis tendências de mudanças climáticas que ocorreram entre os anos de 1940 e 2018. A metodologia adotada envolveu a análise de dados climáticos provenientes de estações meteorológicas localizadas nessas regiões. Foram utilizados índices climáticos desenvolvidos pelo ETCCDI, e o software RCLimDex foi empregado para o cálculo desses índices, além da aplicação de testes de homogeneidade para detectar possíveis anomalias nos dados. Como resultado dessa análise, foram obtidas informações sobre as variações na precipitação e temperatura ao longo do período de estudo. Além disso, foram gerados gráficos que contribuem para a visualização das tendências e padrões climáticos ao longo do tempo, evidenciando as mudanças nas características climáticas das regiões estudadas. Dessa forma, este estudo fornece reflexões sobre as possíveis mudanças climáticas ocorridas nos municípios supracitados contribuindo para o entendimento das consequências da mudança climática no Brasil e destacando a importância de ações e políticas voltadas para a mitigação e adaptação a essas transformações.

## Abstract

Climate change is an increasingly relevant topic on a global scale, affecting various regions of the planet. In the case of Brazil, its geographical characteristics make the country particularly vulnerable to hydro-meteorological disasters. With this in mind, this monograph aimed to evaluate extreme weather events in the municipalities of Piracicaba, Campinas, and São Paulo, in order to identify possible trends in climate change that occurred between 1940 and 2018. The methodology involved analyzing climate data from meteorological stations located in these regions. Climate indices developed by the ETCCDI were used, and the RClimDex software was employed to calculate these indices, along with homogeneity tests to detect possible anomalies in the data. As a result of this analysis, information was obtained regarding variations in precipitation and temperature over the study period. Additionally, graphs were generated to visualize the trends and climate patterns over time, highlighting the changes in the climatic characteristics of the studied regions. Therefore, this study provides insights into the possible climate changes that have occurred in the aforementioned municipalities, contributing to the understanding of the consequences of climate change in Brazil and emphasizing the importance of actions and policies aimed at mitigating and adapting to these transformations.

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Metodologia</b>	<b>8</b>
2.1	Obtenção dos Dados . . . . .	8
2.2	RClimDex . . . . .	9
2.3	Teste da Homogeneidade . . . . .	9
2.4	Cálculo dos Índices . . . . .	10
2.4.1	Precipitação - Rx1day . . . . .	10
2.4.2	Precipitação - Rx5day . . . . .	10
2.4.3	Precipitação - R10mm . . . . .	11
2.4.4	Precipitação - R20mm . . . . .	11
2.4.5	Precipitação - CDD . . . . .	11
2.4.6	Precipitação - CWD . . . . .	11
2.4.7	Precipitação - R95pTOT . . . . .	12
2.4.8	Precipitação - R99pTOT . . . . .	12
2.4.9	Precipitação - PRCPTOT . . . . .	12
2.4.10	Temperatura - SU . . . . .	12
2.4.11	Temperatura - TR . . . . .	12
2.4.12	Temperatura - TXx . . . . .	13
2.4.13	Temperatura - TNx . . . . .	13
2.4.14	Temperatura - TXn . . . . .	13
2.4.15	Temperatura - TNn . . . . .	13
2.4.16	Temperatura - TN10p . . . . .	13
2.4.17	Temperatura - TX10p . . . . .	14
2.4.18	Temperatura - TN90p . . . . .	14
2.4.19	Temperatura - TX90p . . . . .	14
2.4.20	Temperatura - DTR . . . . .	15
2.5	Visualização Gráfica . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Resultados e Discussões</b>	<b>15</b>

3.1	Precipitação . . . . .	15
3.2	Temperatura . . . . .	19
<b>4</b>	<b>Conclusão</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>24</b>

# 1 Introdução

O tema mudança climática tem sido cada vez mais frequente na vida de todos, isso porque as estamos vivenciando em diversas partes do planeta. De acordo com diversos estudos, o território brasileiro é mais facilmente afetado por desastres de natureza hidrometeorológica, devido às suas características geográficas (MARENGO, 2017). Projeções mostram uma mudança relevante em eventos extremos de precipitação resultando em um aumento de deslizamentos de terra e enchentes, trazendo impactos nos sistemas naturais e sociais (MARENGO, 2022).

Segundo Carvalho (2021), a análise das variáveis meteorológicas é importante para o entendimento do clima de uma determinada região, pois a partir de seu estudo, é possível identificar padrões sazonais, tendências de longo prazo e anomalias climáticas. Ávila-Diaz et al. (2020) utilizaram os índices do Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) para analisar variações climáticas nas principais bacias hidrográficas brasileiras (1980-2016).

Destacam-se as regiões sul e sudeste do Brasil, incluindo regiões metropolitanas com alto desenvolvimento econômico e populosas, onde os desastres podem se intensificar tanto em frequência quanto em magnitude (MARENGO, 2022). Segundo Blain (2011), estudos indicam significativas tendências de elevação em séries anuais de temperatura média máxima e, especialmente média mínima do ar no estado de São Paulo.

Para Campinas - SP, uma das cidades analisadas neste trabalho, há tendências de ondas de calor mais duradouras e frequentes (OLIVEIRA, 2021). A cidade apresenta o mesmo padrão de mudança climática global, com aumento de temperatura principalmente a partir de 1980 (CORREIA, 2020).

Sendo assim, o objetivo desta monografia é avaliar, através de três séries históricas (Piracicaba, Campinas e São Paulo) de estações meteorológicas distintas e próximas entre si, os eventos extremos ocorridos na região e identificar possíveis tendências de mudanças. Através da análise do amplo banco de dados, busca-se compreender de forma mais completa as características climáticas e identificar possíveis mudanças significativas que estejam ocorrendo.

Para alcançar esse objetivo, foram analisados 20 índices responsáveis pela de-

tecção de tendência de mudanças climáticas, os quais são utilizados pelo ETCCDI, juntamente com o programa RClimDex 1.1.

O ETCCDI é um grupo de especialistas que faz parte do World Climate Research Program (WCRP) e tem como objetivo desenvolver e promover índices climáticos para a detecção e avaliação de mudanças climáticas (ZHANG, 2020)

## 2 Metodologia

### 2.1 Obtenção dos Dados

Foram utilizadas três séries temporais de dados climáticos de diferentes estações meteorológicas: Instituto Agrônômico de Campinas (IAC) em Campinas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) em São Paulo e Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) da Universidade de São Paulo em Piracicaba de 1940 - 1918.

As estações meteorológicas possuem as seguintes coordenadas geográficas:

- Instituto Agrônômico de Campinas (Campinas): -47,072900 O; -22,867400 S
- Estação Meteorológica IAG/USP (São Paulo): -46,7319 O; -23,5567 S
- Posto Meteorológico - ESALQ/USP (Piracicaba): -47,6262 O; -22,7101 S

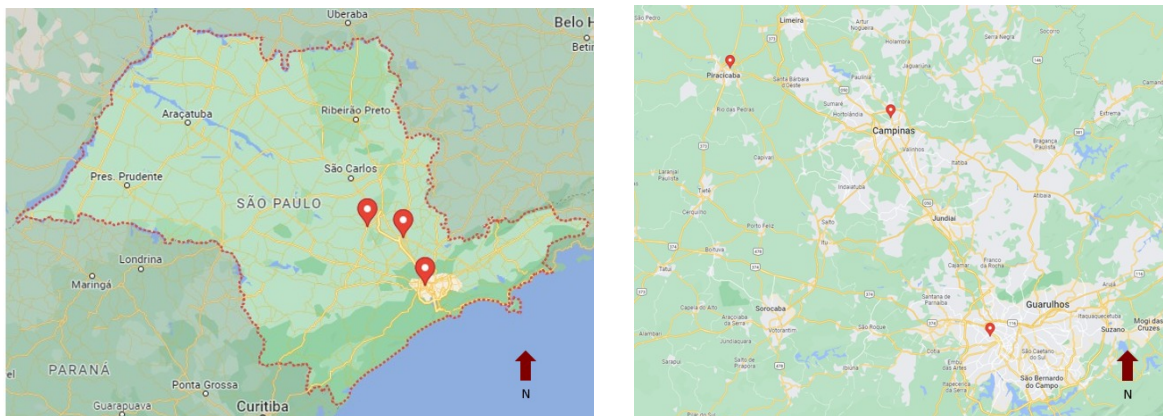


Figura 1: Da esquerda para a direita, estações meteorológicas da ESALQ (Piracicaba), do IAC (Campinas) e IAG (São Paulo)



Para organizar os dados de acordo com os requisitos do RClimDex, foram utilizadas ferramentas básicas do Excel e macros personalizadas.

## 2.2 RClimDex

O RClimDex é um software desenvolvido com base na linguagem de programação R, com o propósito de viabilizar as análises das séries temporais por meio dos índices climáticos. Essa ferramenta proporciona uma abordagem eficiente para a análise de dados climáticos, permitindo o cálculo de índices específicos com base em períodos determinados.

Além disso, o RClimDex pode gerar representações gráficas dos resultados obtidos, o que contribui para uma melhor compreensão e visualização dos dados climáticos analisados. Essa funcionalidade auxilia os pesquisadores na interpretação e na comunicação dos resultados, além de facilitar a identificação de tendências e padrões nos extremos climáticos.

## 2.3 Teste da Homogeneidade

Após a obtenção e correção dos dados, foi realizado o teste de homogeneidade em cada uma das séries temporais. Com o auxílio do RClimDex, os dados levantados nos dão informações estatísticas sobre a distribuição e o valor-p. Este resultado do valor-p define qual o grau de homogeneidade da série. Valores menores que 0,05 representam a não-homogeneidade, enquanto valores acima de 0,05 representam a homogeneidade.

A aplicação do Teste de Homogeneidade nos bancos de dados é essencial para detectar qualquer anomalia causada por diversos fatores, como por exemplo, mudança do local da estação meteorológica, construção de algum prédio ao lado da estação, entre outros (ETCCDI, 2020).

Portanto, após a obtenção das séries temporais, o primeiro passo foi a aplicação do Teste de Homogeneidade em cada um dos três bancos de dados. O objetivo da homogeneização dos dados climáticos é ajustar as informações, se necessário, para que as variações temporais nos dados ajustados sejam causadas apenas por processos climáticos (ETCCDI, 2020).

Assim, a aplicação do teste de homogeneidade nas séries temporais viabilizará

o estudo destas a partir de índices criados pelo Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) através do programa RClimDex. Este estudo, além de obter informações através dos índices, permitirá a geração de gráficos para uma melhor compreensão das tendências futuras.

## 2.4 Cálculo dos Índices

Após a confirmação da homogeneidade das séries temporais, foram calculados os índices climáticos para cada uma delas. O ETCCDI desenvolveu um conjunto de 27 índices climáticos padronizados que são amplamente adotados pela comunidade científica para estudar e analisar as mudanças climáticas. Esses índices, são parâmetros utilizados para avaliar as alterações no clima ao longo do tempo. Essas medidas auxiliam na detecção e entendimento de tendências e padrões climáticos que podem indicar mudanças no clima de um determinado local, como aumentos de temperatura, variabilidade na precipitação, eventos climáticos extremos, entre outros fatores.

Dentre os 27 índices estudados, foram utilizados somente 20 deles, sendo 9 relacionados a precipitações e 11 relacionados a temperatura, como segue.

Para uma melhor explicação do cálculo dos índices, vamos tomar por base a estação meteorológica do IAC e o ano de 2018.

### 2.4.1 Precipitação - Rx1day

O índice Rx1day é dado pela quantidade de chuva no dia com a maior precipitação no ano. Como nossa série trabalha com 78 anos, teremos 78 valores de Rx1day para cada estação.

No exemplo do IAC em 2018, a maior precipitação foi o dia 04/11 com 74,7mm, esse é o valor do índice Rx1day para 2018 no IAC.

### 2.4.2 Precipitação - Rx5day

O índice Rx5day é calculado encontrando a maior soma de precipitação acumulada ao longo de cinco dias consecutivos dentro de um ano. Em outras palavras, é identificado o maior total de chuva que ocorreu durante um período contínuo de cinco

dias consecutivos, e esse valor é considerado como o índice Rx5day.

No exemplo do IAC em 2018, o Rx5day é a soma de precipitação dos dias 24 a 29/11 resultando em 114,5mm.

#### **2.4.3 Precipitação - R10mm**

O índice R10mm é calculado contando o número de dias em um ano em que a precipitação foi igual ou superior a 10mm.

No exemplo do IAC em 2018, houve 36 dias em que a precipitação foi maior ou igual a 10mm.

#### **2.4.4 Precipitação - R20mm**

O índice R20mm é calculado contando o número de dias em um ano em que a precipitação foi igual ou superior a 20mm.

No exemplo do IAC em 2018, houve 20 dias em que a precipitação foi maior ou igual a 20mm.

#### **2.4.5 Precipitação - CDD**

O índice CDD (dias secos consecutivos) é calculado contando o maior número de dias consecutivos em que não há registro de chuva igual ou superior a um valor específico (geralmente 1mm). Se não houver chuva por um determinado número de dias consecutivos, esse valor é adicionado ao índice CDD.

No exemplo do IAC em 2018, a maior quantidade de dias secos consecutivos foi 47, do dia 14/06 até 30/07.

#### **2.4.6 Precipitação - CWD**

O índice CWD (dias úmidos consecutivos) é calculado contando o maior número de dias consecutivos com registro de chuva em um ano. É necessário identificar sequências contínuas de dias em que ocorre alguma quantidade de precipitação, sem intervalos secos.

No exemplo do IAC em 2018, a maior quantidade de dias úmidos consecutivos foi 8, do dia 31/07 até 07/08.

#### **2.4.7 Precipitação - R95pTOT**

O índice R95pTOT é dado pela soma da quantidade de chuva registrada nos dias que estão entre os 5% mais chuvosos do ano.

No exemplo do IAC em 2018, há 98 dias chuvosos, então calculamos 5% de 98 resultando em aproximadamente 5. Isso significa que devemos somar a quantidade de precipitação dos 5 dias mais chuvosos de 2018. Assim, o R95pTOT é 291,8mm

#### **2.4.8 Precipitação - R99pTOT**

O índice R95pTOT é dado pela soma da quantidade de chuva registrada nos dias que estão entre os 1% mais chuvosos do ano.

No exemplo do IAC em 2018, há 98 dias chuvosos, então calculamos 1% de 98 resultando em aproximadamente 1. Isso significa que devemos levar em consideração a quantidade de precipitação do dia mais chuvosos de 2018. Assim, o R99pTOT é 74,7mm

#### **2.4.9 Precipitação - PRCPTOT**

O índice PRCPTOT é calculado somando-se a precipitação total anual, ou seja, é a soma de todas as quantidades de chuva registradas ao longo de um ano em uma determinada estação meteorológica.

No exemplo do IAC em 2018, o PRCPTOT é de 1154,5mm

#### **2.4.10 Temperatura - SU**

O índice SU (dias de verão), é dado pelo número de dias em um ano em que a temperatura máxima diária é superior ou igual a 25°C.

No exemplo do IAC em 2018, o índice SU é igual a 311, ou seja, de 365 dias, 311 registraram a temperatura máxima igual ou acima de 25°C.

#### **2.4.11 Temperatura - TR**

O índice TR (noites tropicais), é dado pelo número de dias em um ano em que a temperatura mínima diária é superior ou igual a 20°C.

No exemplo do IAC em 2018, o índice SU é igual a 51, ou seja, 51 dias registraram a temperatura mínima diária igual ou acima de 20°C.

#### **2.4.12 Temperatura - TXx**

O índice TXx é determinado a partir do valor máximo de temperatura máxima diária em um ano. Ele representa a temperatura máxima extrema, ou seja, o valor mais alto registrado durante esse período.

No exemplo do IAC em 2018, o índice TXx é 35,1°C no dia 16/12.

#### **2.4.13 Temperatura - TNx**

O índice TNx é determinado a partir do valor máximo de temperatura mínima diária em um ano. Ele representa a temperatura mínima extrema, ou seja, o valor mais alto registrado entre as temperaturas mínimas durante esse período.

No exemplo do IAC em 2018, o índice TNx é 22,1°C no dia 20/12.

#### **2.4.14 Temperatura - TXn**

O índice TXn é determinado a partir do valor mínimo de temperatura máxima diária em um ano. Ele representa a menor temperatura máxima registrada durante esse período.

No exemplo do IAC em 2018, o índice TXx é 15,1°C no dia 07/08.

#### **2.4.15 Temperatura - TNn**

O índice TNn é determinado a partir do valor mínimo de temperatura mínima diária em um ano. Ele representa a menor temperatura mínima registrada durante esse período.

No exemplo do IAC em 2018, o índice TXx é 5,8°C no dia 21/05.

#### **2.4.16 Temperatura - TN10p**

O índice TN10p (também chamado de índice de noites frias) é calculado determinando a porcentagem de dias em um ano em que a temperatura mínima diária é igual ou inferior a 10% do valor médio da temperatura mínima para aquele período.

No exemplo do IAC em 2018, a temperatura mínima média em fevereiro é 18,7°C e temos 13 dias com a temperatura mínima inferior a esse valor. Desses 13 dias, o índice seleciona os menores valores correspondentes a 10% desta amostragem, ou seja, 1 dia. A porcentagem desse dia em relação à fevereiro é de 3,57%. O RClimDex aplica essa metodologia para cada mês e faz uma média simples no final. Para esse ano de 2018 no IAC, o índice calculado foi de 2,75%.

#### **2.4.17 Temperatura - TX10p**

O índice TX10p (também chamado de índice de dias frios) é calculado determinando a porcentagem de dias em um ano em que a temperatura máxima diária é igual ou inferior a 10% do valor médio da temperatura máxima para aquele período.

O processo para determinar esse índice é o mesmo do anterior (TN10p), porém o cálculo é baseado na temperatura máxima média, apontando os dias mais frios do período.

#### **2.4.18 Temperatura - TN90p**

O índice TN90p (noites quentes) é calculado determinando a porcentagem de dias em um ano em que a temperatura mínima diária é igual ou superior a 90% do valor médio da temperatura mínima para aquele período.

O resultado desse índice revela quantos dias do período tiveram uma temperatura mínima elevada, correspondente aos 90% superiores da amostragem.

No exemplo do IAC em 2018, a porcentagem de dias com essa característica foi de 16,96%.

#### **2.4.19 Temperatura - TX90p**

O índice TX90p é calculado determinando a porcentagem de dias em um ano em que a temperatura máxima diária é igual ou superior a 90% do valor médio da temperatura máxima para aquele período.

Assim como no índice anterior, o TX90p indica a quantidade de dias que tiveram uma temperatura máxima muito elevada.

No exemplo do IAC em 2018, o índice calculado resultou em uma porcentagem de 21,03%.

#### 2.4.20 Temperatura - DTR

O índice DTR (Amplitude térmica diária) é calculado como a diferença média entre a temperatura máxima diária e a temperatura mínima diária em um ano.

No exemplo do IAC, calcula-se a média simples das diferenças através do seguinte cálculo:  $\frac{T_{max}-T_{min}}{n}$

Neste caso, o índice DTR resultou em 11,6.

### 2.5 Visualização Gráfica

Após rodar todas as séries temporais no RClimDex e gerar os índices escolhidos, foi utilizado o software RStudio para a geração de gráficos de forma que os resultados ficassem mais visíveis.

## 3 Resultados e Discussões

### 3.1 Precipitação

A partir dos gráficos gerados, é possível fazer uma análise a respeito das tendências que cada uma das estações meteorológicas apresentam.

Os primeiros índices analisados foram os índices Rx1day e Rx5day. Percebe-se na Figura 2 uma tendência positiva para ambas as estações IAC e IAG, indicando um aumento do volume da maior precipitação anual. Este resultado indica que os maiores eventos de chuvas em um ano estão apresentando maior magnitude durante o período avaliado (CORREIA, 2020)

A maior diferença entre os gráficos encontrados dos índices Rx1day e Rx5day é a tendência da estação da ESALQ. Enquanto no índice Rx1day a série apresenta uma tendência negativa, para o índice Rx5day ela quase não apresenta nenhuma tendência. Isso mostra uma diminuição do maior volume de precipitação registrado em um dia, mas uma tendência estática de precipitação mensal em 5 dias consecutivos.

Baseado na análise dos dados, pode-se afirmar que o volume de chuvas no IAC é maior que na ESALQ e que os índices têm uma tendência semelhante.

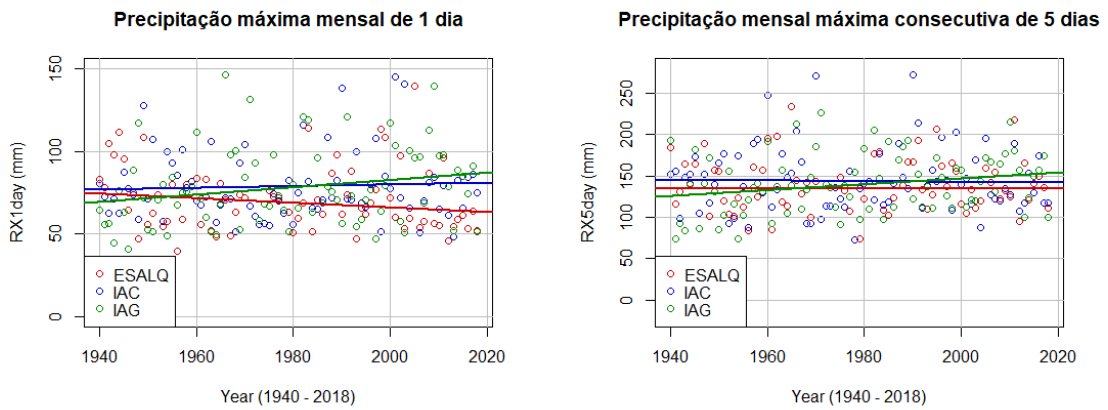


Figura 2: Índice Rx1day e Índice Rx5day

Os próximos índices a serem analisados são os índices R10mm e R20mm. Na figura 3, é perceptível que o volume de precipitações é maior no IAC e no IAG do que na ESALQ. A média dos dias com precipitação maior que 10mm foi de aproximadamente 10% maior no IAC. Os gráficos mostram tendências praticamente nulas para o IAC e a ESALQ e possuem padrões muito parecidos, enquanto que há uma tendência positiva para o IAG.

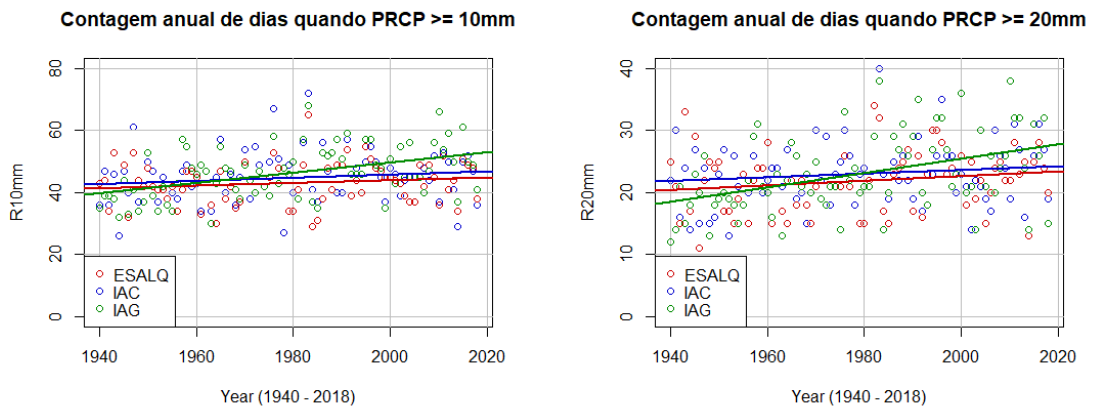


Figura 3: Índice R10mm e Índice R20mm

Em seguida, tem-se os índices CDD e CWD (Figura 4). Eles são muito importantes para uma compreensão mais aprofundada dos períodos mais chuvosos e secos ao longo do ano. Esses índices desempenham um papel crucial na caracterização dos padrões de seca e chuva em uma determinada região.



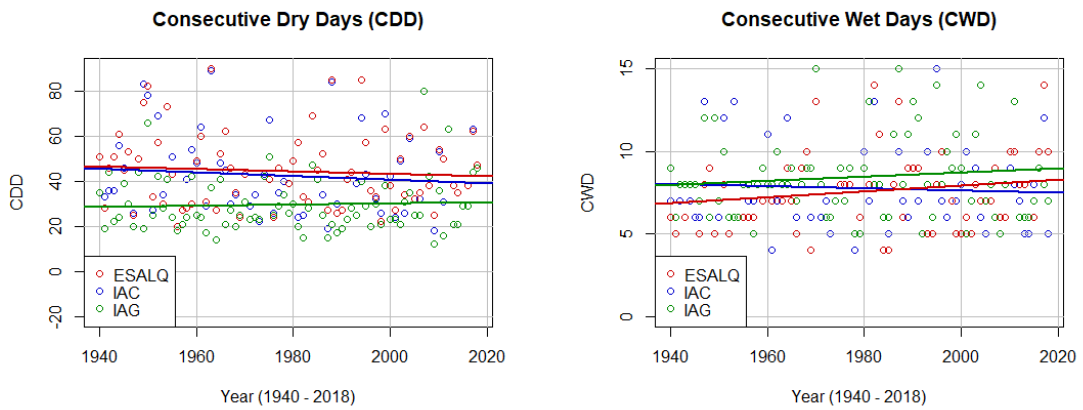


Figura 4: Índice CDD e Índice CWD

O índice CDD representa a quantidade de dias consecutivos sem chuva durante o ano. Nas estações do IAC e da ESALQ, o índice apresenta uma tendência levemente negativa, resultado que está de acordo com o trabalho de Correia (2020) e Sangiolo (2008), respectivamente. Este resultado indica uma maior ocorrência na concentração das chuvas em curtos períodos. Na estação do IAG, a tendência é nula e a média esperada para o índice é consideravelmente menor que nas outras duas estações.

Diferentemente do índice anterior (CDD), o índice CWD representa a quantidade de dias consecutivos com chuva durante o ano. O CWD pode ser útil para identificar áreas sujeitas a inundações (MARENCO, 2022)

No resultado obtido, o índice apresenta uma leve tendência positiva, praticamente nula no caso da estação do IAC, indicando maiores períodos de seca. Já para ambas as estações ESALQ e IAG, há uma tendência levemente positiva, mostrando que o maior período de dias consecutivos úmidos tem aumentado, resultado que entra em consenso com o trabalho de Marengo (2022).

Os próximos índices a serem analisados são os índices R95pTOT e R99pTOT (Figura 5). A análise destes índices mencionados é de grande importância, uma vez que eles fornecem indicações sobre as chuvas que têm o potencial de recarregar os reservatórios (ARAÚJO et BRITO apud CORREIA, 2020)

Em relação ao índice R95pTOT, destaca-se a reta correspondente a estação meteorológica do IAG, indicando um aumento relevante de quantidade de dias muito chuvosos

em São Paulo (um aumento de mais de 200mm em 80 anos). Já as estações do IAC e ESALQ apresentam uma reta estável com uma tendência levemente negativa, ou seja, ambas as estações tiveram uma leve redução de quantidade de dias muito chuvosos.

Por outro lado, em relação ao índice R99pTOT, a reta correspondente a ESALQ chama atenção com sua tendência negativa, mostrando uma diminuição de dias extremamente chuvosos. As outras estações mantêm o mesmo padrão do índice analisado no parágrafo anterior.

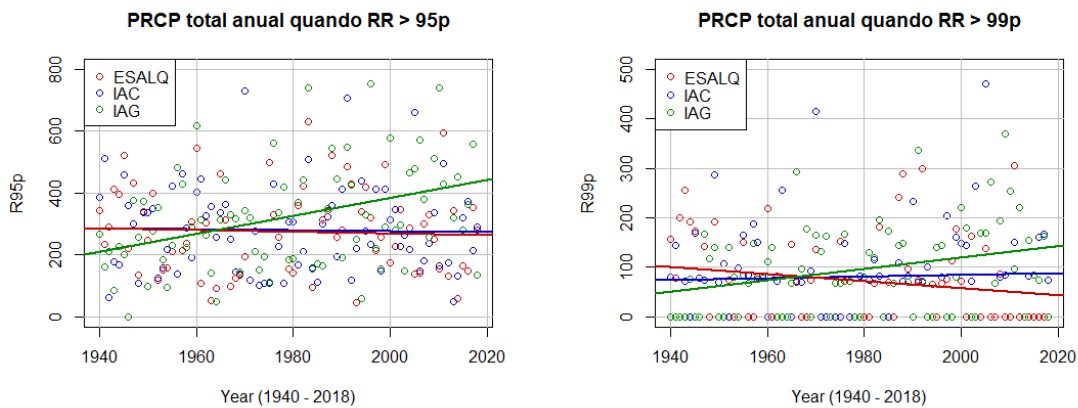


Figura 5: Índice R95pTOT e Índice R99pTOT

Por fim, o último índice a ser analisado dentro dos índices de precipitação é o PRCPTOT (Figura 6).

Ao comparar as curvas do índice PRCPTOT, foi possível analisar as diferenças e semelhanças nos padrões de precipitação total anual entre as três estações meteorológicas.

Das três estações analisadas, destaca-se o posto meteorológico do IAG. Percebe-se uma tendência brusca de aumento na precipitação total anual. Ou seja, a cada ano que passa, espera-se um aumento da quantidade de precipitação total em todas as cidades analisadas, mas São Paulo mostra que esse aumento deve acontecer de forma mais súbita.

Por outro lado, ao avaliar os dados da estação do IAC e da ESALQ, observa-se maior homogeneidade na precipitação total anual. As retas de tendência são praticamente constantes ao longo do tempo, sugerindo que o total da precipitação anual se mantém relativamente estável. No entanto, é importante destacar que a média de precipitação para a estação IAC é maior em comparação com a ESALQ. Vale ressaltar que o autor

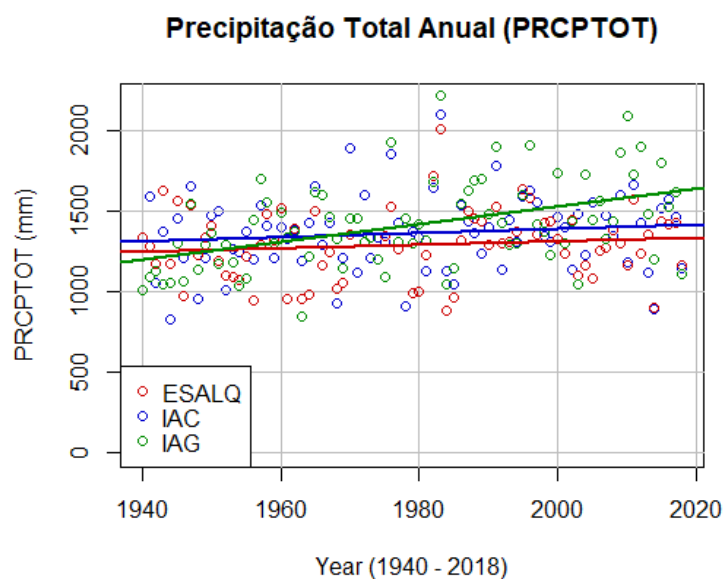


Figura 6: Índice PRCPTOT

Blain (2011) não encontrou tendência para o mesmo posto meteorológico em Piracicaba, no período de 1959 a 1999.

### 3.2 Temperatura

Iniciando a análise da variável de temperatura, foram calculados os índices SU (dias de verão) e TR (noites tropicais) (Figura 7).

Ao avaliar os gráficos correspondentes ao SU, observa-se uma tendência positiva nos índices analisados, principalmente na base meteorológica do IAG. Isso indica um aumento significativo no número de dias com temperatura máxima superior a  $25^{\circ}\text{C}$ , enquanto os postos das cidades de Campinas e Piracicaba mostram um aumento mas não tão significativo.

Analisando o índice TR, nota-se uma brusca tendência de aumento nas três estações, porém, ao contrário do índice SU, as cidades de Campinas e Piracicaba se destacam por ter um aumento mais brusco em relação a cidade de São Paulo.

Esses resultados reafirmam a tendência global de aumento de temperatura, como citado em diversas pesquisas a respeito do aquecimento global e mudanças climáticas como (Marengo, 2022). O aumento nas ocorrências de dias quentes e noites tropicais é

consistente com as mudanças climáticas observadas em escala mundial.

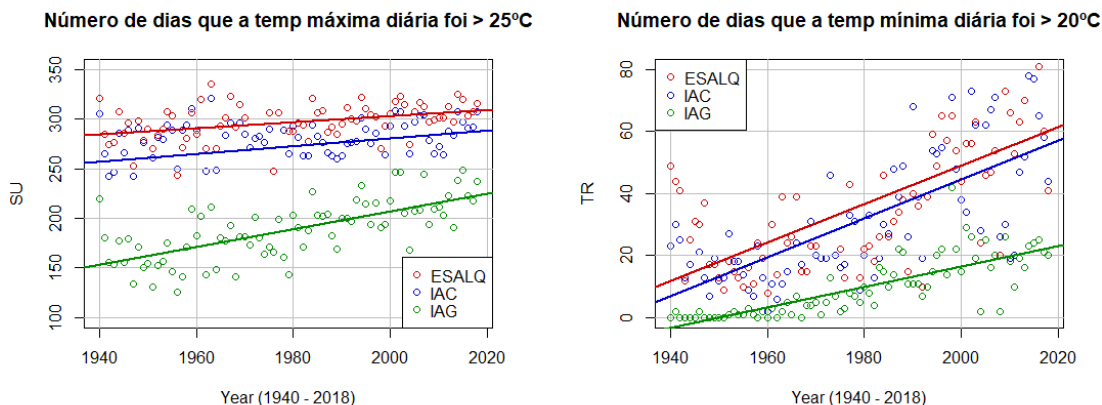


Figura 7: Índice SU e Índice TR

Prosseguindo com a análise das variáveis de temperatura, foram calculados os índices climáticos TXx, TNx, TXn e TNn (Figuras 8 e 9). Estes índices fornecem informações importantes sobre as variações extremas de temperatura ao longo do período analisado.

Novamente, os quatro índices demonstram uma tendência positiva considerável das temperaturas em seus extremos inferiores e superiores de temperatura ao longo dos anos, revelando uma tendência fortemente positiva. Isso indica que tanto as máximas como mínimas mensais estão cada vez maiores, se tornando uma preocupação para o futuro.

Percebe-se uma maior dispersão dos dados se compararmos os índices de maior e menor temperatura máxima (TXx e TXn, respectivamente) com os índices de maior e menor temperatura mínima (TNx e TNn, respectivamente), indicando uma maior variação de temperaturas máximas.

Os próximos índices calculados para análise foram: TN10p, TX10p, TN90p e TX90p (Figuras 10 e 11). Essas observações ressaltam a importância de considerar não apenas as médias de temperatura, mas também as variações nas temperaturas extremas ao longo do tempo e suas frequências.

Os índices TN10p e TX10p, que representam dias frios, mostram uma diminuição progressiva no percentual de dias com temperatura mínima e máxima abaixo do

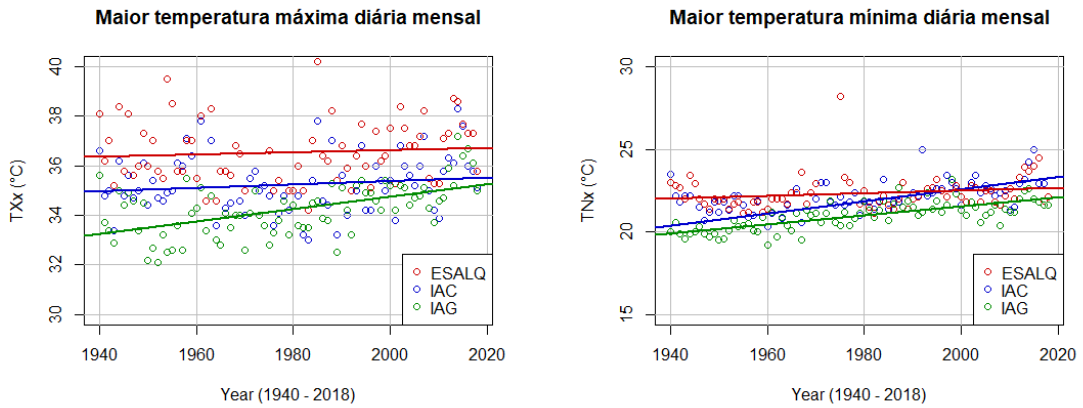


Figura 8: Índice TXx e Índice TNx

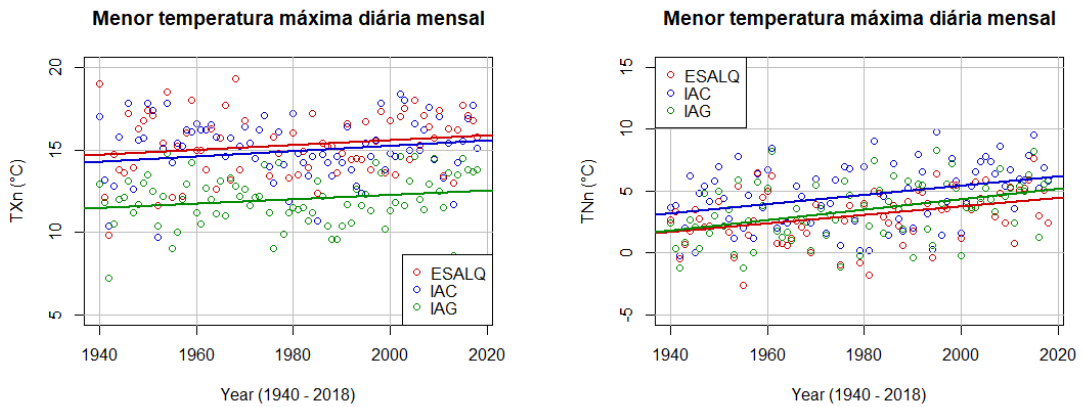


Figura 9: Índice TXn e Índice TNn

10<sup>o</sup> percentil. Isso indica um aumento nas temperaturas mínimas e máximas, mesmo em condições de temperaturas mais baixas. Esses resultados refletem a tendência do aquecimento global.

Por outro lado, os índices TN90p e TX90p, que representam dias quentes, apresentam uma tendência de crescimento. Isso significa que o percentual de dias com temperaturas mínimas e máximas acima do 90<sup>o</sup> percentil está aumentando a cada ano. Esses resultados reforçam a tendência de aumento nas temperaturas extremas e indicam que os dias quentes estão se tornando mais frequentes e mais intensos.

O último índice calculado e analisado foi o DTR (Amplitude térmica diária) (Figura 12), que representa a diferença média mensal entre a temperatura máxima e a

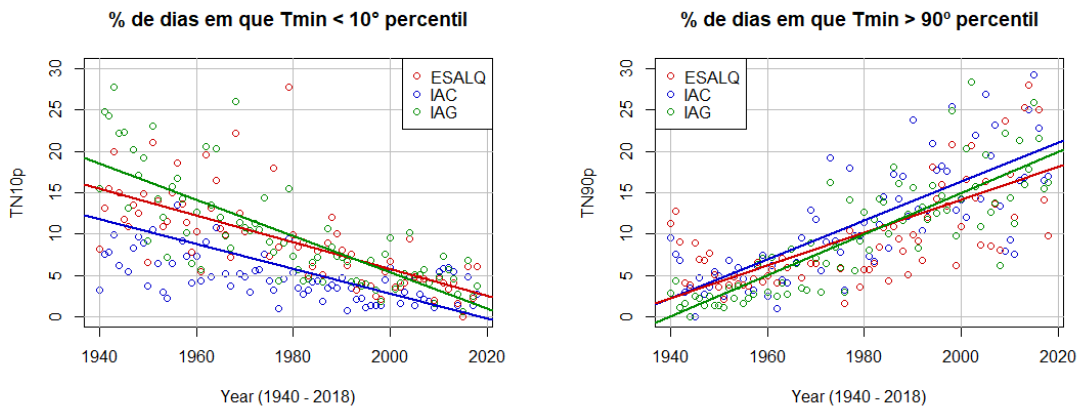


Figura 10: Índice TN10p e Índice TN90p

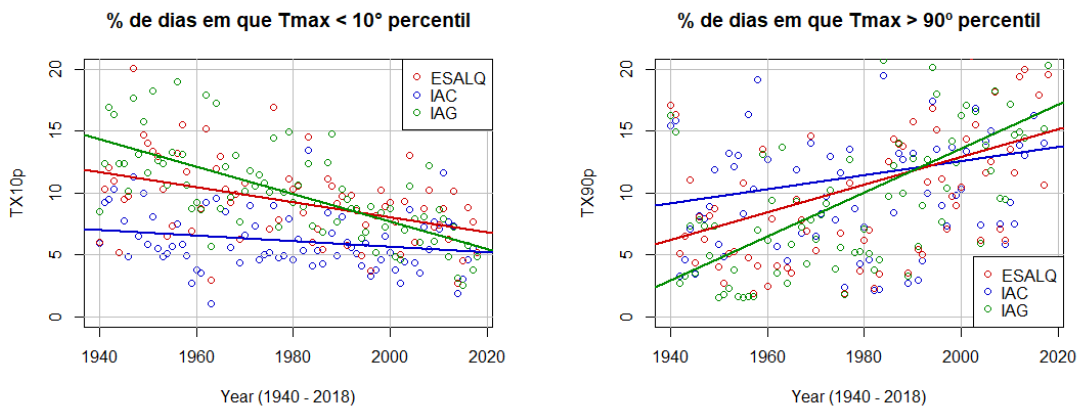


Figura 11: Índice TX10p e Índice TX90p

temperatura mínima. O DTR é uma medida importante para compreender as variações diárias de temperatura ao longo do ano.

Ao observar os gráficos correspondentes ao DTR, foi identificada uma tendência levemente negativa, destacando-se a estação do IAC, indicando que ao longo do período analisado, a diferença entre as temperaturas máximas e mínimas está diminuindo gradualmente.

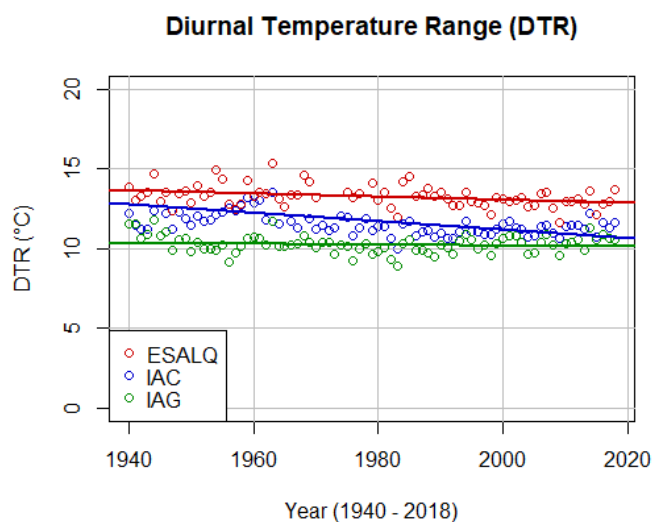


Figura 12: Índice DTR

## 4 Conclusão

Com base nos resultados e discussões apresentados, pode-se concluir que as análises realizadas revelam algumas tendências significativas relacionadas às variáveis climáticas estudadas.

As tendências analisadas permitem concluir que as cidades de Campinas, Piracicaba e São Paulo estão dentro do padrão de mudanças climáticas globais. As mudanças observadas na precipitação, no geral, mostram um aumento na tendência de ocorrer eventos extremos, resultado que está de acordo com o autor Marengo (2022) que afirma o maior impacto e frequência de eventos extremos em regiões metropolitanas do sul e sudeste do Brasil.

Além disso, os resultados mostram um aumento na temperatura média e nas temperaturas extremas ao longo do tempo, indicando uma tendência de aquecimento, resultado de acordo com diversas pesquisas. Portanto reflete as preocupações relacionadas ao aquecimento global e suas consequências.

É importante ressaltar que os resultados obtidos são baseados em análises de dados específicos e em um período de tempo limitado (1940 - 2018). Portanto, estudos futuros são necessários para confirmar, complementar e aprofundar essas conclusões.

## 5 Referências Bibliográficas

AVILA-DIAZ, Álvaro; BENEZOLI, Victor; JUSTINO, Flávio; TORRES, Roger; WILSON, Aaron. Assessing current and future trends of climate extremes across Brazil based on reanalyses and Earth system model projection. *Climate Dynamics*. vol. 55. p. 1403-1426, 2020.

CARVALHO, R. L. da S., Nascimento, B. I. S. do, Querino, C. A. S., Silva, M. J. G. da, & Delgado, A. R. S. (2021). Comportamento das séries temporais de temperatura do ar, umidade e precipitação pluviométrica no município de Ariquemes. *Revista Brasileira De Climatologia*, 18.

CORREIA, G. G. Avaliação de série histórica de dados para estudos em eventos extremos em Campinas. TCC (Bacharel em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2020.

Debortoli, N. S., Camarinha, P. I. M., Marengo, J. A., and Rodrigues, R. R. (2017). An index of Brazil's vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change. *Nat. Hazards* 86, 557–582. doi: 10.1007/s11069-016-2705-2

Karl, T.R., Nicholls, N., Ghazi, A. (1999). CLIVAR/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes Workshop Summary. In: Karl, T.R., Nicholls, N., Ghazi, A. (eds) *Weather and Climate Extremes*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-015-9265-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9265-9_2)

MARENGO, J. A. Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima - Impactos sociais e econômicos. *Mudanças Climáticas*, n.8, p. 1-5, maio 2009

MARENGO, J. A. Extreme rainfall and hydro-geo meteorological disaster risk in 1.5, 2.0, and 4.0°C global warming scenarios: an analysis for Brazil. *Front. Clim.* 3:610433. doi: 10.3389/fclim.2021.610433

OLIVEIRA, Fabiana L.; NUNES, Lucí H. A percepção climática no município de Campinas, SP: confronto entre morador urbano e o rural. *Geosul*, Florianópolis, v. 22, n. 43, p 77-102, jan./jun. 2007

SANSIGOLO, C., A., Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006), *Revista*



Brasileira de Meteorologia, v.23, n.3, p. 341-346, 2008, São José dos Campos

Zhang, X., et al. (2011). Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99. *Journal of Climate*, 22(17), 3661-3680.

ZHANG, Xuebin. ETCCDI Climate Change Indices, 2020. Disponível em [etccdi.pacificclimate.org/indices.shtml](http://etccdi.pacificclimate.org/indices.shtml). Acesso em: 08 de junho de 2023