

ANÁLISE CLIMÁTICA COMO SUBSÍDIOS ESTATÍSTICOS PARA A DISCUSSÃO SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PRODUÇÃO CAFEEIRA: O ESTUDO DE CASO DE CAMPINAS-SP

LARISSA VIEIRA ZEZZO¹; GUILHERME ALMUSSA LEITE TORRES¹;
ANGELICA PRELA PANTANO² E PRISCILA PEREIRA COLTRI³

¹ Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Rua Carlos Gomes, 250, Cidade Universitária, 13083-855, Campinas, São Paulo, Brasil. larisvz@gmail.com e guialmussa@gmail.com

² Centro de Biosistemas Agrícolas e Pós-colheita, Instituto Agronômico de Campinas. Av. Barão de Itapura, 1481, CEP 13012-970 Campinas, São Paulo, Brasil. angelica.pantano@sp.gov.br

³ Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura, Universidade Estadual de Campinas. R. Saturnino de Brito, Cidade Universitária, 13083970, Campinas, São Paulo, Brasil. pcoltri@cpa.unicamp.br

1 RESUMO

A ocorrência e intensidade de eventos climáticos extremos podem impossibilitar a produção cafeeira em algumas áreas do estado de São Paulo. O estudo analisou estatisticamente as tendências das precipitações e das temperaturas no período de 1990 a 2020, para Campinas-SP. As análises foram realizadas para as estações de verão e inverno. Para observação das tendências das séries temporais, foram realizados os testes estatísticos de Mann-Kendall, Pettitt e índices de temperatura: *Summer Days* (SU); e precipitação: *Consecutive Dry Days* (CDD). Identificou-se tendência no aumento das temperaturas máximas e mínimas, e diminuição das precipitações para ambas as estações do ano. O índice SU apresentou maior quantidade de dias com temperaturas acima de 25°C. Vale destacar que o valor de alfa é 0,05, o que indica que a significância dos dados é alta, com chance de 5% do método estatístico estar incorreto. No inverno, as maiores temperaturas máximas concentraram-se no mês de agosto, e as menores temperaturas mínimas no mês de julho. Para a precipitação, o índice CDD apontou maior concentração de dias com precipitação menor ou igual a 1mm entre 2010 e 2020. Evidenciaram-se alterações significativas nos padrões de temperatura e precipitação, as quais podem ser decisivas na produção cafeeira do município.

Palavras-chave: Estatística Climatológica, Temperatura, Precipitação, Aquecimento Global, Café.

ZEZZO, L.V.; TORRES, G.A.L.; PANTANO, A.P.; COLTRI, P.P
CLIMATE ANALYSIS AS STATISTICAL SUBSIDIES FOR THE DISCUSSION ON
CLIMATE CHANGE AND COFFEE PRODUCTION: THE CASE STUDY OF
CAMPINAS-SP

2 ABSTRACT

The occurrence and intensity of extreme weather events may make coffee production impossible in some areas of the state of São Paulo. The study analyzed statistically rainfall and temperature trends from 1990 to 2020, for Campinas-SP. The analyzes were carried out for the

summer and winter seasons. To observe the trends of the time series, the Mann-Kendall and Pettitt statistical tests and temperature indices were performed: Summer Days (SU); and precipitation: Consecutive Dry Days (CDD). A trend was identified in increasing maximum and minimum temperatures, and decreasing precipitation for both seasons of the year. The SU index showed a greater number of days with temperatures above 25°C. It is worth noting that the alpha value is 0.05, which indicates that the significance of the data is high, with a 5% chance of the statistical method being incorrect. In winter, the highest maximum temperatures were concentrated in August, and the lowest minimum temperatures in July. For precipitation, the CDD index showed a higher concentration of days with precipitation less than or equal to 1mm between 2010 and 2020. Significant changes were evident in temperature and precipitation patterns, which could be decisive in the municipality's coffee production.

Keywords: Climatological statistics, Temperature, Precipitation, Global warming, Coffee.

3 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, diversos trabalhos vêm apresentando a ocorrência de alterações significativas nos padrões de temperatura e precipitação em diversas partes do mundo (VILLA *et al.*, 2022; TORRES *et al.*, 2022). Particularmente, em relação as áreas de cultivo de café, essas alterações podem tanto inviabilizar a produção quanto aumentar os problemas no cultivo, como diminuição da qualidade (BESSADA *et al.*, 2018), aumento de doenças (ALFONSI *et al.*, 2019), entre outros.

Os resultados de alterações nos padrões climáticos mundiais, são compilados e disponibilizados ao público através dos relatórios emitidos pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) com o intuito de fornecer subsídios a discussão de suas prováveis origens antrópicas e potenciais medidas de adaptação e mitigação às mudanças climáticas (IPCC, 1992, 2007, 2014). O último relatório divulgado pelo Painel (IPCC, 2021) apresentou resultados de estudos com foco para as alterações regionais que vem ocorrendo ao redor do mundo, e, tais resultados possibilitam maior compreensão das possibilidades de ação por parte dos formuladores de políticas públicas. Alterações nos padrões climáticos

perpassam por diferentes setores sociais como indústria (UHLIG; GOLDEMBERG; COELHO, 2008), geração de energia (WALTER, 2007), planejamento urbano (LIMA; ZANELLA, 2011), saúde humana (FERNANDES; HACON; NOVAIS, 2021) e a produção agrícola e animal (TORRES *et al.*, 2022; MANICA *et al.*, 2022). Assim, facilitar a compreensão dos impactos que as mudanças climáticas vêm causando em escala regional auxilia os formuladores de políticas públicas na atuação mais precisa de medidas de adaptação e mitigação as mudanças climáticas.

Neste contexto, estudos aplicados ao clima com essência metodológica a estatística, ganharam representatividade na literatura científica por possibilitar uma melhor compreensão sobre a dinâmica climática atual. O Brasil, por exemplo, possui estudos realizados nesta área utilizando estações meteorológicas que buscaram caracterizar a dinâmica da precipitação e de temperatura nos estados de Santa Catarina (VIANNA *et al.*, 2017), São Paulo (BLAIN; PICOLI; LULU, 2009), Mato Grosso (GARCIA *et al.*, 2011), Amazonas (CORRÊA *et al.*, 2016) e Rio Grande do Norte (LIMA *et al.*, 2012). Contudo, diversas pesquisas também relatam a dificuldade de trabalhar com dados oriundos de estações meteorológicas por apresentarem falhas na leitura dos

fenômenos climáticos, o que compromete a confiabilidade dos dados para longos períodos de tempo (HAWKINS; SUTTON, 2009; RIBEIRO *et al.*, 2016), dificultando a realização de testes estatísticos com séries maiores e a obtenção de resultados cientificamente mais assertivos.

Assim, para além das técnicas de correção de dados climáticos que são amplamente utilizadas em pesquisas (BABA; VAZ; COSTA, 2014; JARDIM; SILVA, 2022), há a possibilidade de se utilizar de modelos matemáticos e estatísticos que, a partir de dados observados, geram uma ampla rede de pontos com diferentes variáveis meteorológicas, e estas ficam disponíveis para a realização de pesquisas estatísticas por apresentarem maior consistência temporal e espacial na série de dados (TAYYEH; MOHAMMED, 2023). Estudos comparativos entre dados fornecidos por estações meteorológicas e dados gerados por modelos, mostram baixas correlações para dados de precipitação quanto ao modelo da NASA Power, por exemplo (TORRES *et al.*, 2022; TORRES, 2022). Entretanto, há diferentes modelos orbitais e cada um tende a projetar melhor uma determinada variável climática (BENDER; SENTELHAS, 2015). Assim, a consistência temporal e espacial dos dados, bem como sua similaridade com a realidade se configura como um desafio de caráter metodológico para os estudos do clima.

Outro aspecto metodológico relacionado ao estudo das mudanças climáticas está na aplicação do estudo. Para a cafeicultura por exemplo, compreender as interações entre o clima e as plantações de café, considerando as características específicas de cada região produtora pode se configurar como uma tarefa complexa e abrangente, mas que rende importantes contribuições ao equacionamento da questão climática na produção de café.

O município de Campinas possui relevância econômico nacional, sendo área

de estudo em campos sociais, como a segurança pública (CAICEDO-ROA *et al.*, 2019) e a segregação socioespacial (ROLNIK *et al.*, 2015), bem como aspectos naturais, como estudos pedológicos (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992) e climáticos (CASTELLANO; NUNES, 2012). Além disso, possui uma produção agrícola e industrial de grande porte, contando com apoio de grandes centros de pesquisa e desenvolvimento como a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Em termos históricos, o município possui uma relação com a cafeicultura de café sequeiro que data do século XIX quando o município se tornou um dos grandes centros de produção de café e geração de riqueza do estado (FERRÃO, 2015; BARBOSA; FERRÃO, 2020).

Partindo destes pressupostos, o presente trabalho visa avaliar a possibilidade do uso dos dados de temperatura e precipitação do modelo de satélite *Nasa Power Project* para estudos climáticos em Campinas. Para tanto, foram realizados testes de correlação estatística entre os dados do modelo de satélite *Nasa Power Project* comparando-os com dados da estação meteorológica CIAGRO. Como objetivo secundário, foram avaliadas as tendências de mudanças na série de temperatura e precipitação da área de estudo, bem como as mudanças na frequência e intensidade dos dias com altas temperaturas e dias com baixa precipitação, possivelmente impactantes para a cultura do café. A relevância de se compreender o curso das alterações por meio de testes estatísticos fundamenta quantitativamente a discussão sobre a velocidade das mudanças climáticas a nível local, fornecendo subsídios para a tomada de decisões que visem estratégias adequadas de resiliência por parte da iniciativa privada e do poder público, principalmente relacionado ao setor cafeeiro.

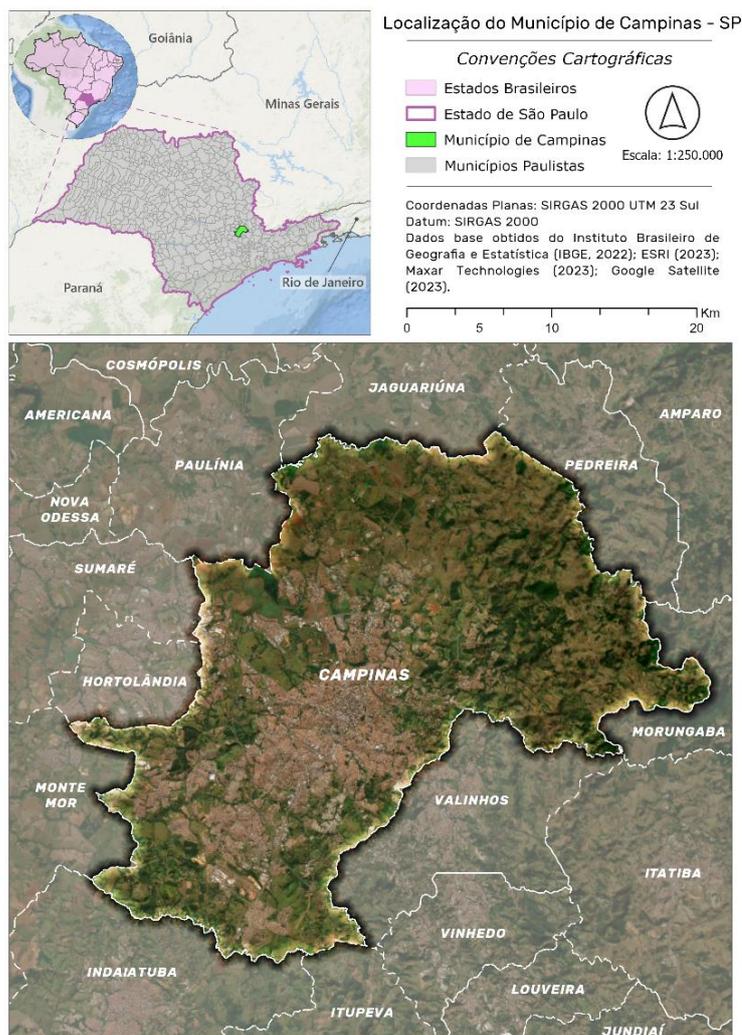
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido no município de Campinas, (latitude 22°53'20" S e

longitude 47°04'40" W), com 689 m de altitude (Figura 1), no Sudeste do Brasil. De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o município possui cerca de 1 milhão e 200 mil habitantes (IBGE, 2019).

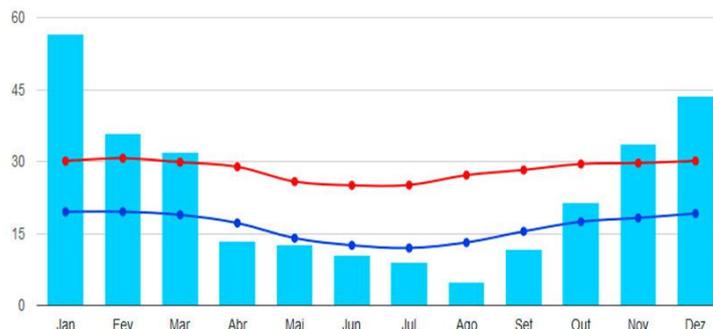
Figura 1. Localização da área de estudo.



Fonte: Autores (2023).

De acordo com a classificação de Köppen, a região de Campinas possui clima subtropical quente com invernos secos (Cwa), caracterizando-se por verões quentes e chuvosos, em que a precipitação média anual é de 1350 mm, a temperatura máxima no verão atinge 30°C e a temperatura

mínima, no inverno, 11°C (DOBBERT, 2015). A Figura 2 representa a normal climatológica do município de Campinas para as variáveis de temperatura máxima/mínima e precipitação com base no período 1990 a 2022.

Figura 2. Climograma do município de Campinas (1990-2022).

Fonte: CEPAGRI (2023).

Com relação a produção cafeeira, símbolo de prosperidade regional, é importante descrever que o cultivo de café só é viável em condições climáticas específicas, no que se refere a temperatura e volume de chuvas, o que permite o desenvolvimento fenológico das plantas e o manejo da cultura. Com isso, eventos extremos e alterações nas características climáticas podem ser decisivos no crescimento dessa cultura (TORRES *et al.*, 2022).

4.2 Validação dos dados climáticos

Os dados climáticos utilizados na presente pesquisa provêm do modelo *NASA Power Project* (www.power.larc.nasa.gov), o qual fornece um conjunto de dados meteorológicos de superfície estimados a partir de informações e modelos de satélite (SAYAGO *et al.*, 2020), em uma grade regular e contínua, sem falhas (SPARKS, 2018). Os dados da NASA são gerados em uma grade global de $\frac{1}{2}$ grau por $\frac{2}{3}$ de grau e posteriormente reticulados por interpolação bi-linear para uma grade global de meio grau de longitude por meio de latitude de arco (SAYAGO *et al.*, 2020).

Para área de estudo, obteve-se informações de uma única grade do modelo

(correspondente às coordenadas do município de Campinas), a partir da qual foram consideradas as variáveis de temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação, em uma escala diária, para o período que compreende 1990 a 2020 para as estações de verão e inverno.

Para a realização dos testes estatísticos de validação do modelo do *NASA Power Project*, foram utilizados dados observados da estação meteorológica do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) localizada em Campinas, no mesmo período de avaliação, que contempla 30 anos, correspondentes as estações de verão e inverno.

A validação foi realizada por meio do cálculo de viés (equação 1), que indica a tendência média da simulação ser maior ou menor que os dados observados (GUPTA; SOROOSHIAN; YAPO, 1999), e do erro quadrático médio (RMSE) (equação 2), estar relacionado ao desvio padrão dos erros (AVILLA-DIAZ *et al.*, 2020).

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (I(t) - \hat{I}(t)) \quad (1)$$

$$RSME = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (\hat{I}(t) - I(t))^2} \quad (2)$$

Onde, que $I(t)$ é a irradiância medida no tempo t , $\hat{I}(t)$ é o valor da irradiância prevista (pelo modelo) no tempo t e N é o número de pontos de dados no conjunto.

4.3 Testes estatísticos

Posteriormente aos cálculos de comparação, foram realizados os testes para análise de tendências em séries temporais. O teste não paramétrico, concebido por Mann (1945) e depois adaptado por Kendall (1975), verifica o valor da série histórica em relação aos demais valores, sempre seguindo um processo de ordenação sequencial, que conta o número de vezes que os termos restantes são maiores que o valor analisado. Esse teste baseia-se na rejeição ou aceitação de uma hipótese nula (H_0), a qual nega ou confirma a existência de uma tendência na série histórica analisada com um determinado nível de significância (95% para este estudo).

O teste de Mann-Kendall, como é conhecido, pode ser aplicado apenas se a série for serialmente independente, sendo

$$Var(S) = (n(n-1)(2n+5) - \sum_{c=1}^n t_c(c)(c-1)(2c+5))/18 \quad (5)$$

$$Z = \begin{cases} S - 1/\sqrt{Var(S)}, & S > 0 \\ 0, & S < 0 \\ (S + 1)/\sqrt{Var(S)}, & S = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Nesse caso, t_c acumula para t e c denota os tempos de interação. Para esse teste, o nível de significância é definido em 95%, o que também indica que o valor absoluto de Z deve ser maior ou igual a 1,96 (YANG *et al.*, 2020).

O teste de Mann-Kendall retorna como resultado uma lista de componentes, entre eles está o *tau de Kendall*, que representa o resultado estatístico resultante da realização do teste, valor este que será avaliado para compreender a presença de

aplicado nesse estudo para o período de verão (dezembro a março) e de inverno (junho a setembro) dos anos de 1990 a 2020, a fim de compreender alterações nos padrões de temperatura e precipitação nessas duas estações do ano, que apresentam características marcantes e antagônicas de temperatura e precipitação.

Calcula-se o teste de tendência de Mann-Kendall através das equações 3 e 4 (HIRSCH; SLACK, 1984):

$$S = \sum_{c=1}^{n-1} \sum_{d=c+1}^n sign(x_d - x_c) \quad (3)$$

Sabendo que:

$$sign(x_d - x_c) = \begin{cases} +1, & x_d > x_c \\ 0, & x_d = x_c \\ -1, & x_d < x_c \end{cases} \quad (4)$$

E que x_c, x_d se referem aos pontos de dados na posição c e d , respectivamente, e n é o tamanho da série de dados. O nível de significância, Z , é calculado pelas equações 5 e 6:

tendência nos dados da série temporal utilizada (EL-SHAARAWI; NICULESCU, 1992).

A partir da observação de uma tendência pelo teste de Mann-Kendall, o teste de Pettitt (1979) foi aplicado com o objetivo de caracterizar o período em que houve uma mudança abrupta na série temporal, sem restrições na distribuição de probabilidade (ZHANG; LU, 2009). O método estatístico é calculado pela equação 7:

$$U_{t,r} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sign}(x_i - x_j) \quad 1 \leq t < T \quad (7)$$

Onde, x_i e x_j são pontos de dados na série temporal de T , enquanto que a $U_{t,r}$ é a variável estatística. Com isso, calcula-se o possível ponto de mudança abrupta K_t a partir da equação 8.

$$K_t = \max |U_{t,r}| \quad (8)$$

A probabilidade de significância correspondente p associada a K_t é calculada pela equação 9:

$$p = 2 \exp((-6K_t^2)/(T^3 + T^2)) \quad (9)$$

Após a identificação das tendências apresentadas nas séries de dados, foram realizados cálculos de valores extremos por dois índices, um referente a temperatura e o segundo, precipitação:

- i) Índice *Numer of Summer Days* (SU): índice de temperatura de dias de verão, que efetua a contagem de dias com temperatura maior que 25°C (ou maior do que o valor estipulado pelo usuário). No caso do presente trabalho foram realizados os cálculos com temperaturas acima de 25°C, 34°C e 37°C;
- ii) Índice *Count Consecutive Dry Days* (CDD): índice de precipitação que indica dias secos consecutivos, que

se ajustou à realidade climática da região de estudo (verões quentes e chuvosos e invernos secos). Foram identificados os dias com precipitação menor ou igual a 1 mm/dia, para toda a série de dados, incluindo o verão e o inverno.

Os índices extremos de temperatura (SU) e precipitação (CDD) foram calculados seguindo o método de Zhang et al. (2005) e Haylock et al. (2006), os quais foram feitos através do *RClindex*, software desenvolvido pelo Serviço Meteorológico Canadense (ZHANG; YANG, 2004).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Validação dos dados climáticos

Entre as bases de dados, os testes mostram maior correlação entre os dados de temperatura máxima e mínima e menores para precipitação. Indicando similaridade entre o modelo e o observado durante todo o período de análise. A Tabela 1 apresenta o valor do viés (MBE) e do erro quadrático médio (RMSE) para as variáveis climáticas estudadas nos meses de verão e de inverno, demonstrando que o modelo é capaz de reproduzir melhor a temperatura mínima, e em seguida a máxima.

Tabela 1. Valores de viés (MBE) e de erro (RMSE) para temperatura máxima, mínima e precipitação na área de estudo.

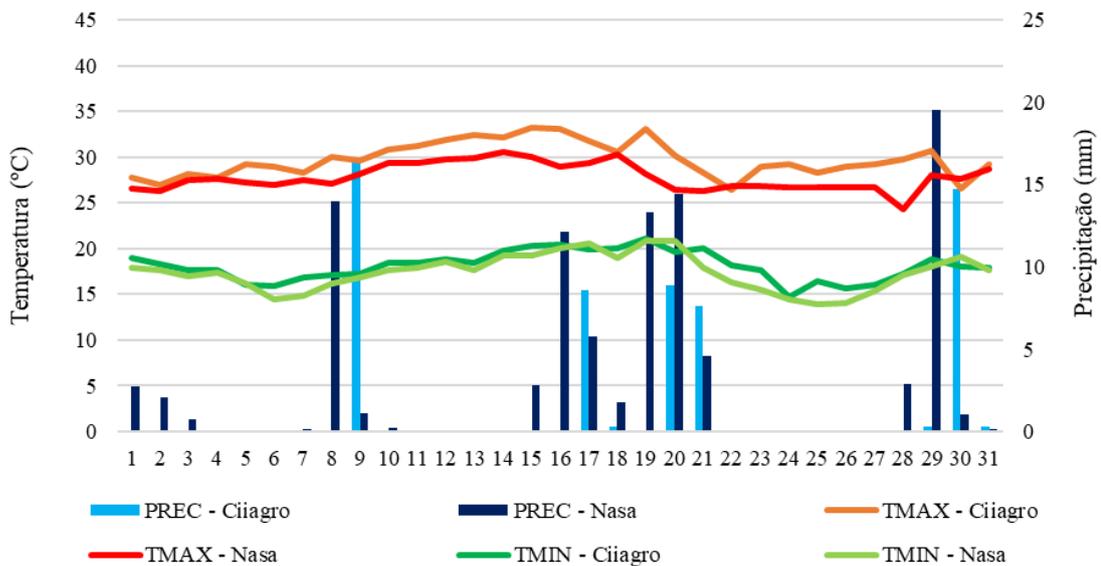
ÍNDICES	TMAX	TMIN	PREC
VERÃO			
RSME	2,79	1,48	13,13
MBE	-1,22	-0,40	-0,41
INVERNO			
RSME	2,79	1,96	7,46
MBE	0,27	-0,87	0,42

Fonte: Autores (2023).

Nesse contexto, a maior variabilidade foi observada nos valores de precipitação e durante os meses de verão, período de chuvas em Campinas. Os volumes observados na estação meteorológica do CIIAGRO nos meses de inverno, mas principalmente no verão, foram menores do que aqueles indicados no

modelo do NASA, indicando tendência deste a superestimar a precipitação. A Figura 3 ilustra como exemplo o mês de março de 2020, correspondente ao período de verão, em que é possível observar as variações existentes entre as duas bases de dados para as variáveis de temperatura máxima/mínima e precipitação.

Figura 3. Variação entre os valores de temperatura máxima (TMAX), mínima (TMIN) e precipitação (PREC) durante um mês de verão (março de 2020), considerando os dados do CIIAGRO e do NASA.

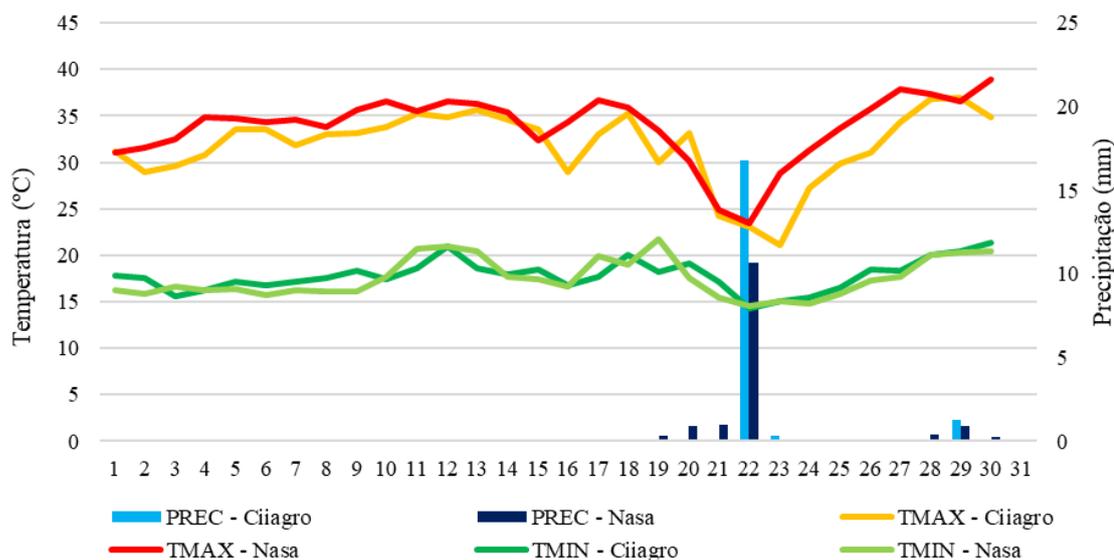


Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A Figura 4 ilustra o mês de setembro (2020), o qual corresponde ao inverno. É possível observar que as variações entre os valores do CIIAGRO e do NASA não

possuem grandes diferenças quando comparadas com os valores obtidos para os meses de verão (Figura 5), sobretudo para a variável precipitação.

Figura 4. Variação entre os valores de temperatura máxima (TMAX), mínima (TMIN) e precipitação (PREC) durante um mês de inverno (setembro de 2020), considerando os dados do CIIAGRO e do NASA.



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Assim, os resultados encontrados nos testes de MBE e RMSE sugerem valores de uma boa correlação entre a base de dados da NASA e do CIIAGRO, sendo o modelo NASA capaz de representar a temperatura e a precipitação da área de estudo. Apesar da variável precipitação ter apresentando maiores variações nos meses de verão, o modelo foi capaz de reproduzir a sazonalidade e o comportamento médio da variável analisada, permitindo concluir sobre uma boa coerência entre ambas as bases para a variável precipitação. As variáveis de temperatura máxima e mínima apresentaram maiores correlações, reforçando a viabilidade do uso dos dados do modelo NASA, o que implica na possibilidade de usá-lo para outros estudos sobre climatologia (TORRES et al., 2022; TORRES, 2022).

Estes resultados apresentam grande utilidade para os estudos em clima para o município de Campinas por validar estatisticamente o uso de uma base de dados mais completa e sem falhas.

5.2 Testes de Mann-Kendall e Pettitt

Os testes de Mann-Kendall (Tabela 2) apresentaram uma tendência de mudança nas três séries estudadas, sendo que a temperatura máxima e mínima apresentou tendência de aumento e a precipitação apresentou tendência de diminuição. O teste de Pettitt, para o período do verão (Tabela 2), apontaram maior aumento para a variável temperatura máxima quando comparado ao aumento de temperatura mínima. Levando em consideração a média de antes do ano de quebra da homogeneidade da série com o de depois, houve aumento de $1,0^{\circ}\text{C}$ para a temperatura máxima e $0,6^{\circ}\text{C}$ para temperatura mínima. Para a precipitação, há tendência de diminuição evidenciada pela diferença dos dados de antes com as de depois do ano de quebra na homogeneidade da série (2009), com valor negativo de $-1,3$ mm para o período de verão da série histórica analisada.

Tabela 2. Resultados dos testes de Mann-Kendall e Pettitt para a estação verão.

Variável meteorológica	Tau de Kendall	Valor antes do ano de quebra	Ano de quebra	Valor depois do ano de quebra	Valor da tendência
Temperatura máxima	0,077	28,0°C	2011	29,0°C	1,0°C
Temperatura mínima	0,089	18,6°C	2009	19,2°C	0,6°C
Precipitação	-0,086	7,1 mm	2009	5,8 mm	-1,3 mm

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Para a estação inverno, os testes de Mann-Kendall e Pettitt (**Tabela 3**) apresentaram tendência de aumento similar das encontradas na estação verão, com as temperaturas máximas apresentando maior aumento que as temperaturas mínimas e a

precipitação, apresentando queda. O aumento das temperaturas máximas foi de 1,6°C e de 0,9°C para as temperaturas mínimas. A precipitação apresentou tendência de queda de -1,2 mm/dia para o período de inverno.

Tabela 3. Resultados dos testes de Mann-Kendall e Pettitt para a estação inverno.

Variável meteorológica	Tau de Kendall	Valor antes do ano de quebra	Ano de quebra	Valor depois do ano de quebra	Valor da tendência
Temperatura máxima	0,145	25,2°C	2001	26,8°C	1,6°C
Temperatura mínima	0,103	12,4°C	2011	13,3°C	0,9°C
Precipitação	-0,107	2,5 mm	2000	1,3 mm	-1,2 mm

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Mesmo com ambas as estações apresentando tendência de aumento das temperaturas e diminuição nas precipitações, é possível observar que a estação inverno apresentou maiores valores de tendência de aumento, chegando a 1,6°C para as temperaturas máximas e a 0,9°C para as mínimas. Para a precipitação, ambas as estações apresentam valores de queda acima de 1,0 mm/dia sendo que o verão apresentou queda de 1,3 mm/dia e o inverno 1,2 mm/dia (diferença de apenas 0,1 mm/dia entre as estações).

Nesse sentido, o aumento das temperaturas e a diminuição nas precipitações durante as estações de verão e inverno podem ter impactos significativos na produção de café em Campinas. No verão, temperaturas mais elevadas podem levar ao estresse térmico das plantas de café, resultando em menor produtividade e

qualidade dos grãos (DAMATTA, 2004). Além disso, a escassez de chuvas pode levar à redução da disponibilidade de água para irrigação, o que pode agravar ainda mais os efeitos do calor sobre as plantações (CAMARGO, 2010).

No inverno, a diminuição das chuvas pode afetar o desenvolvimento das lavouras durante a fase crucial de crescimento dos frutos, visto que a falta de água nesse período pode comprometer a formação dos grãos, levando a menor produção e afetando negativamente o rendimento dos cafezais (DAMATTA, 2004; FAGAN *et al.*, 2011). Além disso, mudanças no comportamento das chuvas podem favorecer o surgimento de pragas e doenças causando danos adicionais às plantações (ALFONSI *et al.*, 2019).

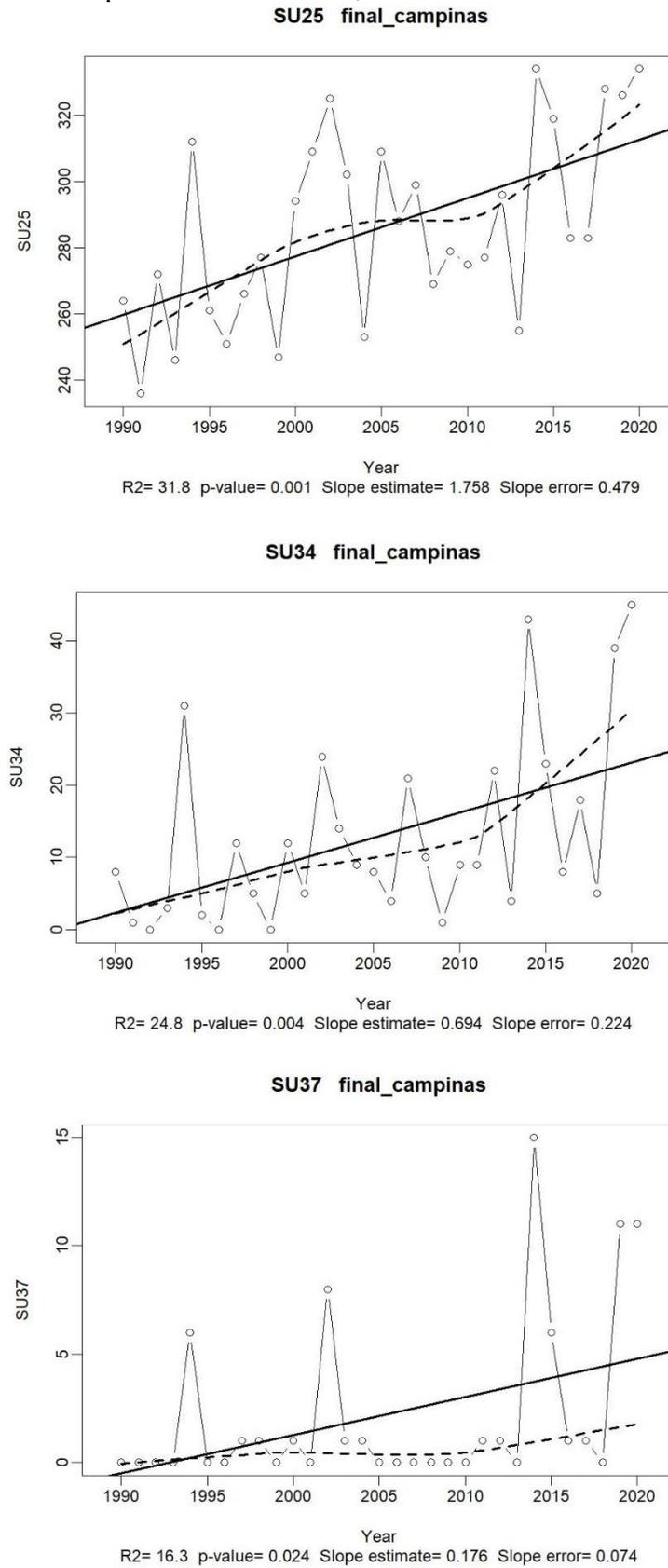
5.3 Índices climáticos

Os resultados dos índices SU (Figura 5) e CDD (Figura 6) para a área de estudo, corroboram a tendência de aumento da temperatura e diminuição da precipitação, encontradas nos testes de tendência Mann-Kendall e Pettitt. O Índice SU resultou na ocorrência de 334 dias com temperatura acima de 25°C, entre os anos de 2014 e 2020. Quando calculados para temperatura acima de 34°C, verificou-se predominantemente no ano de 2020, onde ocorreram 45 dias com temperatura igual ou superior a essa temperatura (34°C), em Campinas. No ano de 2014, foram registrados 43 dias com temperatura superior ao mencionado. Por fim, ao considerar dias com temperatura

maior do que 37°C, notou-se que 2014, 2019 e 2020 foram os anos com a maior contagem de dias acima dessa temperatura, somando 15 dias em 2014 e 11 dias em 2019 e 2020. Além disso, para todas as temperaturas utilizadas no índice SU, existe tendência de aumento dentro do período analisado.

Sazonalmente, verificou-se que os dias com maior temperatura máxima durante o inverno, estiveram concentrados no mês de agosto, enquanto que os dias com menor temperatura mínima, foram encontrados em julho. Considerando os meses de verão, o mês que evidenciou maiores valores de temperatura máxima (acima de 25°C) foi dezembro, sendo que nesse mesmo mês, também foram encontradas as menores temperaturas mínimas.

Figura 5. Índice *Numer of Summer Days* (SU) que identifica a tendência de aumento nos registros de temperatura acima de 25, 34 e 37°C.

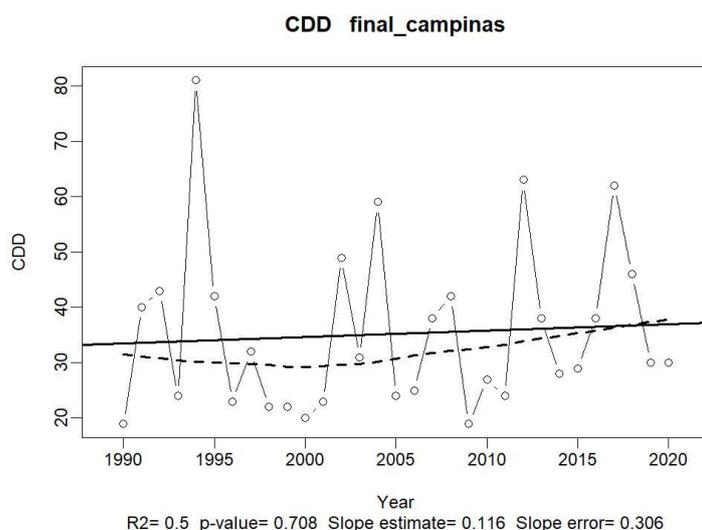


Fonte: Autores (2023).

Para o CDD (Figura 6), o ano de 1994 foi aquele com maior contagem de dias secos em sequência, somando 81 dias, seguido pelos anos de 2012 e 2017, com 63 e 62 dias consecutivos, com precipitação menor ou igual a 1 mm. Vale mencionar que

o ano de 1994 foi considerado um ano seco e com forte geada, o que repercutiu negativamente na produção agrícola do estado de São Paulo (MORICOCCHI *et al.*, 1995).

Figura 6. Índice *Count Consecutive Dry Days* (CDD) que mostra a tendência de dias consecutivos com precipitação menor ou igual a 1 mm.



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Dessa forma, os resultados dos índices apenas detalham com maior precisão a ocorrência de eventos extremos dentro da série histórica de dados que, de acordo com os testes de Mann-Kendall e Pettitt, já apresentam tendências claras. Assim, havendo aumento na ocorrência de extremos climáticos, recomenda-se estratégias que busquem a adaptação do cafezal com foco em práticas de manejo sustentável, que também visem a mitigação das mudanças climáticas. Sistemas de irrigação mais eficientes (HO *et al.*, 2020), variedades de café mais adaptadas às mudanças das condições climáticas (PETEK; SERA; FONSECA, 2009) e sistemas agroflorestais (COLTRI *et al.*, 2019), são algumas das técnicas mais recomendáveis dentro da literatura científica para a adaptação e a

mitigação às mudanças climáticas na produção cafeeira.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou a ocorrência de alterações nas tendências de temperatura (máxima e mínima) e precipitação dentro do período de 1990 a 2020, para as estações de verão e inverno do município de Campinas.

Os resultados encontrados sugerem valores de uma boa correlação entre a base de dados da NASA e do CIAGRO, sendo o modelo NASA capaz de representar a temperatura e a precipitação da área de estudo.

Com os testes de Mann-Kendall e Pettitt observou-se que há aumento nas

temperaturas (máximas e mínimas) ao longo de toda a série histórica de dados analisada, bem como tendência de diminuição das precipitações. A tendência é mais evidente na variável temperatura máxima que apresentou aumento de 1,6°C no inverno. Para a precipitação a queda mais expressiva foi na estação verão com -1,3 mm.

Os índices de extremos apontaram aumento dos dias consecutivos secos com precipitações abaixo de 1 mm/dia e aumento de dias com temperaturas acima de 25°C. Os índices apresentam maior ocorrência principalmente nos anos que compõem a última década da série histórica (2010 a 2020). Assim, a análise apontou que os dias de inverno estão ficando mais quentes, em especial nos meses de agosto, e os dias de verão apresentaram temperaturas mais elevadas.

Assim, a necessidade de medidas de adaptação às mudanças climáticas em Campinas é respaldada pelos resultados que apontam para o aumento das temperaturas e a diminuição nas precipitações. Caso essas tendências se intensifiquem, o município corre o risco de enfrentar escassez hídrica, acarretando prejuízos econômicos tanto para a indústria como para a agricultura, além de impactos negativos no bem-estar da população devido ao desconforto térmico. Especificamente no que se refere à produção cafeeira, esse setor poderá ser severamente afetado pelas alterações climáticas, dificultando o cultivo do café e prejudicando o desenvolvimento do turismo agrícola. Os fatores citados incrementam as razões para a implantação de medidas de mitigação e adaptação no município.

7 AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Projeto Coffee Change: uma análise integrada dos riscos, desafios e oportunidades da Cafeicultura frente às

Mudanças Climáticas – Processo 403858/2021-6.

Condenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Bolsa de Doutorado – Código de Financiamento 001.

8 REFERÊNCIAS

- ALFONSI, W. M. V.; COLTRI, P. P.; ZULLO JUNIOR, J.; PATRÍCIO, F. R. A.; ALFONSI, E. L. Período de incubação da ferrugem do cafeeiro. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 45, n. 2, p. 134-140, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/187216>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/JqzQVZRM39xPbNjn6WcVrf/?lang=pt>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- AVILLA-DIAZ, A.; ABRAHÃO, G.; JUSTINO, F.; TORRES, R.; WILSON, A. Extreme climate indices in Brazil: evaluation of downscaled earth system models at high horizontal resolution. **Climate Dynamics**, Heidelberg, v. 54, p. 5065-5088, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05272-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-020-05272-9> Acesso em: 12 jan. 2023.
- BABA, R. K.; VAZ, M. S. M. G.; COSTA, J. D. Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 29, p. 515-526, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778620130611>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/TJPzfbvqdfbXpvHVkYRTxHk/> Acesso em: 15 jan. 2023.

- BARBOSA, G. C.; FERRÃO, A. M. de A. Refuncionalização de fazendas de café a partir da atividade turística em Campinas (SP). **Terrae Didática**, Campinas, v. 16, p. e020023, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v16i0.8657347>. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8657347>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- BENDER, F. D.; SENTELHAS, P. C. Preenchimento de falhas de radiação solar global diária por diferentes métodos-estudo de caso para Piracicaba, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 19., 2015, Lavras, **Anais [...]**. Lavras: SBAGRO, 2015. v. 1, p. 1544-1548. Disponível em: <https://sbagro.org/files/biblioteca/5631.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- BESSADA, S. M. F.; ALVES, R. C.; COSTA, A. S. G.; NUNES, A. M.; OLIVEIRA, M. B. P. P. Coffea canephora silverskin from different geographical origins: A comparative study. **Science of the Total Environment**, Amsterdã, v. 645, p. 1021-1028, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.201>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718326925?casa_token=C GWVnN0nZoAAAAA:j1rmohEaDuo7vA4SbTGfWSDdSS-0ikgtyhr5cNwtkWUIWCYvlwH4TYSHLFgTbpz4GZxvloQJU. Acesso em: 12 jan. 2023.
- BLAIN, G. C.; PICOLI, M. C. A.; LULU, J. Análises estatísticas das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 807-815, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000300030>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/hg8sgmxLM>
- TwqPBPwy9Ktt3L/?lang=pt. Acesso em: 10 jan. 2023.
- CAICEDO-ROA, M.; CORDEIRO, R. C.; MARTINS, A. C. A.; FARIA, P. H. de. Femicídios na cidade de Campinas, São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 6, p. e00110718, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00110718>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/hfXwbZWCBpxZnB3RYMDybXm/>. Acesso em: 12 jan. 2023.
- CAMARGO, M. B. P. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 239-247, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100030>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/XYKdCC5mVKwx3F5P3m6VrzM/>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- CASTELLANO, M. S.; NUNES, L. H. Distribuição das Precipitações Extremas nos Dias da Semana na Região Metropolitana De Campinas - SP. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 1, n. 5, p. 942-952, 2012.
- COLTRI, P. P.; PINTO, H. S.; GONÇALVES, R. R. do. V.; ZULLO JUNIOR, J.; DUBREUIL, V. Low levels of shade and climate change adaptation of Arabica coffee in southeastern Brazil. **Heliyon**, Amsterdã, v. 5, n. 2, p. 1-27, 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016%2Fj.heliyon.2019.e01263>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844018347698>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- CORRÊA, P. B.; CANDIDO, L. A.; SOUZA, R. A. F. D.; ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. Estudo do fenômeno da ilha de calor na cidade de Manaus/AM: Um

estudo a partir de dados de sensoriamento remoto, modelagem e estações meteorológicas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 2, p. 167-176, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778631220150012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/tPBSBjnVGLVCRJnw9QxVVCK/>. Acesso em: 12 jan. 2023.

DAMATTA, F. M. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 16, n. 1, p. 1-6, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202004000100001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjpp/a/CxBgpsX6cprtNmHSFmqJXK/?lang=en#>. Acesso em: 20 jan. 2023.

DOBBERT, L. Y. **Arborização na cidade de Campinas/SP percepção e conforto**. 2015. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

EL-SHAARAWI, A. H.; NICULESCU, S. P. On kendall's tau as a test of trend in time series data. **Environmetrics**, Hoboken, v. 3, n. 4, p. 385-411, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1002/env.3170030403>. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/env.3170030403?casa_token=79_2sYquSJMAAAA%3A-WQBUjWfRH7R6mgVe9e9-RrMVBfKt3w5CxwXpeDN-vPveu_1iK1HXBjAAfzK5bVJ93iHw4FV M7REFeNt. Acesso em: 20 jan. 2023.

FAGAN, E. B.; SOUZA, C. H. E. de.; PEREIRA, N. M. B.; MACHADO, V. J. Efeito do tempo de formação do grão de café (*Coffea sp*) na qualidade da bebida.

Bioscience Journal, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 729-738, 2011.

FERNANDES, T.; HACON, S. de, S.; NOVAIS, J. W. Z. Mudanças climáticas, poluição do ar e repercussões na saúde humana: Revisão Sistemática. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, v. 28, p. 138-164, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v28i0.72297>. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14343>. Acesso em: 22 jan. 2023.

FERRÃO, A. M. de A. **Arquitetura do café**. 2. ed. Campinas: UNICAMP, 2015.

GARCIA, S. S.; AMORIM, R. S.; COUTO, E. G.; STOPA, W. H. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 575-581, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000600006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/76jS4FnWpthyKCp7DRdq9NJ/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 22 jan. 2023.

GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S.; YAPO, P. O. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. **Journal of Hydrologic Engineering**, Reston, v. 4, n. 2, p. 135-143, 1999. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(1999\)4:2\(135\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4:2(135)). Disponível em: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(1999\)4:2\(135\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4:2(135)). Acesso em: 10 fev. 2023.

HAWKINS, E.; SUTTON, R. The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions. **American Meteorological Society**, Boston, v. 90, n. 8, p. 1095-1107, 2009. DOI:

<https://doi.org/10.1175/2009BAMS2607.1>. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/90/8/2009bams2607_1.xml?tab_body=abstract-display. Acesso em: 20 fev. 2023.

HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRISSE, T.; ANUNCIACÃO, Y. M. T.; BAEZ, J.; BAROOS, V. R.; BERLATO, M. A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIA, V. J.; GRIMM, A. M.; KAROLY, D.; MARENGO, M. B.; MONCUNIL, D. F.; NECHET, D.; QUITANDA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; TREBEJO, I.; VINCENT, L. A. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, Boston, v. 19, n. 8, p. 1490-1512, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI3695.1>. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/19/8/jcli3695.1.xml>. Acesso em: 26 fev. 2023.

HIRSCH, R. M.; SLACK, J. R. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. **Water Resource Research**, Washington, v. 20, n. 6, p. 727-732, 1984. DOI: <https://doi.org/10.1029/WR020i006p00727>. Disponível em: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/WR020i006p00727?casa_token=eaobrI_AzO8AAAAA%3AmbUMtPXr1jRcIZELrYkIavuCQjj1wQ6npaMIX959yWjjWfcK-4fJ4b2WvMJcFCp_bsGv6NRilfYhVf9C. Acesso em: 20 fev. 2023.

HO, V. T. T.; HOANG, A. N. T.; THU, T. D.; THI, N. D. Design and fabrication the smart irrigation technology using soil moisture sensor system for vine in Ninh Thuan, Vietnam. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, Kuala

Lumpur, v. 991, p. 5-10, 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/991/1/012143>. Acesso em: 20 jan. 2023.

IPCC. **AR1 Climate Change**: the 1990 and 1992 IPCC Assessments. Geneva: IPCC, 1992. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/ipccreports>. Acesso em: 20 jan. 2023.

IPCC. **AR4 Synthesis Report**: An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Valencia: IPCC, 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/ipccreports>. Acesso em: 25 fev. 2023.

IPCC. **AR5 Synthesis Report**: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2014. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/ipccreports>. Acesso em: 22 jan. 2023.

IPCC. **AR6 Press Release**: Climate change widespread, rapid, and intensifying. Geneva: IPCC, 2021. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/ipccreports>. Acesso em: 22 jan. 2023.

JARDIM, C. H.; SILVA, A. A. F. Aplicação de técnicas de preenchimento de falhas de dados de pluviosidade mensal e anual para o noroeste do estado de Minas Gerais - Brasil. **Revista Geografias**, Uberlândia, v. 13, n. 2, p. 83-106, 2022. DOI: <https://doi.org/10.35699/2237-549X.2017.16058>. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/16058>. Acesso em: 10 fev. 2023.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Measures**. Londres: Charles Griffin, 1975.

- LIMA, J. G.; VIANA, P. C.; WANDERLEY, J. A. C.; MANIÇOSA, R. M.; LIMA, R. M. Análise de tendências na temperatura e precipitação em Caicó, Rio Grande do Norte. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Mossoró, v. 8, n. 1, p. 34-38, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v8i1.209>. Disponível em: <https://acsa.revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/209>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- LIMA, L. C.; ZANELLA, M. E. A climatologia aplicada ao planejamento urbano e ambiental de Aquiraz/CE-BR. **Revista Geográfica de América Central**, San José, v. 2, edição especial, p. 1-13, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2633>. Acesso em: 25 fev. 2023.
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051992000200009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/JVzbSngjns mGX3mFhQyXQNG/>. Acesso em: 03 mar. 2023.
- MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. **Econometrica**, Evanston, v. 13, p. 245-259, 1945.
- MANICA, E.; COLTRI, P. P.; PACHECO, V. M.; PACHECO, V. M.; MARTELLO, L. S. Changes in the pattern of heat waves and the impacts on Holstein cows in a subtropical region. **International Journal Biometeorology**, Heidelberg, v. 66, p. 2477-2488, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02374-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-022-02374-3>. Acesso em: 01 mar. 2023.
- MORICOCCHI, L.; ALFONSI, R. R.; OLIVEIRA, E. G. de.; MONTEIRO, J. L. M. Geadas e seca de 1994: perspectivas do mercado cafeeiro. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 25, n. 6, p. 49-57, 1995.
- PETEK, M. R.; SERA, T.; FONSECA, I. C. de B. Exigências Climáticas para o Desenvolvimento e Maturação dos Frutos de Cultivares de Coffea arabica. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 169-181, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000100018>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/QbVmGk34rJy9SGSfB4HPKRL/?lang=pt>. Acesso em: 02 mar. 2023.
- PETTITT, A. N. A nonparametric approach to the changepoint problem. **Applied Statistics**, Oxford, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.
- RIBEIRO, S.; CAINETA, J.; COSTA, A. C.; HENRIQUES, R.; SOARES, A. Detection of inhomogeneities in precipitation time series in Portugal using direct sequential simulation. **Atmospheric Research**, Amsterdã, v. 171, p. 147-158, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.11.014>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809515003853?casa_token=dfY9iDMXtqoAAAAA:BQw8FQb6aBZGSC8N_KjAkEgj4nj_291deYz-vYCoiHV9wSTaQ-Xjn4hgsT3E7JIZ3RVzWq7NIIw. Acesso em: 08 mar. 2023.
- ROLNIK, R.; PEREIRA, A. L. dos. S.; MOREIRA, F. A.; ROYER, L. de. O. LACOVINI, R. F. G.; NISIDA, V. C. O Programa Minha Casa Minha Vida nas

regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas: aspectos socioespaciais e segregação. **Cadernos Metropole**, São Paulo, v. 17, n. 33, p. 127-154, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2015-3306>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cm/a/q47HCnW58YPJHzyvhZSWPwB/?lang=pt>. Acesso em: 09 mar. 2023.

SAYAGO, S.; OVANDO, G.; ALMOROX, J.; BOCCO, M. Daily solar radiation from NASA-POWER product: assessing its accuracy considering atmospheric transparency. **International Journal of Remote Sensing**, Londres, v. 41, n. 3, p. 897-910, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1650986>. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161.2019.1650986?casa_token=Bu-hsUIzRI4AAAAA:euk_2dW0vntS80IMM4CeI9_hLTs70H7CzXUPGm5977Aj4nqeNI04J3uU4bWwsnHWxNUcf3gtUQm3cQ. Acesso em: 09 mar. 2023.

SPARKS, A. H. Nasapower: A NASA POWER Global Meteorology, Surface Solar Energy and Climatology Data Client for R. **The Journal of Open Source Software**, São Francisco, v. 3, n. 30, p. 1-3, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21105/joss.01035>. Disponível em: <https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.01035.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2023.

TAYYEH, H. K.; MOHAMMED, R. Analysis of NASA POWER Reanalysis Products to Predict Temperature and Precipitation in Euphrates River Basin. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 619, p. 129327, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129327>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216942300269X?casa_token=_e

ANYbBME6MAAAAA:vOy5Ph5dh_yqkOsP-4QVLwEYk9HRXIObAaVWHPmhoR2TKURU2kwWMMbNVBLM7mlKOAvyhAvo2eM. Acesso em: 01 mar. 2023.

TORRES, G. A. L. **Estatística climatológica para áreas produtoras de cafés especiais no Brasil alinhadas a propostas de adaptação às mudanças climáticas**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022.

TORRES, G. A. L.; ZEZZO, L. V.; JOSE, R. V.; GRECO, R.; COLTRI, P. P. Exposure to Climate Risk: A Case Study for Coffee Farming in The Region of Alta Mogiana, São Paulo. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 94, n. 4, p. 1-21, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220211379>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/NZ9T3K3MSsFgjLGfT7kqrCj/>. Acesso em: 01 mar. 2023.

UHLIG, A.; GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T. O uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira e o impacto sobre as mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 67-85, 2008.

VIANNA, L. F. D. N.; PERIN, E. B.; RICCE, W. D. S.; MASSIGNAN, A. M.; PANDOLFO, C. Bancos de dados meteorológicos: Análise dos metadados das Estações Meteorológicas no Estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 53-64, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778632120150119>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/F58STtjpXnzHGD5D8NVzHJM/?lang=pt>. Acesso em: 08 mar. 2023.

VILLA, P. M.; MORAES, J. R. da. S. de.; MARTORANO, L. G.; MARTINS, S. V.; RODRIGUES, A. L.; GONZÁLES, B.; ROLIM, G. de. S.; SILVA, A. S. da. Spatio-Temporal Variability of Precipitation in the Venezuelan Amazon. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, v. 29, p. 626-649, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima>. Disponível em:

<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/15572>. Acesso em: 08 mar. 2023.

WALTER, A. As Mudanças Climáticas e a Questão Energética. **Revista Multiciência**, Campinas, v. 8, p. 29-47, 2007.

YANG, P.; ZHANG, Y.; XIA, J.; SUN, S. Investigation of precipitation concentration and trends and their potential drivers in the major river basins of Central Asia.

Atmospheric Research, Amsterdã, v. 245, p. 1-42, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105128>. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809520310644?casa_token=65A5JfPwotEAAAAA:udQVpE3ESmA8XDPEbTBVJwHGObWaANZsEAa6_sYpgSsz3yKWofhx64HmBfzL6TH9fdmnKuvKGE. Acesso em: 13 mar. 2023.

ZHANG, X.; HEGERL, G.; ZWIERS, F.; KENYON, J. Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. **Journal of Climate**, Boston, v. 18, n. 11, p. 1641-1651, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI3366.1>. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/18/11/jcli3366.1.xml?tab_body=pdf. Acesso em: 13 mar. 2023.

ZHANG, S.; LU, X. X. Hydrological responses to precipitation variation and diverse human activities in a mountainous tributary of the lower Xijiang, China. **Catena**, São Paulo, v. 77, n. 2, p. 130-142, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2008.09.001>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816208001343?casa_token=qs0mUfByGukAAAAA:UOF-2YYpwxog99DPNGc1XnfnqijWPkeoPi_U4R85YyYFkq8AWhWdlCzqHcBAjx4YiwHz88ekgnU. Acesso em: 20 mar. 2023.

ZHANG, X.; YANG, F. **RClimDex (1.0) User Guide**. Downsview: Climate Research Branch Environment Canada, 2004. Disponível em: <http://www.acmad.net/rcc/procedure/RClimDexUserManual.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2023.