



**JOÃO VITOR DUARTE VIEIRA**

**Risco climático sobre as variações de preços e impacto na cadeia produtiva do café em Minas Gerais**

**LAVRAS - MG**

**2024**

**João Vitor Duarte Vieira**

**Risco climático sobre as variações de preços e impacto na cadeia produtiva do café em Minas Gerais**

**Climate risk on price variations and impact on the coffee economic chain in Minas Gerais**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.**

Prof. Dr. Felipe Schwerz

**Orientador**

Prof. Dr. Luiz Otávio de Oliveira Pala

**Coorientador**

**Lavras - MG**

**2024**

**João Vitor Duarte Vieira**

**Risco climático sobre as variações de preços e impacto na cadeia produtiva do café em Minas Gerais**

**Climate risk on price variations and impact on the coffee economic chain in Minas Gerais**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.**

**APROVADO em 13 de dezembro de 2024**

Dr. Felipe Schwerz

Dr. Luiz Otávio de Oliveira Pala

MSc. Mariana de Vasconcelos Dias

Prof. Dr. Felipe Schwerz

**Orientador**

Prof. Dr. Luiz Otávio de Oliveira Pala

**Coorientador**

**Lavras - MG**

**2024**

Dedico esse trabalho a meus pais, por deixarem de viver vários de  
seus sonhos para que eu pudesse viver o meu e à minha companheira de vida,  
por acalmar meu coração.

## **Agradecimentos**

*Inicialmente agradeço aos meus pais pela confiança que tiveram em mim durante toda a graduação onde pude estar leve, sem o peso e o medo de falhar e a minha irmã por sempre vibrar pelas minhas conquistas e ser presente nos momentos importantes.*

*Agradeço também todo o suporte da minha companheira Luiza Alves, pelos momentos de paz mediante as turbulências e pelo alento em meio ao cansaço.*

*Aos meus amigos de vida, Guilherme Dutra, Guilherme Vinhas, Luiz Fernando, Hyan Felipe e João Victor pelos momentos de descontração e companhia nessa caminhada.*

*Aos meus companheiros de curso Thomaz Piton, João Vitor, Matheus Ardigueri, Gabriel Reis, Wagner Mateus, Marcos Paulo, Caroline Vigné e a todos da “Comitiva proza ruim” por tornar a graduação mais leve.*

*Agradeço também ao meu orientador Felipe Schwerz e ao meu coorientador Luiz Otávio por acreditarem no meu trabalho, pelos conhecimentos transmitidos e por prestarem todo suporte no desenvolvimento desse trabalho.*

*Ao professor Renato Fontes e a “Terra Júnior – consultoria agropecuária” por me fornecer meios de me tornar o profissional que sou hoje e me mostrar o caminho que escolhi seguir.*

*A todos do Laboratório de Cultura de Tecidos, sob orientação da professora Joyce Doria, pelo conhecimento e acolhimento no último ano do curso.*

*E ao CAPES e CNPq pelo apoio a pesquisa.*

*Obrigado!*

## Resumo

O café é uma cultura de grande interesse no mercado agrícola e representa um pilar econômico para região Sul de Minas gerais, a principal produtora da *commodity*. Contudo, o atual cenário de mudanças climáticas põe em risco da produção do café, sendo afetado principalmente pela escassez hídrica e altas e baixas temperaturas. Dentro desse contexto, o objetivo foi relacionar as ocorrências de eventos climáticos com o preço de mercado do café em Minas Gerais. Utilizou-se de dados climatológicos da *National Aeronautics and Space Administration* via *Application Programming Interface* (API), dados mercadológicos através da Cooperativa de Guaxupé e dados geográficos a partir do Sistema IBGE de Recuperação Automática. Os dados foram analisados por meio de um modelo Autorregressivo Integrado de Médias Móveis com a presença de variáveis explicativas (ARIMAX), de Box-Jenkins. A análise considerou critérios para precipitação e temperaturas, e mostrou ao longo da série histórica que os valores basais considerados prejudiciais para o café foram atingidos várias vezes ao longo do tempo. Observando a resposta do mercado do café notou-se também a maior variação no preço em épocas fora do período de colheita demonstrando o efeito das especulações, assim como a menor variação também foi observada no período de colheita. Ao longo do período analisado, observou-se que a precipitação e o preço, associam-se com o preço atual do café, em geral tiveram uma relação inversamente proporcional ao preço da *commodity*.

**Palavras-chave:** Mercado agrícola; mercado do café; normais climatológicas

## **Abstract**

Coffee is a crop of great interest in the agricultural market and represents an economic pillar for the southern region of Minas Gerais, the leading producer of this commodity. However, the current scenario of climate change poses a risk to coffee production, primarily affected by water scarcity and extreme temperatures. In this context, the study aimed to relate climatic events and coffee market prices in Minas Gerais. The analysis used climatological data provided by the National Aeronautics and Space Administration via Application Programming Interface (API), market data from the Guaxupé Cooperative, and geographical data from the IBGE Automatic Recovery System. The data were analyzed using Autoregressive Integrated Moving Average with the presence of explanatory variables (ARIMAX) model, as described by Box-Jenkins. The analysis considered criteria for precipitation and temperatures and revealed that over the historical series, baseline values deemed harmful to coffee were reached multiple times. Observing the coffee market response, greater price variation was noted during periods outside the harvest season, demonstrating the effect of speculation, while lower variation was observed during the harvest period. Over the analyzed period, it was observed that precipitation and price, is associated with the current price of coffee and generally showed an inversely proportional relationship with the commodity's price.

**Keywords: Agricultural market; coffee market; climatological normals**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Esquematização das seis fases fenológicas do cafeeiro arábica, durante 24 meses, nas condições climáticas tropicais do Brasil .....	12
Figura 2: Representação espacial dos municípios apresentados na Tabela 1 .....	20
Figura 3: Série temporal da precipitação acumulada média no período de setembro/março dos 10 considerados no estudo .....	23
Figura 4: Análise gráfica da resposta dos preços e precipitação ao longo da série histórica .....	25
Figura 5: Resposta da variável de temperatura máxima. Representa os valores mais altos de temperatura das cidades analisadas no período do estudo em cada mês.....	26
Figura 6: Serie temporal da temperatura mínima absoluta do ar dos 10 municípios considerados no estudo.....	27
Figura 7: Representação dos preços históricos do café por meio de um gráfico boxplot .....	28
Figura 8: Resposta dos preços reais (azul), obtidos pelo valor da moeda na época de coleta e dos preços nominais (vermelho), valores que passaram por uma correção com base na inflação atual .....	29
Figura 9: Ajuste do modelo de ARIMAX desenvolvido em relação a progressão de preços históricos do café .....	30



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cidades com maiores frequências de produção de café entre os anos de 1995 e 2022, conforme os dados do IBGE. A frequência absoluta representa o número de vezes em que o município esteve entre os dez maiores produtores de Minas Gerais em relação aos 28 anos considerados .....19

Tabela 2: Dados médios de altitude, extraídas do sistema de satélite do Google Earth (2024), temperatura média, a partir banco de dados da Weather Spark (2024) e precipitação mensal média através da *National Aeronautics and Space Administration*, (2024) dentre as cidades consideradas no estudo .....21

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	11
2.0 Desenvolvimento .....	11
2.1 Fenologia da planta .....	11
2.2 Importância da cafeicultura em Minas Gerais .....	12
2.3 O mercado do café .....	13
2.4 Produção de café em Minas Gerais .....	14
2.5 Fatores que afetam a cultura .....	15
2.5.1 Precipitação .....	16
2.5.2 Temperatura .....	17
2.6 Risco climático e o mercado do café.....	18
3.0 Material e métodos.....	19
4.0 Resultados e discussões .....	23
5.0 Considerações Finais .....	31
6.0 Referências Bibliográficas .....	32

## 1. Introdução

O Brasil possui uma série de características edafoclimáticas que juntamente com o aparato de pesquisa e desenvolvimento o colocam em uma posição de destaque no cenário global da agricultura. Essa versatilidade na produção implica em uma alta taxa de participação na produção de diversas *commodities* no mundo, como o café, sendo responsável por 39% da produção global (USDA, 2024) e pode atingir um faturamento de R\$52,53 bilhões nas próximas safras (Embrapa café, 2023).

Contudo, o atual cenário de mudanças climáticas tem gerado preocupações a respeito da integridade das produções na agricultura (Arbuckle *et al.* 2015), e conseqüentemente nas lavouras de café. Camargo (2010) aponta que a variabilidade do clima é o fator principal das oscilações e frustrações nas lavouras de café, especialmente em Minas Gerais.

Sabendo que, a região de Minas Gerais participa de grande parte da produção do café brasileiro, tendo como principais produtores cidades das regiões sul e centro-oeste (CONAB, 2024), as mudanças climáticas afetam diretamente a produção no estado e põe em risco a disponibilidade da *commodity* provocando reações no mercado que afetam o seu preço.

Neste quadro, Tavares *et al.* (2018) pontuou, através de projeções, que haverá diminuição das áreas potenciais de produção de café em todo o sudeste brasileiro, em especial o sul de Minas com decréscimo em cerca de 25% até o fim do século XXI em decorrência do acúmulo de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Dessa forma, o estudo busca entender como os extremos climáticos podem afetar a produtividade do café e em como se dá a formação e dinâmica do mercado da *commodity*, para a partir disso, correlacionar esses levantamentos, a fim de dispor de análises e ferramentas que sejam relevantes às estratégias de adequação ao mercado do café.

## 2.0 Desenvolvimento

### 2.1 Fenologia da planta

Se tratando de análises climáticas e adaptabilidade de uma cultura a determinada região, é preciso entender quais são os lugares originários daquela planta, visto que, através dessas informações é possível trabalhar com uma maior precisão o cultivo (Camargo; Pereira, 1994).

Para o café, suas duas principais espécies, Arabica e Canephora, são encontradas originalmente em lugares distintos, porém as demandas de precipitação e temperatura são similares. O café Arábica, originário de terras altas tropicais da Etiópia, cresceu sob uma temperatura média de 18-22 C° e precipitação anual de 1600 a 2000mm, passando por uma temporada de seca de 3 a 4 meses. Já o café Canephora, é originário de regiões com menores

altitudes no Zaire, com temperaturas médias de 23-26°C e precipitação média anual por volta de 2000mm (Camargo, 2010).

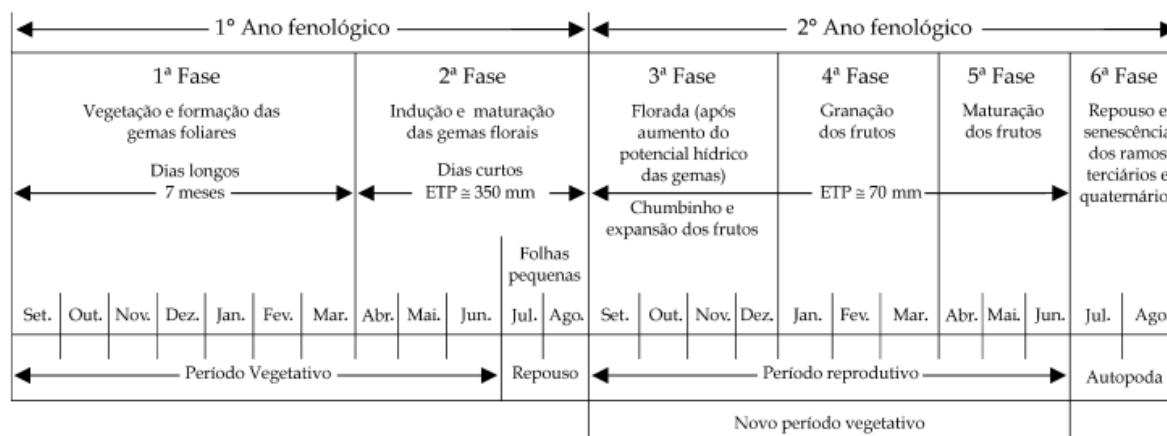
Sendo assim, Camargo e Camargo (2001) propõe uma esquematização fenológica do cafeeiro, apresentada na Figura 1, que possibilita a racionalização de pesquisas e observações na cafeicultura. Além disso, esse esquema permite entender com maior facilidade os momentos em que a temperatura e a precipitação afetam a cultura, uma vez que esses são seus principais fatores limitantes.

O modelo divide o ciclo do café em seis fases dentro de dois anos fenológicos. A primeira e a segunda fase dizem respeito a um período vegetativo, onde acontece a formação, indução, maturação e dormência das gemas florais.

A partir da terceira fase se inicia o processo de formação de frutos com a florada, onde ocorre a fecundação, formação dos chumbinhos e expansão dos frutos.

Já as últimas três fases são onde acontecem a formação de fato dos grãos, sua maturação e posteriormente a entrada em um processo de senescência natural, sendo chamado de autopoda do cafeeiro.

**Figura 1:** Esquematização das seis fases fenológicas do cafeeiro arábica, durante 24 meses, nas condições climáticas tropicais do Brasil.



Fonte: Camargo e Camargo (2001)

## 2.2 Importância da cafeicultura em Minas Gerais

Com a finalidade de avaliar a correlação entre variáveis climáticas e a resposta dos preços do café, buscou-se analisar a região brasileira de maior produção e impacto no mercado interno e externo. Minas Gerais é uma região de grande destaque na cafeicultura, principalmente as mesorregiões Sul e Centro-Oeste de Minas, pois representam cerca de 28,2% da produção total da região Sudeste do Brasil, sendo esta região responsável por produzir em média 82,8% da produção total de café do país (CONAB, 2024).

Pelo grande volume de produção no Brasil, o mercado do café representa um valor expressivo que corrobora para o desenvolvimento do país assim como das microrregiões, o qual possui um impacto ainda maior, visto que no ano de 2023, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC, 2023), é estimado que a indústria do café tenha alcançado R\$22,9 bilhões.

Além disso, o hábito da população brasileira de consumir café se mantém crescente, assim como o desenvolvimento de indústrias associadas ao seu processamento, o que permite o Brasil manter sua posição de segundo maior consumidor desse produto. Sendo que, somente a região sudeste do Brasil corresponde a 41,8% de todo esse consumo (ABIC, 2023).

Dessa forma, é notável a significância do café para o desenvolvimento econômico de Minas Gerais, para mais, Martins *et al.* (2022) também pontua a importância do café na geração de empregos durante toda sua cadeia produtiva, incluindo aqueles gerados nas cidades junto as organizações processadoras e comercializadoras, representando uma das atividades que mais empregam na realidade mineira.

### **2.3 O mercado do café**

A economia, de forma geral, tem como base de funcionamento a interação entre os diferentes grupos de compradores e vendedores que, por meio de suas interações efetivas ou potenciais, determinam o preço de um produto ou de um conjunto de produtos formando os mercados (Varian, 2006).

Para cada tipo de interação específica dentro do sistema econômico tem-se a formação de um mercado, a julgar pela extensão dele (limites geográficos e gama de produtos ofertados). Além disso, os mercados possuem características inerentes que são determinadas pelo tipo de interação, onde podemos ter mercados competitivos e não competitivos (Pindyck; Rubinfeld, 2013).

Para o âmbito de mercados agrícolas, a interação, em geral, segue as características que os colocam em uma situação de serem quase perfeitamente competitivos, já que, se qualifica por possuir muitos compradores e vendedores, de tal modo que nenhum comprador ou vendedor pode, individualmente, influir no preço (Carrera-Fernandez, 2009).

Esse tipo de característica de mercado é possível pois o produto de interesse da produção agrícola são, geralmente, as *commodities*, que de acordo com Sandroni (1999) são “um tipo particular de mercadoria em estado bruto ou produto primário de importância comercial” como é o caso do café, soja e milho. Ou seja, este tipo de produto agrícola em quase nada difere entre si, quando analisados individualmente, o que justifica a alta disponibilidade, visto que é possível reproduzir ou encontrá-los em diversas regiões geográficas. Além disso,

esses tipos de matérias primas são base para a maioria dos processos e produtos necessários para a sobrevivência humana, o que faz com que haja, também, uma alta demanda deles.

Em relação a natureza dos preços desses *commodities*, de forma ampla, são definidos a partir da paridade de exportação (maior valor que o importador pode pagar pela *commodity*), que consiste em tomar como base a cotação na Bolsa, somar o prêmio de exportação e deduzir alguns fatores, tais como: despesas de exportação e frete (FAEP, 2019).

A Bolsa a ser cotada varia de acordo com o produto, para a soja por exemplo, toma-se como base a bolsa de valores de Chicago (FAEP, 2019) e no caso do café a bolsa de Nova Iorque (ICE), para o café arábica ou a de Londres no caso do café robusta (Figueiredo; Alves, 2022).

Assim também, o prêmio de exportação também varia de acordo com o produto que está sendo analisado, uma vez que este leva em conta o custo de transporte do porto de origem até a maior indústria do produto do país comprador, disponibilidade de oferta e demanda, câmbio, dentre outros (FAEP, 2019).

## **2.4 Produção de café em Minas Gerais**

A CONAB (2024) mostra no boletim café da safra 2024 que há uma certa estabilidade quanto a cultura do café no âmbito de área plantada, produtividade e produção. A variação apresentada quanto a área plantada se dá em função da bienalidade positiva da safra analisada.

Em Minas Gerais, o cultivo do café ocupa 1.113.855 hectares, sendo que o cultivo de café arábica ocupa 99% da área e tem uma produção média de 25,1 sc/ha. Já o café *canephora* é o segundo mais plantado na região mineira, ocupando 9.283 hectares, e produz 334,9 mil sacas de café com uma produtividade média de 40,1 sc/ha (CONAB, 2024).

Apesar do *canephora* ter uma maior produtividade, devido a características morfofisiológicas da planta, o café arábica se destaca no mercado pela qualidade da bebida, pois detém características intrínsecas a espécie que confere tais atributos (CONAB, 2024).

Ao analisar as regiões mais produtoras de Minas Gerais, Sul e Centro-Oeste, percebe-se que a relação de cultivo entre as duas principais espécies do café se mantém. Dessa forma, o cultivo de arábica predomina, e possui 556.353 hectares em produção, mais da metade da área total plantada com arábica em Minas Gerais, com uma produtividade média de 24,5 sc/ha e uma produção total de 13.612 milhões de sacas (CONAB, 2024).

Por fim, o Brasil possui cerca de 25% das áreas produtoras de café sob sistema de irrigação. Contudo, analisando o panorama mineiro o sistema de condução das lavouras predominante ainda é a condição em sequeiro, sendo que apenas 14% dos cafezais em Minas

Gerais são irrigados, e a região sudoeste, próxima ao triângulo mineiro, é onde ocorre a maior concentração desses sistemas (ANA, 2021).

## 2.5 Fatores que afetam a cultura

Em campo, as variações das condições climáticas mostram-se ser o fator principal das frustrações e oscilações relacionadas a produção das áreas cafeeiras, principalmente em Minas Gerais (CAMARGO, 2010). Ainda mais sob a perspectiva atual sob um cenário de mudanças climáticas.

A relação entre parâmetros climáticos e a produção da lavoura se mostra muito complexa, uma vez que o crescimento e desenvolvimento da planta é afetado de diferentes formas ao longo do seu ciclo fenológico (CAMARGO, 2010). Portanto, é de suma importância que seja feito um detalhamento da maneira em que a cultura é afetada em suas fases críticas, a fim de estudar critérios de análise para facilitar o estudo de resposta mercadológica da *commodity* baseada em sua disponibilidade.

Para tal, Martins *et al.* (2015) indica que para as condições predominantes no Sul de Minas Gerais, as variáveis que mais influenciam a qualidade do café são temperatura e déficit hídrico. Sendo que, a maior susceptibilidade à essas condições adversas foram observadas em cafeeiros com 2 anos de idade em condições de sequeiro, a predominante na região Sul do estado (ANA, 2021).

Para analisar o carácter de determinada condição climática sob o grão, é necessário antes entender a fase fenológica da planta, de forma que há épocas em que essas podem ser positivas ou negativas para a formação de um fruto de qualidade. Um exemplo da importância dessa observação, é a necessidade de ocorrência de estresse hídrico após a liberação da gema floral, como um estímulo para a liberação da dormência (Weill *et al.* 1999).

Sendo assim, com as informações levantadas por Weill *et al.* (1999) e o estudo das fases fenológicas do café apresentado por Camargo e Camargo (2001), é possível indicar quais fases fenológicas do café a temperatura e a precipitação pluviométrica se mostram mais importantes, sendo elas:

- 1) Abotoamento, onde ocorre um aumento do potencial hídrico nas gemas florais;
- 2) Florescimento, sendo uma fase sensível a temperaturas elevadas e intenso déficit hídrico, que pode levar a morte do tubo polínico por desidratação, resultando em abortamento das flores;
- 3) Máxima vegetação e granação, fase que acontece a pleno verão, portanto, uma estiagem pode resultar no cochamento de frutos.

Apesar de frequentemente encontrarmos trabalhos científicos que tratam separadamente os efeitos da temperatura e precipitação, em termos práticos esses elementos estão correlacionados e atuam de forma conjunta. É possível observar seus efeitos analisando a eficiência metabólica das plantas.

Em geral, os primeiros efeitos causados por estresse de temperatura e seca se relacionam com danos celulares diretos e estresses secundários, como o estresse oxidativo e osmótico, resultado da interrupção de mecanismos de balanceamento osmótico e iônico e de danos às proteínas e membranas (Damatta; Ramalho, 2006).

Esses tipos de estresses, induzidos por limitações ambientais diversas, causam uma redução da eficiência fotossintética da planta, devido a uma consequência inevitável, o vazamento de elétrons para o oxigênio molecular, que leva a um estresse oxidativo nas estruturas fotossintéticas. Acontece uma diminuição do consumo de energia sem que necessariamente aconteça uma redução significativa na assimilação de energia (Damatta; Ramalho, 2006).

### **2.5.1 Precipitação**

A água é um fator muito importante para viabilidade de cultivo agrícola, sendo fundamental à ocorrência de reações químicas, por ser um solvente celular. Ainda assim, é através da água que as plantas podem aumentar sua massa vegetal, em consequência da diferença de pressão que induz o carreamento de nutrientes, associados ao carbono fixado, para parte aérea em decorrência da transpiração.

Por ser um fator tão importante, é também um agente limitante para o cultivo em determinadas regiões geográficas, em especial nos países em desenvolvimento, que em muitos casos apresentam limitações de investimentos em tecnologias agrícolas (Da silva; Mazzafera, 2008).

O estresse hídrico pode afetar a eficiência da planta de diferentes formas, seja pela diminuição das trocas gasosas ou pelo desbalanço interno das moléculas. Praxedes *et al.* (2006) mostra como a progressão da seca, assim como suas diferentes intensidades de ocorrência podem alterar a concentração de aminoácidos e açúcares, a depender do clone ou variedade utilizados.

Outro fator importante desencadeado pelo estresse hídrico é a redução significativa do teor de amido nas plantas (Praxedes *et al.*, 2006; Ronchi *et al.*, 2005), que pode estar associado ao crescimento radicular (Praxedes *et al.*, 2006). Por sua vez, plantas adaptadas ao estresse hídrico são caracterizadas por um sistema radicular profundo e vigoroso, contudo, o



desenvolvimento radicular da planta também depende de fatores como características físico-químicas do solo assim como da distribuição das chuvas (Damatta; Ramalho, 2006).

É válido ressaltar, a respeito do cultivo de mudas de café, que a intensidade da redução do teor de amido na planta está associada, também, ao tamanho do vaso utilizado (Ronchi *et al.*, 2005), indicando, dessa forma, que o sucesso da aclimação das plantas está relacionado diretamente com o balanço de açúcares e amidos. Além disso, caso a seca tenha uma progressão lenta, os cafeeiros podem se aclimatar a esta condição (Praxedes *et al.*, 2006).

Por fim, Luppi *et al.* (2014) propõe limiares de déficit hídrico mensais para o cafeeiro, visando avaliação de aptidão para o cultivo do café arábica, baseados nos dados propostos por Matiello (1991), onde são considerados aptas penalizações <150 mm, restrita 150-200 mm e inapta >200 mm.

### **2.5.2 Temperatura**

A temperatura é outro fator determinante para a cultura do café, por estar relacionado ao bom funcionamento metabólico da planta, visto que está correlacionado à eficiência das reações químicas e funções fisiológicas. Além disso, a temperatura ideal para a planta é relativa à fase fenológica, uma vez que a temperatura exigida em um dado momento, pode não ser a mesma para uma outra fase do desenvolvimento da cultura.

Os efeitos da temperatura para o cafeeiro podem ser pormenorizados ao analisar suas elevações e reduções. Para ambos os casos a eficiência fotossintética da planta é prejudicada.

No caso de temperaturas elevadas os primeiros indicadores de estresse podem ser observados no distúrbio da fotossíntese, pois a membrana dos tilacoides são especialmente sensíveis ao calor. Não somente, a planta pode ter seu metabolismo perturbado pelo aumento da cinética das reações, extensa desnaturação e agregação de proteínas celular, além de interromper a síntese de proteínas e promoção da superprodução de espécies reativas de oxigênio (Damatta; Ramalho, 2006). Acima de 34°C a taxa de acumulação de matéria seca começa a diminuir substancialmente, se aproximando de zero (Damatta, 2004).

Para os efeitos da temperatura o cafeeiro também apresenta mecanismos de aclimação, assim como para estresse hídrico, tanto para valores elevados, termotolerância adquirida (Damatta; Ramalho, 2006), quanto para valores reduzidos de temperatura (Quartin *et al.*, 2004).

Tratando-se de baixas temperaturas positivas, os efeitos percebidos são quase inversos aos de temperatura elevadas, como a redução das reações enzimáticas e químicas, da fluidez da membrana e da taxa de difusão das moléculas (Damatta; Ramalho, 2006). Além disso, baixas temperaturas afetam diretamente as estruturas fotossintéticas, de forma que, a

fotossíntese final já é praticamente cessada a 10-5 °C (Larcher, 1981), assim como necrose e perda de clorofila nas folhas podem ser observadas a partir de 4°C (Bauer *et al.*, 1990).

Ademais, temperaturas muito baixas, promovem o congelamento das células e pode matar a planta por completo, evento conhecido como geada. O cafeeiro possui um limite letal de temperatura que é atingido entre -2°C e -4°C, e não há cultivares tolerantes (Manetti; Caramori, 1986; Damatta; Ramalho, 2006). Nessa situação, ocorre um cenário muito diferente das temperaturas baixas não congelantes, pois ocorre a ruptura permanente da membrana celular devido a formação de gelo no interior das células (Gascó *et al.*, 2004).

É válido ressaltar que a ocorrência de danos na planta causado pela diminuição dos níveis temperatura dependem de uma série de fatores internos (crescimento, sobrevivência, processos metabólicos celulares) e externos (tempo de exposição, velocidade de imposição, intensidade e nível de interesse econômico) (Damatta; Ramalho, 2006).

Por fim, as partes do cafeeiro que são mais susceptíveis aos danos por baixa temperatura são: base do caule, folhas velhas, células meristemáticas do caule e embriões das sementes. Ademais, a zona cambial se mostra mais sensível dentre os tecidos presentes no caule (Bodner e Larcher, 1987; Larcher, 1995). Os sinais de ocorrência de danos podem ser percebidos também nas folhas novas, que são menores, apresentam clorose prolongada, distorção e maior tendência a queda (Damatta; Ramalho, 2006).

## **2.6 Risco climático e o mercado do café**

Por se tratar de uma *commodity*, há diversos fatores que podem influenciar nas movimentações de preço do café, seja movimentações no mercado interno ou externo (Vilela, 2020), custos de produção (Rodrigues, 2013) ou decisões políticas, tratando-se de macroeconomia (Vilela, 2020).

Além disso, os mercados são movimentados pela oferta e demanda dos produtos, dessa forma, o clima interfere na formação de preços por alterar o balanço entre oferta e demanda (FAEP, 2019; Rego; Paula, 2012; Vilela, 2020). Para exemplificar, Linhares (2022) demonstrou como um choque de baixa precipitação pode afetar o preço do café em até doze meses, tendo seu pico de influência no sexto mês.

A relação de influência no preço do café também é perturbada por características das regiões produtoras, sendo que estados com maior relevância na produção, como é o caso de Minas Gerais, terá um impacto maior na oscilação do preço do café, caso a produção seja comprometida (Linhares, 2022). Vale ressaltar que, os municípios produtores podem também influenciar no preço do café devido a características intrínsecas aos mesmos (Vilela, 2020).

Sendo assim, esses diversos fatores extrínsecos a produção confere ao mercado do café uma grande volatilidade quando comparamos a outros produtos (Rego; Paula, 2012).

### 3.0 Material e métodos

Nesse estudo, foram utilizadas informações geográficas, mercadológicas e climatológicas, que possibilitassem o entendimento da dinâmica de relação entre os principais fatores climáticos (precipitação e temperatura) com a resposta mercadológico do café.

A fim de definir informações geográficas, inicialmente, buscou-se identificar os municípios e regiões do estado de Minas Gerais que mais contribuem para a produção de café em grão. Para isso, foi analisado o indicador 'café (em grão) Total', em toneladas, referente aos municípios de Minas Gerais no período de 1995 a 2022. Esses dados, organizados em escala anual, foram extraídos do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA, 2024).

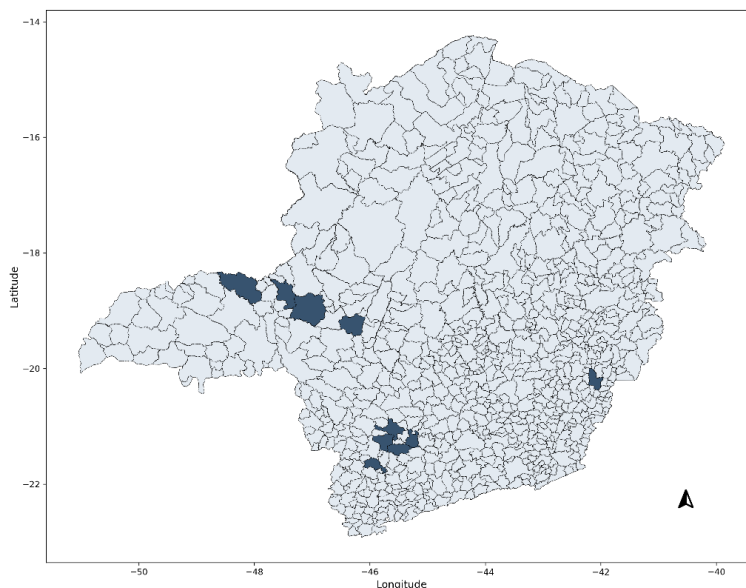
Após a extração do indicador de produção de café em grão, foi realizada a ordenação dos municípios com maior participação no estado, ano a ano, durante o período analisado. A partir do ordenamento, cujos detalhes estão apresentados na Tabela 1, constatou-se que a sequência decrescente dos municípios que mais estiveram entre os dez maiores produtores de café em Minas Gerais foi a seguinte: Patrocínio, Monte Carmelo, Três Pontas, Campos Gerais, Araguari, Manhuaçu, Boa Esperança, Nepomuceno, Machado, Rio Paranaíba

**Tabela 1:** Cidades com maiores frequências de produção de café entre os anos de 1995 e 2022, conforme os dados do IBGE. A frequência absoluta representa o número de vezes em que o município esteve entre os dez maiores produtores de Minas Gerais em relação aos vinte e oito anos considerados.

<b>Município</b>	<b>Código IBGE</b>	<b>Frequência absoluta</b>
Patrocínio	3148103	28
Monte Carmelo	3143104	26
Três Pontas	3169406	26
Campos Gerais	3111606	24
Araguari	3103504	22
Manhuaçu	3139409	17
Boa Esperança	3107109	14
Nepomuceno	3144607	13
Machado	3139003	13
Rio Paranaíba	3155504	13

A distribuição geográfica das cidades se deu conforme a Figura 2, e constatou-se, como esperado, a concentração de municípios na região Sul e Centro-Oeste de Minas Gerais.

**Figura 2:** Representação espacial dos municípios apresentados na Tabela 1.



Fonte: Do autor, 2024

Notou-se que os municípios que mais produziram ao longo do ano se concentraram em regiões próximas uns dos outros, formando grupos, com exceção de Manhuaçu. Foi observado que a formação dos dois grandes grupos se dá, principalmente, em função do clima adequado, infraestrutura para produção e o mercado local.

O fato de Manhuaçu não estar dentro de um grupo produtor se justifica, principalmente, pela construção histórica da cidade, visto que a região a qual Manhuaçu está inserida é mais conhecida por conter mercados de extração mineral, porém, no decorrer da formação do município viu-se a possibilidade de explorar o cultivo de café, já que, a cidade possui características climáticas também adequadas para o cultivo da cultura, conforme demonstrado na Tabela 3 (Prefeitura Manhuaçu, 2017).

**Tabela 2:** Dados médios de altitude, extraídas do sistema de satélite do Google Earth (2024), temperatura média, a partir banco de dados da *Weather Spark* (2024) e precipitação mensal média através da *National Aeronautics and Space Administration*, (2024) dentre as cidades consideradas no estudo.

<b>Município</b>	<b>Temperatura Média (°C)</b>	<b>Precipitação Média (mm)</b>	<b>Altitude (m)</b>
Patrocínio	23	106,1	972
Monte Carmelo	23	103,7	893
Três Pontas	21	107,7	892
Campos Gerais	21,5	105,4	870
Araguari	23	104,2	944
Manhuaçu	21,5	100,6	635
Boa Esperança	22	105,4	798
Nepomuceno	21,5	103,4	852
Machado	21	107,7	865
Rio Paranaíba	22	102,4	1.126

Fonte: Do autor, 2024

Para as informações mercadológicas, buscou-se dados disponibilizados pela Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé, a COOXUPÉ (2024), visto que a organização recebe café das principais regiões produtoras de café de Minas Gerais. Na base disponível havia dados referentes ao preço médio do café comercializado na cooperativa ao longo dos anos, sendo assim, extraiu-se os dados a partir de 1995. Os preços históricos foram corrigidos pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), definindo como base o mês de janeiro de 2024, o que permite a comparabilidade das cotações ao longo do tempo.

A partir do pressuposto da relação entre o contingente de *commodity* produzido e sua relevância nas movimentações do preço, devido, principalmente, a relação entre disponibilidade no mercado e procura pelo produto, foram extraídas variáveis climáticas associadas a cada centroide dos municípios classificados como maiores produtores, abrangendo, de forma mensal, todo o período desse estudo, para obtenção dos dados climatológicos os dados climatológicos. Para isso, foi utilizado o sistema de fornecimento de dados da *National Aeronautics and Space Administration* (2024) via *Application Programming Interface* (API), em *Python 3*. A partir da extração dos dados, foram criadas e organizadas as seguintes variáveis:

- a) **Precipitação:** A precipitação total acumulada foi criada a partir da variável *Precipitation Corrected* (PRECTOTCORR). Essa variável representa a média das precipitações totais acumuladas em cada mês, observadas em cada município, considerando penalizações de déficits hídricos para as regiões analisados, sendo muito forte (<560mm), forte (760-560mm), moderado (960-760mm) e sem déficit (>960mm) no período de setembro a março, com base nos indicadores de Matiello (1991) e Luppi *et al.* (2014);
- b) **Temp\_max:** Máxima da temperatura máxima mensal observada nos municípios foi criada a partir da variável *Temperature at 2 meters maximum* (T2M\_MAX), as penalizações se deram a partir de 35° C conforme indicadas por Damatta (2024);
- c) **Temp\_min:** Mínima da temperatura mínima mensal observada nos municípios foi criada a partir da variável *Temperature at 2 meters minimum* (T2M\_MIN) e estipulou-se um índice de penalização em 10°C, 4°C e 3°C conforme Larcher (1981) e Bauer *et al.* (1990).

Para a temperatura do ar fez-se a análise dos valores absolutos, para as máximas extraiu-se o maior valor atingido dentre todos os municípios analisados em cada mês, e para as temperaturas mínimas extraiu-se o menor valor atingido no mês, dentre todos os municípios. Já os valores de precipitação representaram a média mensal pluviométrica dos municípios analisados.

Para a análise dos dados, buscou-se investigar a associação entre as variáveis climáticas e o preço de mercado do café, sendo que ambas estavam distribuídas em um determinado tempo. Portanto, os dados compunham uma série temporal, conforme a definição de Souza e Camargo (1996). O modelo utilizado foi o ARIMAX, de Box-Jenkins (1976), um modelo autorregressivo integrado de médias móveis com a presença de variáveis explicativas.

O modelo é baseado em um processo linear, no qual uma série temporal pode ser representada como uma combinação linear de seus valores e erros observados em momentos anteriores. O modelo ARIMA também pode ser ampliado de modo a conter variáveis exógenas, sendo denominado ARIMAX (Morettin; Tolo, 2006).

Algebricamente, sendo  $y_t$  o preço de mercado do café no mês  $t$ , para  $t = 1, \dots, n$ , e  $X_t$  uma matriz contendo as variáveis climáticas. O modelo ARIMAX foi definido conforme a equação abaixo:

$$\Delta y_t = \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j e_{t-j} + \sum_{m=1}^M \beta_m X_{t-m} + e_t$$

sendo  $\varphi_1, \dots, \varphi_p$ ;  $\theta_1, \dots, \theta_q$  os parâmetros autorregressivos e de médias móveis, respectivamente,  $\beta_1, \dots, \beta_M$  são os parâmetros associados com as variáveis explicativas e  $e_t$  corresponde aos resíduos do modelo.

A escolha das ordens  $p$  e  $q$  do modelo foi dada a partir da análise das funções de autocorrelação parcial e autocorrelação, respectivamente. Em respeito as variáveis climáticas, foram consideradas defasagens de 12 meses em  $X_t$ , sendo removidas aquelas não significativas ao nível  $\alpha = 5\%$ . A suposição de ruído branco sobre os erros foi validada com o teste de Ljung–Box (1978).

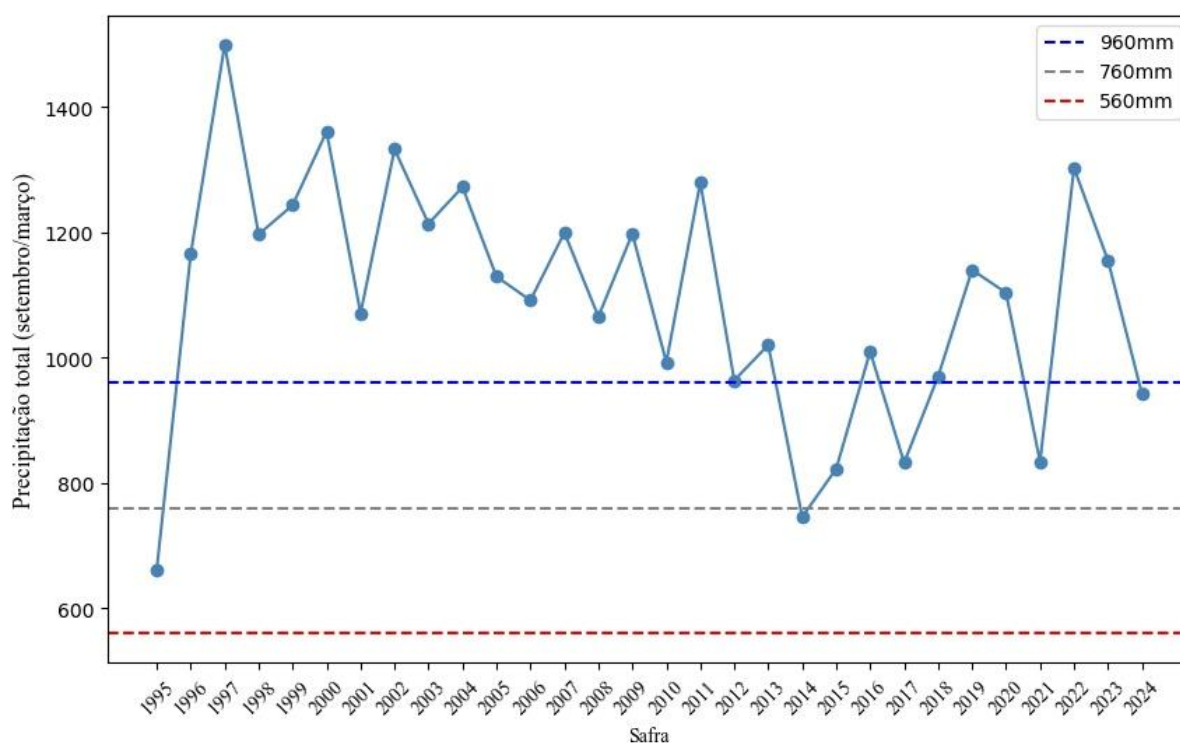
A análise foi realizada em *Python 3 com o pacote statsmodels* (2024) e os parâmetros do modelo foram estimados via máxima verossimilhança.

#### 4.0 Resultados e discussões

A partir da análise e interpretação sistemática dos dados geográficos, mercadológicos e climatológicos, foi possível entender a resposta das variáveis ao longo dos anos e suas interações.

Em relação às variáveis climáticas, foram observadas variações nos valores de precipitação ao longo dos anos (Figura 3).

**Figura 3:** Série temporal da precipitação acumulada média no período setembro/março dos 10 municípios considerados no estudo.



Fonte: Do autor, 2024

Dessa forma, buscando entender os dados obtidos com a realidade de campo, demonstrados na Figura 3, analisou-se a precipitação correspondente ao período de setembro a março, que são os períodos chuvosos de maior importância para o cafeeiro, sendo assim, os pontos no gráfico se apresentam como safra, pois levam em conta o ano agrícola da cultura.

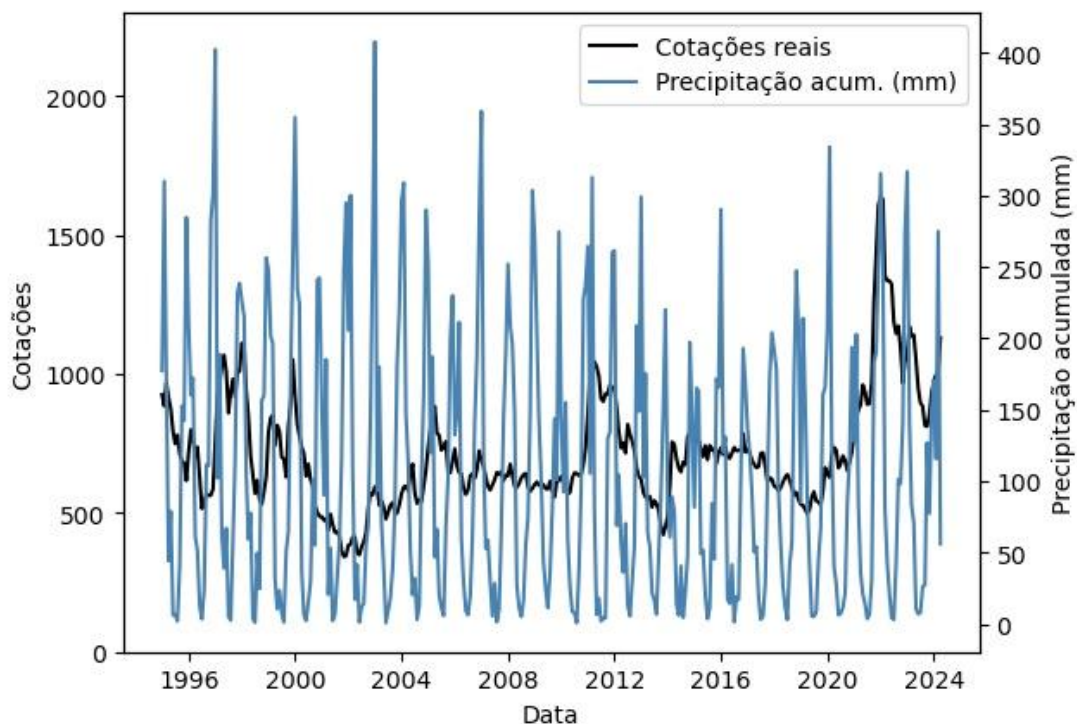
A partir dos critérios de déficit hídrico observados por Matiello (1991), que indica penalizações hídricas, notou-se que ao longo dos anos as regiões estiveram predominantemente em situações sem déficit hídrico, o que ocorreu 24 vezes. O valor correspondente a condições de déficit moderado ocorreu 4 vezes e se deu nas safras de 13/14, 14/15, 16/17, 20/21 e 24/25. Por fim, os valores que indicam déficit hídrico forte foram observados 2 vezes nas safras de 94/95 e 13/14. Os valores de déficit hídrico muito forte não foram observados ao longo da série.

A água possui propriedades que a tornam fundamental para as culturas agricultáveis e exerce funções essenciais para as plantas, tais como a translocação de nutrientes, as reações químicas no interior das células dentre outras (Damatta; Ramalho, 2006). Portanto, sua presença influi na qualidade e quantidade de frutos produzidos pela planta, que por sua vez alterará a quantidade disponível no mercado fazendo com que haja variação de preços a depender da intensidade do evento (Vasconcellos, 2014).

Buscando complementar a observação sobre a influência que precipitação exerce sobre os preços da *commodity* por meio da produção, a Figura 4 traz uma comparação gráfica da resposta das cotações do café com as precipitações extraídas das cidades produtoras analisadas observadas na Tabela 1.



**Figura 4:** Análise gráfica da resposta dos preços e precipitação ao longo da série histórica.

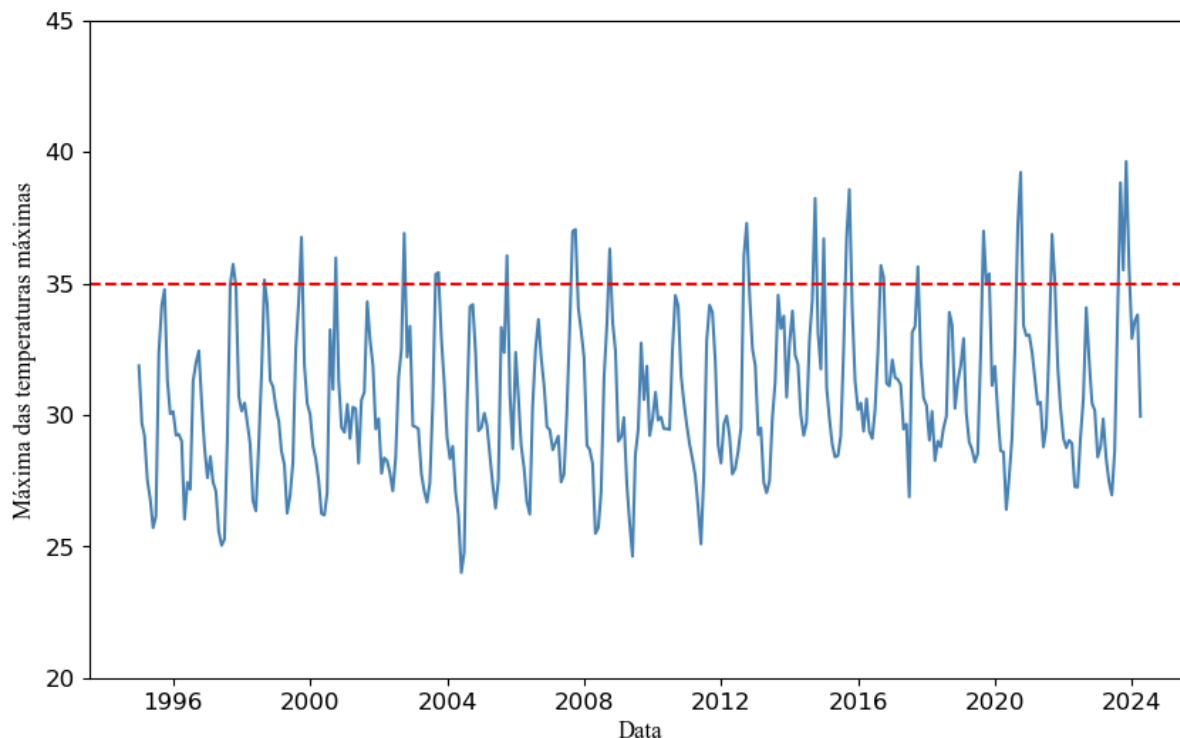


Fonte: Do autor, 2024

Nota-se que há diversos pontos no gráfico que, comparativamente, demonstram uma natureza inversamente proporcional, como no período de fevereiro de 2010 a abril de 2011, onde notou-se um aumento do preço de cerca de 71% e os índices de precipitação abaixo da média mensais na maioria dos meses do período, principalmente nos meses de agosto a outubro. Assim como nas situações contrárias, onde houve chuvas acima das médias mensais, como entre os meses de abril e outubro de 2009 e redução nos preços em 8%.

Portanto, a Figura 5 mostra que quando analisado o valor de temperatura de 35°C, em que, teoricamente, teríamos perdas significativas no acúmulo de matéria seca, a série indicou que o valor foi atingido 30 vezes. Analisando as temperaturas de 36 e 37 °C, a série atingiu os valores 18 e 8 vezes respectivamente.

**Figura 5:** Resposta da variável de temperatura máxima. Representa os valores mais altos de temperatura das cidades analisadas no período do estudo em cada mês.



Fonte: Do autor, 2024

A literatura indica que há divergência quanto aos valores críticos de temperatura máxima, uma vez que, esse fator é relativo a diversos outros fatores, sejam eles externos (tempo de exposição, tipo de solo) ou internos (tolerância da planta, volume radicular) (Damatta; Ramalho, 2006). Além disso, os valores críticos de temperaturas máximas tornam-se ainda mais relativos quando consideramos os mecanismos de aclimação do cafeeiro e as circunstâncias dos experimentos envolvendo o assunto, que acontece, em sua maioria, em ambientes controlados.

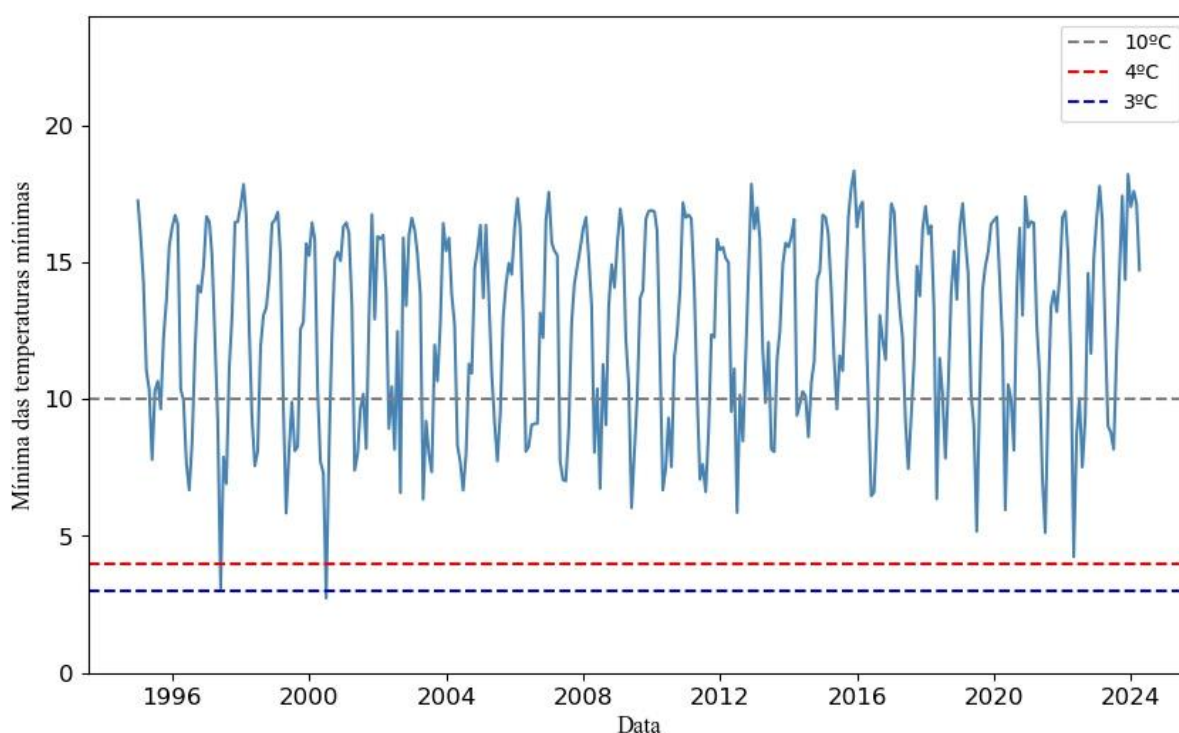
Todavia, foi possível observar que as regiões analisadas apresentaram uma grande oscilação da variável e mantiveram uma média de máxima temperatura por volta de 32° C, próximo a temperatura que observaríamos danos.

As altas temperaturas podem estar relacionadas a diminuição de eficiência no processo de fotossíntese, desbalanço de reações químicas no interior da célula (Damatta; Ramalho, 2006) e abortamento floral (Weill *et al.* 1999). Todos esses fatores resultam em perda de produtividade no campo, seja de maneira direta ou indireta, sendo assim, se a disponibilidade do produto se torna escassa a movimentação ascendente dos preços, em geral, deve observada, seguindo a perspectiva do modelo econômico de oferta e procura (Vasconcellos, 2014).

Conforme os dados indicados pela Figura 6, a resposta das temperaturas mínimas se manteve, em geral, com valores basais pouco mais constantes quando em comparação as máximas. Buscou-se analisar os limiares em que fosse possível observar danos a produção segundo Larcher, (1981), Bauer *et al.* (1990) e Manetti e Caramori (1986) , sendo assim, a série histórica esteve no intervalo  $\leq 10^{\circ}\text{C}$  por 97 vezes; 2 vezes no intervalo  $\leq 4^{\circ}\text{C}$ ; e 1 única vez na intercadência  $\leq 3^{\circ}\text{C}$ .

Assim como para as temperaturas máximas, foram observados a alta frequência de ocorrência das temperaturas basais indicadas para o cafeeiro, o que pode afetar a influência na sua produtividade, conforme os mecanismos de tolerância mencionados.

**Figura 6:** Serie temporal da temperatura mínima absoluta do ar dos dez municípios estudados.



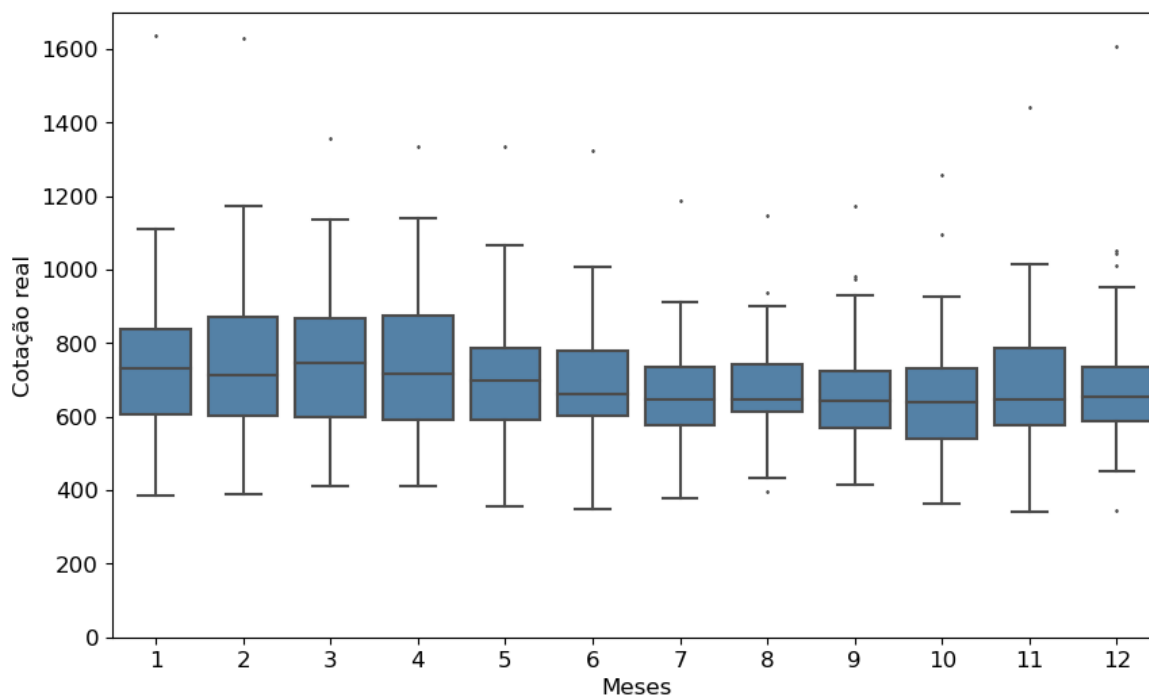
Fonte: Do autor, 2024

As temperaturas mínimas, quando severas, podem ter interferência direta na produção de grãos de café, visto que é possível observar dano as células da planta, consequentemente dos frutos, em decorrência do rompimento da parede celular por formação de cristais de gelo. Além disso, a planta tende a ter uma redução do seu metabolismo em temperaturas mais baixas positivas que diminui a taxa fotossintética, consequentemente a produção de açúcares e formação de frutos (Damatta; Ramalho, 2006).

A Figura 7 demonstra a resposta do preço de mercado do café mensalmente ao longo do período estudado, logo é possível analisar que houve pouca variação da mediana entre os meses. Além disso é possível notar a influência da oferta e demanda, já que a partir de junho,

a média de preços reduziram, período que coincide com a maioria das colheitas em Minas Gerais.

**Figura 7:** Representação dos preços históricos do café por meio de um gráfico *boxplot*.



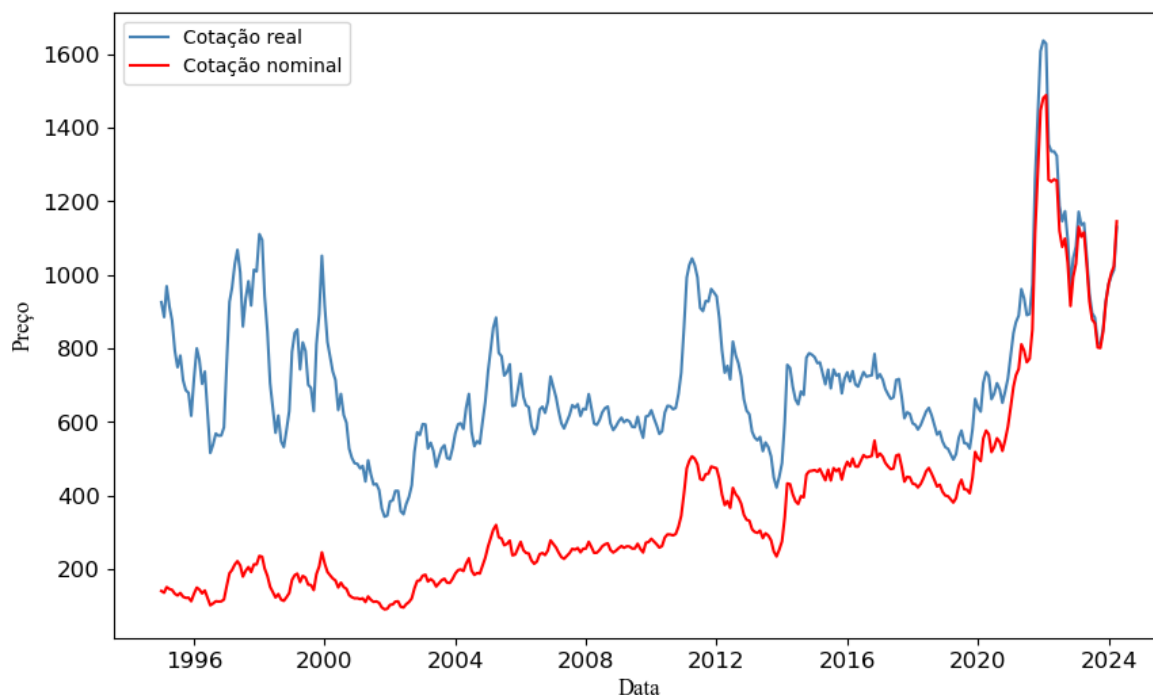
Fonte: Do autor, 2024

Ademais, é possível observar também, que os maiores valores dos quartis e limites máximos dos meses é maior fora da época de colheita, ou seja, de novembro a maio, visto que, nessa época acontece as movimentações de especulações quanto a safra vigente.

Uma resposta que podemos vir a observar é o aumento dos quartis e limites máximos para os próximos anos, já que estamos vivendo uma realidade de instabilidade climática, sendo assim, a determinação do potencial produtivo das lavouras se torna cada vez mais incerto, abrindo margem para maiores especulações, refletindo também em maiores possibilidades de variação no preço do café.

Buscou-se também visualizar a tendência de resposta da série histórica dos preços, conforme a Figura 8, com o intuito de complementar as análises trabalhadas e minuciar com maior precisão a associação de preços com as variáveis climáticas ao longo dos anos.

**Figura 8:** Resposta dos preços reais (azul), valores que passaram por uma correção com base na inflação atual e preços nominais (vermelho), obtidos pelo valor da moeda na época.



Fonte: Do autor, 2024

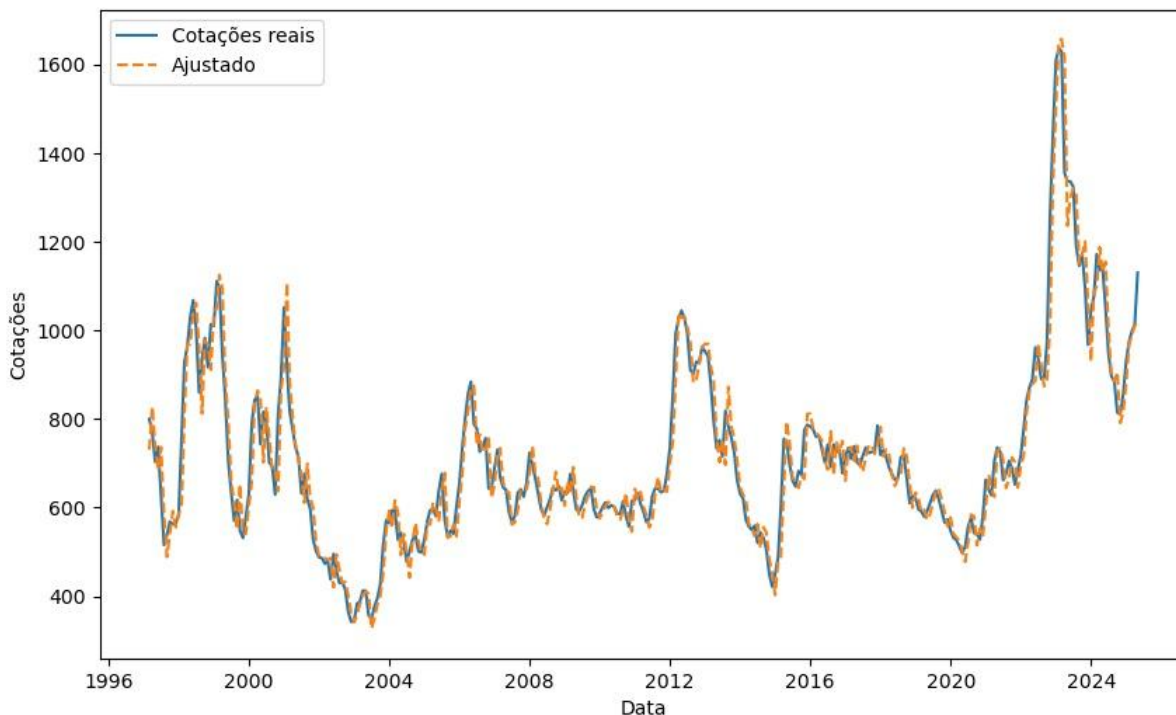
Os preços nominais demonstram certa estabilidade na série histórica, com uma progressão de crescimento constante e variações que indicam movimentações usuais como o aquecimento do mercado pelo aumento ou escassez da oferta.

Percebe-se que no período de 2021 instaurou-se um novo patamar de preços para o café, que foram causados em partes pela ocorrência de geadas severas na região do Sul de Minas, que resultaram na perda de produção e aumento da especulação sobre a *commodity*, e pela ocorrência da pandemia do Covid 19, que afetou sobretudo a disponibilidade de mão de obra.

Apesar da queda no preço pós-período pandêmico, já é observado uma movimentação de retomada no aumento, devido justamente a instabilidade climática que está sendo vivida em 2024, um longo período longo de seca e altas temperaturas em épocas anormais, dentre outros fatores políticos e econômicos.

Buscou-se analisar a associação entre as variáveis mercadológicas e climáticas, dessa forma, de acordo com a Figura 9, verificou-se que a precipitação e preço em períodos anteriores têm incorrência na resposta do preço. Porém, não houve associação significativa entre temperatura, sejam elas máximas ou mínimas, com os preços observados.

**Figura 9:** Ajuste do modelo de ARIMAX desenvolvido em relação a progressão de preços históricos do café.



Fonte: Do autor, 2024

É de conhecimento que ao longo do período de análise do trabalho houve ocorrência de baixas temperaturas que interferiram na produção no Sul de Minas Gerais (CONAB, 2021), contudo, também é notório que esses eventos acontecem com baixa frequência e tornam-se pontuais quando olhamos a série de maneira holística. Portanto, o modelo utilizado não foi capaz de indicar associação desses eventos com a movimentação do preço.

O modelo ARIMAX tem como finalidade investigar o mecanismo gerador da série temporal, realizar previsão de valores, descrever os comportamentos da série ou fazer a procura de periodicidades relevantes nos dados (Morettin; Toloi, 2006).

A equação do modelo ajustado ARIMAX foi:

$$\Delta y_t = 0,285y_{t-1} - 0,098y_{t-6} - 0,085\text{prec}_{t-6} - 0,109\text{prec}_{t-7} - 0,083\text{prec}_{t-11} + e_t,$$

onde  $Y_{t-j}$  representa o valor do preço em meses anteriores, sendo que o preço a um e seis meses anteriores ao instante atual, assim como a variável para precipitação  $\text{prec}_{t-j}$ , em 6, 7 e 11 meses antecedentes ao mês do preço atual, mostraram associados com o preço atual,  $Y_t$ .

Além disso, percebe-se que a defasagem  $Y_{t-6}$  e todas as variáveis de precipitação se apresentam como coeficientes negativos, expondo uma resposta inversamente relacionado ao valor esperado do preço do café no mês de interesse.

O modelo estimado tem como base de funcionamento o conjunto de uma série histórica, que por sua vez necessita de constante alimentação de dados e ajustes. Visto que, o cenário climático tem se mostrado incerto, com valores de temperatura acima da média na região sudeste do Brasil, redução do armazenamento hídrico no solo e alteração distribuição de chuvas decorrentes dos fenômenos de El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e Dipolo do atlântico, também afetado por temperaturas acima da média (INMET, 2024), a relação entre as variáveis que foram consideradas relevantes estatisticamente na equação estimada para o modelo ARIMAX podem ser alteradas.

Portanto, a efetividade da equação de previsão nos padrões estabelecidos tenderá a se tornar obsoleto com o passar do tempo, de forma que a relação entre os extremos climáticos e o preço deverão se alterar na medida em que houver alteração na frequência e intensidade de ocorrência dos eventos. O que reforça a ideia de que esses modelos sejam reestimados com frequência de modo a gerenciar essas possíveis associações e propiciar a formulação de políticas de risco.

Frente a problemática abordada é nítido a necessidade de intervenção por parte de todos os agentes envolvidos na cadeia produtora do café visando divulgar, disponibilizar e elaborar medidas que viabilizem a continuidade dos cultivos diante da situação de incertezas climáticas.

Sendo assim, é fundamental a adoção de práticas de condução de lavouras que melhorem os atributos físico-químicos do solo, visto que isso implica em uma melhor aeração, armazenamento e circulação de água no solo, disponibilidade de nutrientes e atividade macro e microbiológica (Reichert *et al.*, 2011).

Além disso, com as condições ideais para o crescimento da planta, utilizando de fertilidade construída no perfil de solo, plantas de cobertura (Carducci; Oliveira., 2021) e irrigação (Cunha, 2013), por exemplo, há um impacto positivo no crescimento radicular e conseqüentemente em acréscimos na produtividade.

Por fim, é válido salientar a importância de uma abordagem holística quanto a disseminação de práticas adaptativas, visto que as tomadas de decisões por parte dos produtores não estão ligadas unicamente a decisões econômicas e sim por um conjunto de fatores relacionados a cultura do agricultor. Sendo assim, o fator educacional mostra grande influência no processo de adoção de novas práticas na propriedade (Carlos *et al.*, 2019).

## **5.0 Considerações Finais**

Com base nos resultados deste estudo, foi possível observar uma relação importante entre o déficit hídrico e o preço do café, enquanto a temperatura do ar não teve influência na

variação do preço. Baseado na equação proposta apenas o valor da precipitação no 6º, 7º e 11º mês e o valor de mercado da *commodity* no 1º e 6º mês anteriores ao período de análise desejado mostraram influenciar sobre o preço futuro do café.

Ao longo da série tanto os valores de precipitação quanto de temperaturas estiram diversas vezes no limiar que as literaturas consideraram prejudiciais para o café, no entanto, os valores base dessas variáveis indicaram uma adaptação das lavouras as condições de campo, dado a influência prevista na equação proposta.

Apesar de ter ocorrido eventos envolvendo temperatura mínimas positivas e negativas que comprometeram a produção de lavouras em Minas Gerais, o modelo não indicou esses eventos como estatisticamente significantes para predição de preço futuro devido a pontualidade das ocorrências.

As variações nos preços do café são maiores nos meses fora da colheita (novembro a maio) e menor próximo ao período da colheita. Além disso, a resposta dos preços em decorrência da disponibilidade de produto no mercado, onde em meses de colheita a mediana dos preços diminuiu e só mostrou aumento significativo 5 meses após o fim do período de colheita.

Por fim, a pesquisa demonstra a importância de entender a resposta da produção de acordo com as variações climáticas, onde é necessário a adoção de medidas adaptativas voltadas a resiliência ao déficit hídrico, como pelo uso de cultivares adaptadas, ações que visam melhorias na qualidade do solo beneficiando um melhor armazenamento de água e o desenvolvimento radicular.

Recomenda-se também, atenção aos aspectos econômicos, utilizando de ferramentas de gestão estratégica, como a apresentada nesse estudo, que possui aplicação no contexto do zoneamento agrícola e em seguros paramétricos, pois há aplicabilidade na redução dos riscos de mercado e na rentabilidade da produção.

## **6.0 Referências Bibliográficas**

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/aceso-tematico/snirh/snirh-1/aceso-tematico/usos-da-agua>>. Acesso em: 06 out. 2024.

ARBUCKLE, J. G. Jr.; MORTON, L. W.; HOBBS, J. **Entendendo as perspectivas de produtores sobre as adaptações e mitigação as mudanças climáticas: Os caminhos da confiabilidade nas informações climáticas, crenças sob mudanças climáticas, e risco percebido**. *Environ. Behav.*, v. 47, n. 2, p. 205-234, 2015. DOI: 10.1177/0013916513503832.



- ASSAD, Eduardo Delgado *et al.* **Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, p. 1057-1064, 2004. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001100001>>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ. **Indicadores da indústria de café. 2023.** Disponível em: <<https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2023/>>. Acesso em: 06 out. 2024.
- BAUER, H.; COMPLOI, A.; BODNER, M. **Susceptibilidade de congelamento para algumas cultivares de Coffea arábica na África central.** Field Crops Research, v. 24, n. 1-2, p. 119-129, 1990.
- BODNER, M.; LARCHER, W. **Susceptibilidade ao congelamento de diferentes órgãos e tecidos de Saintpaulia ionantha e Coffe arabica.** 1987.
- BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. **Séries temporais, análises de predição e controle.** San Francisco: Holden-day, 1976.
- CAMARGO, Angelo Paes; PEREIRA, Antonio Roberto. **Agrometeorologia da colheita do café.** 1994.
- CAMARGO, Ângelo Paes de; CAMARGO, Marcelo Bento Paes de. **Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil.** Bragantia, v. 60, p. 65-68, 2001.
- CAMARGO, M. B. P. de. **O impacto de variabilidade e mudança climática na colheita do café no Brasil.** Bragantia, v. 69, n. 1, p. 239-247, 2010. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100030>>.
- CARDUCCI, Carla Eloize; OLIVEIRA, Geraldo César de. **Manejo do solo na cafeicultura: produtividade e sustentabilidade.** 2021.
- CARLOS, Sabrina de Matos; CUNHA, Dênis Antônio da; PIRES, Marcel Viana. **Conhecimento sobre mudanças climáticas implica em adaptação?** Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 57, n. 3, p. 455-471, 2019.
- CARRERA-FERNANDEZ, José. **Curso básico de microeconomia.** 2009.
- CEPEA. **PIB do agronegócio brasileiro.** 11 jul. 2024. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx#:~:text=No%20entanto%2C%20as%20baixas%20consecutivas,8%25%20do%20PIB%20do%20Pa%20C3%ADs>>. Acesso em: 06 out. 2024.
- CONAB. **Boletim Café setembro 2024.** 19 set. 2024. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>>
- COOXUPÉ. **Preço Histórico do Café.** Disponível em: <<https://portalweb.cooxupe.com.br:9080/portal/precohistoricocafe.jsp>> Acesso em: 27 nov. 2024.
- COSTE, Rene. **Café: a planta e o produto.** 1992.
- CUNHA, Dênis Antônio da *et al.* **Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: aspectos econômicos.** Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 51, p. 369-386, 2013.
- DAMATTA, Fábio M.; RAMALHO, José D. Cochicho. **Impactos do estresse por seca e temperatura na fisiologia e produção do café: uma revisão.** Revista Brasileira de Fisiologia de Plantas, v. 18, p. 55-81, 2006.

- DAMATTA, F. M. **Restrições da Ecofisiologia na produção de café sombreado e não sombreado: uma revisão**. *Field Crops Research*, v. 86, p. 99-114, 2004.
- DA SILVA, Emerson Alves; MAZZAFERA, Paulo. **Influência da temperatura e água na cultura do café**. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology*, v. 2, n. 2, p. 32-41, 2008.
- EMBRAPA. **VII Plano Diretor da Embrapa 2020-2030**. Brasília, 17 nov. 2020. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217274/1/VII-PDE-2020.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2024.
- EMBRAPA. **Receita bruta dos cafés do Brasil foi estimada em R\$ 52,5 bilhões e ocupa o quarto lugar no ranking das lavouras**. 17 ago. 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/80665999/receita-bruta-dos-cafes-do-brasil-foi-estimada-em-r-525-bilhoes-e-ocupa-o-quarto-lugar-no-ranking-das-lavouras>>.
- FAEP. NT n° 26/19, **Formação de preços das commodities agrícolas**. Paraná, 14 nov. 2019a.
- FIGUEIREDO, M.; ALVES, C. **Análise de preços do café no mercado internacional**. *Revista de Política Agrícola*, v. 31, abr. 2022. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1675>>. Acesso em: 20 fev. 2024.
- GASCÓ, Antônio; NARDINI, Andréa; SALÉO, Sebastião. **A resistência ao fluxo de água através das folhas de Coffea arabica é dominada por tecidos extravasculares**. *Biologia Funcional Vegetal*, v. 12, p. 1161-1168, 2004.
- INMET. **Boletim Agroclimático**, nov. 2024. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro#>>. Acesso em: 25 nov. 2024.
- LARCHER, W. **Fotossíntese como uma ferramenta para indicar eventos de estresse por temperatura**. Em: *Ecofisiologia da Fotossíntese*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1995, p. 261-277.
- LARCHER, Walter. **Efeitos de estresse por baixas temperaturas e dano por congelamento na produtividade de planta**. Em: *Processo limitante na produtividade de plantas*, p. 253-269, 1981.
- LINHARES, André Luís de Carvalho. **Impactos da precipitação na variação dos preços do café entre 2012 e 2020**. 2022.
- LJUNG, G.; BOX, G. **Sobre uma medida de falta de ajuste em modelos de séries temporais**. *Biometrika*, v. 65, n. 2, p. 297-303, 1978.
- LUPPI, Alixandre Sanquetta Laporti *et al.* **Metodologia para classificação de zoneamento agroclimatológico**. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 15, 2014.
- MANETTI FILHO, João; CARAMORI, Paulo Henrique. **Desenvolvimento de uma câmara para simulação de temperaturas baixas**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 21, n. 10, p. 1005-1008, 1986.
- MARTINS, Everton *et al.* **Influência das condições climáticas na produtividade e qualidade do cafeeiro produzido na região do sul de Minas Gerais**. 2015.
- MARTINS, Heloisa da Silva; GUIMARÃES, Thiago Elias Paulino; NOGUEIRA, Thiago. **A Importância do Café na Economia do Sul de Minas**. 2022.
- MATTIELLO, J. B. **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. (Coleção do Agricultor. Grãos).

- MATTIELLO, J. B.; SANTOS, A. R. **Zoneamento agroclimatológico para a cultura do Café Conilon (*Coffea canephora* L.) e Arábica (*Coffea arabica* L.), na Bacia do Rio Itapemirim, ES.** 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 125 f.
- MATIELO, J. B. **O café: do cultivo ao consumo.** São Paulo: Globo, 1991.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. **Análise de Séries Temporais—2ª Edição Revista e Ampliada.** ABE–Projeto Fisher, Editora Edgar Blücher, 2006.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Produção - café.** Disponível em: <<https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0711100>>. Acesso em: 06 out. 2024.
- PINDYCK, Robert S.; RUBINFELD, Daniel L. **Microeconomia.** 8. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.
- PRAXEDES, Sidney C. *et al.* **Efeitos a longo prazo de seca no solo na fotossíntese e metabolismo de carboidratos em folhas maduras de café robusta (*Coffea canephora* Pierre var. *kouillou*).** Environmental and Experimental Botany, v. 56, n. 3, p. 263-273, 2006.
- PREFEITURA DE MANHUAÇU. **História do município de Manhuaçu.** 2017. Disponível em: <<https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0711100>>. Acesso em: 06 out. 2024.
- QUARTIN, V. L.; RAMALHO, J. C.; CAMPOS, P. S.; NUNES, M. A. **A importância da investigação na cafeicultura: o problema do frio.** In: Proceedings of the 1º Colóquio sobre Agricultura, Sociedade e Desenvolvimento Rural em Angola. Instituto Superior de Agronomia Press, Lisboa, 2004, p. 64-72.
- REICHERT, José Miguel *et al.* **Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático.** In: Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 7, p. 1-54, 2011.
- REGO, B. R.; PAULA, F. O. de. **O mercado futuro e a comercialização de café: influências, riscos e estratégias com o uso de Hedge.** Gestão & Conhecimento, v. 7, 2012.
- RODRIGUES, Núbia Aparecida. **Comportamento dos custos de produção do café arábica em relação aos fatores climáticos.** 2013.
- RONCHI, Cláudio Pagotto *et al.* **Efeitos de taxas de imposição e severidade do déficit hídrico sobre o metabolismo de carboidratos em folhas de *Coffea canephora*.** 2005.
- SANDRONI, Paulo. **Novíssimo dicionário de economia.** São Paulo: Best Seller, 1999. 649 p.
- SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA. **Banco de Tabelas Estatísticas.** Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/pnadct/brasil>>. Acesso em: 10 ago. 2024.
- SOUZA, R. C.; CAMARGO, M. **Análise e previsão de séries temporais: os modelos ARIMA.** Ujuí: Editora Unijuí, 1996.
- SANTOS, A. R. **Zoneamento Agroclimatológico para a Cultura do Café Conilon (*Coffea canephora* L.) e Arábica (*Coffea arabica* L.), na Bacia do Rio Itapemirim, ES.** 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 125 f.
- SANTOS, A. R.; LUPPI, Alixandre Sanquetta Laporti. **Metodologia para classificação de zoneamento agroclimatológico.** Revista Brasileira de Climatologia, v. 15, 2014.
- STATES MODEL. **Modelos estatísticos, testes de hipótese e exploração de dados.** Disponível em: <<https://www.statsmodels.org/stable/index.html>>. Acesso em: 25 nov. 2024.

TAVARES, P. de S.; GIAROLLA, A.; CHOU, S. C. *et al.* **Impacto das mudanças climáticas no potencial produtivo do café arábica no sudeste do Brasil. Mudanças ambientais regionais**, v. 18, p. 873–883, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10113-017-1236-z>>.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Produção - café**. Disponível em: <<https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0711100>>. Acesso em: 06 out. 2024.

VARIAN, Hal R. **Microeconomia-princípios básicos**. Elsevier Brasil, 2006.

VASCONCELLOS, M. A. Fundamentos de economia. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2014.

VILELA, Eunice Henriques Pereira. **Variáveis que influenciam a formação de preços do Café Arábica: uma análise regional e nacional**. 2020. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <<http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.4>>.

WEATHER SPARK. **O ano climático em qualquer lugar da terra**. Disponível em: <<https://weatherspark.com/>>. Acesso em: 10 nov. 2024.

WEILL, M. A. M.; ARRUDA, F. B.; OLIVEIRA, J. B.; DONZELI, P. L.; RAIJ, B. van. **Avaliação de fatores edafoclimáticos e do manejo na produção de cafeeiros (Coffea arabica L.) no Oeste Paulista**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, n. 4, p. 891–901, 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000400016>>.