

**WILLIAN APARECIDO LEOTI ZANETTI**

**CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS QUANTO AO ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO  
PARA CAFEICULTURA E PROJEÇÕES DE IMPACTOS DAS MUDANÇAS  
CLIMÁTICAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

**Botucatu**

**2021**



**WILLIAN APARECIDO LEOTI ZANETTI**

**CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS QUANTO AO ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO  
PARA CAFEICULTURA E PROJEÇÕES DE IMPACTOS DAS MUDANÇAS  
CLIMÁTICAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Dal Pai

**Botucatu**

**2021**

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Z28c | <p>Zanetti, Willian Aparecido Leoti</p> <p>Classificação das áreas quanto ao zoneamento agroclimático para cafeicultura e projeções de impactos das mudanças climáticas do estado de Minas Gerais / Willian Aparecido Leoti Zanetti. -- Botucatu, 2021</p> <p>80 p. : tabs., mapas</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu</p> <p>Orientador: Fernando Ferrari Putti</p> <p>Coorientador: Alexandre Dal Pai</p> <p>1. Aptidão climática. 2. Cafeicultura. 3. Mudanças climáticas. 4. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. 5. Zoneamento. I. Título.</p> |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS QUANTO AO ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO PARA CAFEICULTURA E PROJEÇÕES DE IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS

AUTOR: WILLIAN APARECIDO LEOTI ZANETTI

ORIENTADOR: FERNANDO FERRARI PUTTI

COORIENTADOR: FERNANDO FERRARI PUTTI

COORIENTADOR: ALEXANDRE DAL PAI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:

*Fernando Ferrari Putti*

Prof. Dr. FERNANDO FERRARI PUTTI (Participação Virtual)  
Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP - Tupã

*Fernando F. Putti*

Prof. Dr. RAUL ANDRÉS MARTINEZ URIBE (Participação Virtual)  
Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP - Tupã

*Fernando F. Putti*

Prof.ª Dr.ª VALERIA CRISTINA RODRIGUES SARNIGHAUSEN (Participação Virtual)  
Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Botucatu, 22 de fevereiro de 2021



*Dedico a toda minha família, em especial aos  
meus queridos pais  
Rosemeire e Evandro.*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela presença e pela força em vencer os obstáculos presentes nesta caminhada, que mesmo em meio a problemas de saúde e uma pandemia, me agraciou com fé para tornar esses momentos mais compreensíveis.

Agradeço aos meus familiares, por todo o carinho e apoio nos momentos que precisei. Em especial aos meus pais que sempre me deram força e esperança para encarar os desafios.

À minha namorada Vanessa, que em meio as minhas crises de desesperos sempre soube me ouvir e envolver em sua paciência para me acalmar. Além de sempre me ajudar no que foi necessário, mesmo não sendo algo do seu domínio.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti, por se fazer mais que um orientador, um amigo que sempre esteve ao meu lado dialogando e buscando soluções para todos os desafios.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Alexandre Dal Pai, que de início me acolheu como orientando e me trouxe muito aprendizado e conhecimento.

Também quero agradecer ao César de Oliveira, que desde o começo com a mudança do meu projeto abraçou a ideia, auxiliando e compartilhando conhecimentos e ideias que ajudaram a enriquecer o trabalho.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em especial à Faculdade de Ciências Agrônômicas, campus de Botucatu, por proporcionar um ambiente importante de formação, aprendizado e de novas oportunidades.

Aos Docentes do Programa de Pós Graduação em Agronomia: Irrigação e Drenagem, pelo comprometimento e dedicação em compartilhar conhecimentos.

À amigos que se tornaram parte da família, que estavam prontos para qualquer momento, Bruno, Bruna, João, Kamila e Maria Clara. Assim como aqueles que deixavam o almoço de domingo gastronômico, Tamara e Tati. Além daqueles com presenças fundamentais e que não poderia deixar de agradecer, Adolfo e Douglas.

À uma família que de início me acolheu e me trouxe muitas alegrias em Botucatu, além de uma ajuda essencial e muito gratificante. Agradeço a Dona Ana Claudia, Seu Edson, Marielly, Victor e Mirella.

Também agradeço a todos aqueles que não citei, mas que de alguma forma contribuíram por momentos incríveis em Botucatu.

Não poderia deixar de citar e agradecer a ajuda do meu amigo e parceiro Gabriel (Jamal), que desde a graduação sempre me socorre na solução de dúvidas. Assim

como os amigos que conheci na Unesp campus de Tupã e tenho a graça de mesmo não estando mais próximos, torcerem pelo meu sucesso, em especial Bianca, Bruno e Carol.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida (Processo nº 8882.432997/2019-01).

Assim como demais pessoas que contribuíram diretamente ou indiretamente, meus sinceros agradecimentos.

"Sede alegres na esperança, pacientes na tribulação e perseverantes na oração"

BÍBLIA, A. T. Romanos. In: BÍBLIA. **Bíblia Sagrada:**  
Edição Pastoral. Tradução: Ivo Storniolo. São Paulo:  
Paulus, 1990. p. 2388.



## RESUMO

O agronegócio tem grande importância no desenvolvimento do país, com representatividade de 20% a 25% na parcela do PIB (Produto Interno Bruto) nos últimos anos. Neste cenário destaca-se o café (*Coffea L.*), uma das mais relevantes commodities que coloca o Brasil como maior produtor e exportador do produto, considerando patamares alcançados principalmente pelo impulso produtivo de estados, como Minas Gerais, que representa grande participação produtiva e que coloca como o estado com maior produção. Estes fatos impulsionam a exploração de novas medidas de eficiência e implementações, pautadas nas melhores formas de assegurar as produções e gerenciamento dos recursos, principalmente contornando mudanças e impactos climáticos que influenciam na cultura, visto a grande interferência do clima sobre os valores produtivos. A partir deste contexto, este trabalho teve como objetivo realizar a determinação do zoneamento agroclimático para o café Arábica e Conilon, assim como a análise de impacto das mudanças climáticas a partir do aumento das temperaturas. Para o desenvolvimento do trabalho foi obtido séries históricas (1989-2019) de temperatura média do ar, deficiência hídrica e umidade relativa do ar, levantado por meio da rede de Estações Meteorológicas Automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas em 44 municípios do Estado de Minas Gerais. A partir da análise e desenvolvimento do zoneamento agroclimático, constatou-se para o café Arábica 25,35% de regiões aptas, 35,78% restritas e 38,86% inaptas. Para o Conilon não foi identificado regiões consideradas aptas, somente 74,43% restritas e 25,57% inaptas. Observando a necessidade de implantações de medidas que possam contornar impactos, pois as projeções futuras com análise ao incremento de temperaturas, indicam a redução de áreas aptas e até mesmo a possível extinção da cultura no estado. Constatando que maior parte das áreas necessitam de implementações voltadas em torno da introdução de técnicas e métodos precisos para assegurar o cultivo e volume produtivo, como o manejo eficiente de irrigação, ou mesmo associar com as condições favoráveis do ambiente visto as suas necessidades e exigências. Além de que áreas aptas com o aumento de temperatura ao longo dos anos podem alterar a classificação e necessitar da intensificação dessas técnicas. Evidenciando que o zoneamento agroclimático é uma ferramenta importante nestas análises, podendo gerenciar e identificar perspectivas ao desenvolvimento e aptidão das culturas.

**Palavras-chave:** Agronegócio. Clima. Irrigação. Mudanças Climáticas. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas



## ABSTRACT

Agribusiness is of great importance in the development of the country, accounting for 20% to 25% of the GDP (Gross Domestic Product) in recent years. In this scenario, coffee (*Coffea L.*) stands out as one of the most relevant commodities that places Brazil as the largest producer and exporter of the product, considering levels achieved mainly by the productive impulse of states such as Minas Gerais, which represents a large productive participation and places it as the state with the largest production. These facts drive the exploration of new efficiency measures and implementations, based on the best ways to ensure the production and management of resources, especially circumventing changes and climate impacts that influence the culture, since the great interference of climate on production values. Based on this context, this work aimed to determine the agro-climatic zoning for Arabica and Conilon coffee, as well as the analysis of the impact of climate change due to the increase in temperatures. For the development of the work, it was obtained historical series (1989-2019) of average air temperature, water deficiency and relative humidity, surveyed through the network of Automatic Weather Stations of the National Institute of Meteorology (INMET), located in 44 municipalities of the state of Minas Gerais. Based on the analysis and development of agroclimatic zoning, it was found that 25.35% of suitable, 35.78% restricted and 38.86% unsuitable regions for Arabica coffee. For Conilon no regions considered suitable were identified, only 74.43% restricted and 25.57% unsuitable. Observing the need for implementation of measures that can circumvent impacts, because future projections with analysis of increased temperatures, indicate the reduction of suitable areas and even the possible extinction of the culture in the state. Noting that most areas need implementations focused around the introduction of techniques and accurate methods to ensure the cultivation and productive volume, such as efficient management of irrigation, or even associate with the favorable conditions of the environment seen their needs and requirements. Besides that, suitable areas with increasing temperatures over the years may change the classification and require the intensification of these techniques. Evidencing that the agroclimatic zoning is an important tool in these analyses, it can manage and identify prospects for the development and suitability of crops.

**Keywords:** Agribusiness. Climate. Irrigation. Climate Changes. Intergovernmental Panel on Climate Change



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Representação do estado de Minas Gerais dividida em Regiões Geográficas Intermediárias.....                                                                 | 29 |
| Figura 2 - Aptidão agrícola para café Arábica de acordo com temperatura média entre 1989 a 2019 (INMET).....                                                           | 35 |
| Figura 3 - Aptidão agrícola para café Arábica de acordo com o déficit hídrico entre 1989 a 2019 (INMET).....                                                           | 36 |
| Figura 4 - Aptidão agrícola para café Arábica de acordo com a umidade relativa do ar entre 1989 a 2019 (INMET).....                                                    | 37 |
| Figura 5 - Zoneamento agroclimático para café Arábica nas Regiões Geográficas Intermediárias de Minas Gerais.....                                                      | 39 |
| Figura 6 - Aptidão agrícola para café Conilon de acordo com temperatura média entre 1989 a 2019 (INMET).....                                                           | 41 |
| Figura 7 - Aptidão agrícola para café Conilon de acordo com o déficit hídrico entre 1989 a 2019 (INMET).....                                                           | 42 |
| Figura 8 - Aptidão agrícola para café Conilon de acordo com a umidade relativa do ar entre 1989 a 2019 (INMET).....                                                    | 43 |
| Figura 9 - Zoneamento agroclimático para café Conilon nas Regiões Geográficas Intermediárias de Minas Gerais.....                                                      | 44 |
| Figura 10 - Projeção do cenário 2030 otimista para o aumento de temperatura em 0,2°C e 1,2°C e pessimista com aumento de 0,4°C e 1,6°C na cultura do café Arábica..... | 61 |
| Figura 11 - Projeção do cenário 2050 otimista para o aumento de temperatura em 0,3°C e 1,8°C e pessimista com aumento de 1,0°C e 2,6°C na cultura do café Arábica..... | 62 |
| Figura 12 - Projeção do cenário 2100 otimista para o aumento de temperatura em 0,4°C e 1,9°C e pessimista com aumento de 2,4°C e 5,2°C na cultura do café Arábica..... | 63 |
| Figura 13 - Projeção do cenário 2030 otimista para o aumento de temperatura em 0,2°C e 1,2°C e pessimista com aumento de 0,4°C e 1,6°C na cultura do café Conilon..... | 65 |
| Figura 14 - Projeção do cenário 2050 otimista para o aumento de temperatura em 0,3°C e 1,8°C e pessimista com aumento de 1,0°C e 2,6°C na cultura do café Conilon..... | 66 |
| Figura 15 - Projeção do cenário 2100 otimista para o aumento de temperatura em 0,4°C e 1,9°C e pessimista com aumento de 2,4°C e 5,2°C na cultura                      |    |

do café Conilon.....67

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Abrangência de municípios de acordo com a divisão por regiões geográficas intermediárias.....                 | 30 |
| Tabela 2 - Estações utilizadas na determinação do zoneamento agroclimático no estado de Minas Gerais.....                | 31 |
| Tabela 3 - Dados de referências técnicas para a determinação do zoneamento agroclimático da cultura do café.....         | 33 |
| Tabela 4 - Projeções de aumento aproximado de temperatura média para cenários do IPCC para o sudeste da América.....     | 59 |
| Tabela 5 - Dados de referências técnicas para a temperatura média anual zoneamento agroclimático da cultura do café..... | 59 |



## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>                                                                                                                                             | <b>21</b> |
| <b>ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO PARA O CAFÉ ARÁBICA E CAFÉ CONILON NO ESTADO DE MINAS GERAIS .....</b>                                                                        | <b>25</b> |
| 1.1 INTRODUÇÃO.....                                                                                                                                                       | 26        |
| 1.2 MATERIAL E MÉTODO .....                                                                                                                                               | 28        |
| 1.2.1 Área de estudo.....                                                                                                                                                 | 28        |
| 1.2.2 Dados meteorológicos utilizados no estudo .....                                                                                                                     | 29        |
| 1.2.3 Balanço hídrico climatológico .....                                                                                                                                 | 32        |
| 1.2.4 Determinação do zoneamento agroclimático e plotagem dos mapas .....                                                                                                 | 33        |
| 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                                                                                          | 34        |
| 1.3.1 Zoneamento agroclimático do café arábica .....                                                                                                                      | 34        |
| 1.3.2 Zoneamento agroclimático do café conilon .....                                                                                                                      | 40        |
| 1.3.3 Importância do zoneamento agroclimático no gerenciamento e planejamento do cultivo dos cafés para minas gerais.....                                                 | 45        |
| 1.4 CONCLUSÃO .....                                                                                                                                                       | 47        |
| REFERÊNCIAS .....                                                                                                                                                         | 48        |
| <b>IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO DO CAFÉ ARÁBICA E CAFÉ CONILON NO ESTADO DE MINAS GERAIS A PARTIR DE PROJEÇÕES FUTURAS DE AUMENTO DE TEMPERATURA .....</b> | <b>54</b> |
| 2.1 INTRODUÇÃO.....                                                                                                                                                       | 55        |
| 2.2 MATERIAL E MÉTODO .....                                                                                                                                               | 58        |
| 2.2.1 Área de estudo.....                                                                                                                                                 | 58        |
| 2.2.2 Levantamento de dados e elaboração das projeções de temperatura.....                                                                                                | 58        |
| 2.2.3 Determinação de aptidão dos cafés para temperatura e plotagem dos mapas de projeções .....                                                                          | 59        |
| 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                                                                                          | 60        |
| 2.3.1 Cenários de projeções para o café arábica .....                                                                                                                     | 60        |
| 2.3.2 Cenários de projeções para o café conilon.....                                                                                                                      | 64        |
| 2.3.2 Impacto das mudanças climáticas sobre o desenvolvimento e produtividade dos cafés.....                                                                              | 68        |
| 2.4 CONCLUSÃO .....                                                                                                                                                       | 70        |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| REFERÊNCIAS.....           | 72 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... | 77 |
| REFERÊNCIAS.....           | 79 |

## INTRODUÇÃO GERAL

Na economia brasileira o agronegócio é considerado um dos setores propulsores de crescimento, com parcela significativa no Produto Interno Bruto (PIB). No entanto, é um campo influenciado pelas condições ambientais, no qual as mudanças climáticas globais nos últimos anos vêm demandando adequações no âmbito de implantação das atividades agrícolas, de forma a se adaptar ao cenário e as complexidades (GOMES, 2019; MAISTRO; MONTEBELLO; SANTOS, 2019).

Este fato impulsiona o setor a explorar novas medidas de eficiência e implementações, como forma de assegurar as produções e gerenciar o melhor aproveitamento dos recursos produtivos, visto que o mercado além de apresentar uma dependência em relação às condições ambientais, apresenta uma competitividade relevante. Dessa forma, é necessário que os responsáveis pelo setor busquem investir em técnicas, capazes de contornar as condições que refletem nos valores de produtividade (SANTOS; ARAÚJO, 2017).

Neste contexto agrícola, ressalta-se a importância da cafeicultura, sendo o café uma planta com maior representatividade de cultivo em regiões entre os trópicos, comparada com as demais regiões, com cultivares pertencentes à família das Rubiáceas, gênero *Coffea* (WIKSTRÖM; BREMER; RYDIN, 2020).

Cultura caracterizada por mais de 100 espécies, com origem africana em regiões da Etiópia, tendo seu cultivo disseminando por diversas localidades do globo terrestre. Destacam-se a *C. arabica* e *C. canephora*, devido às suas características comerciais, como aroma e sabor (ADEPOJU, 2017; CARACOSTE; SÎRBU; BUȘURICU, 2020).

No Brasil foi introduzido a partir do século XVIII e com destaque consolidado na agricultura e economia do país, a cultura foi inicialmente empregada em regiões consideradas aptas à cultura, de acordo com as exigências hídricas e térmicas, como litoral e região Sudeste. No entanto, a cultura também foi introduzida no interior do país em regiões menos propensas ao seu desenvolvimento, com flutuações nas temperaturas e no regime de chuvas, tornando necessário o emprego de técnicas de cultivo, como a adoção de irrigação (VICENTE et al., 2017; WINTER, 2020).

Atualmente, os grãos de café não apresentam destaques como em períodos passados, considerados na época como principal moeda econômica, mas ainda

posiciona o Brasil como o maior produtor e exportador. A produção em 2020, com representatividade de bienalidade positiva, aponta que o valor da produção beneficiada ficou em torno de 63,08 milhões de sacas, um aumento de 27,9% em relação à safra anterior. Este é um resultado expressivo para a economia, pois mesmo com as áreas de plantio reduzida, ainda se matem relevante e com valores que permitem assegurar o *ranking* brasileiro (CONAB, 2020; COSTA, 2020).

As regiões brasileiras com maior destaque na produção do café são os estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia e Rondônia, com valores de produção liderados pelo estado mineiro com um total produzido em 2020 de 34,5 milhões de sacas de 60 kg, valor que representa 41,1% superior à produção da safra anterior (CONAB, 2020; KOH et al., 2020).

O café dentro do mercado comercial é um dos poucos produtos cujo preço varia de acordo com a qualidade fornecida. Por isso a necessidade de cultivar assegurando suas necessidades e exigências, para garantir um produto final tanto em volume produtivo como em qualidade e assim, contribuir de forma significativa para a comercialização (BAESSO et al., 2019).

A cadeia cafeeira é um dos setores de grande representatividade na economia brasileira por estar fortemente envolvida no âmbito de exportação e na geração de empregos, representando, no médio e longo prazo, um dos principais produtos estratégicos do país. Sua importância pode ser vista na produção, no consumo interno, na participação na linha de exportação e na promoção de empregos e receita na economia (FARIA, 2020).

Destaca-se que nos últimos anos é observado o aumento na ocorrência de adversidades climáticas, acarretando em interferências na agricultura. O que torna primordial a necessidade do conhecimento do ambiente, representado pelo clima e solo, para se obter resultados produtivos e rentáveis. Ressalta-se ainda que quanto mais informações se tem de um determinado local quanto as condições climáticas, mais preciso será a escolha da atividade agrícola conveniente (BÖNECKE et al., 2020).

Identificando que cada cultura tem suas exigências climáticas, principalmente quando se observa os parâmetros térmicos e hídricos, e buscando por condições que favoreçam o seu potencial genético, necessita-se que as condições presentes de clima e solo estejam bem definidas. Evidencia-se, portanto, que para uma

determinada região possa ser caracterizada como apta, precisa-se assegurar e atender exigências de cultivo (CHEN; ZHOU; PANG, 2014).

Como essas condições não são observadas em todas as regiões, torna-se necessário a construção e levantamento de conhecimentos relacionados a variabilidade temporal e espacial das disposições meteorológicas que predominam na região. Ressaltando que para a determinação e configuração de uma região com aptidão, considera-se além do clima, os fatores sociais, econômicos e não menos importante os edáficos, que de forma associada garantem a determinação de um zoneamento agroclimático adequado (BORÉM et al., 2019).

Neste contexto, o zoneamento é definido como um instrumento que tem o intuito de delimitar áreas com maior aptidão para o cultivo de determinada cultura, empregando um levantamento de características da região de emprego, bem como as exigências da cultura. Dessa forma, é possível obter um planejamento agrícola racional e preciso das condições climáticas, possibilitando mitigar os riscos, viabilizar o desenvolvimento produtivo, melhoramento genético, manejo eficiente, acesso ao crédito rural, seguros, entre outros (CALDANA et al., 2020).

O zoneamento é uma ferramenta que necessita estar sempre atualizada, como forma de assegurar retornos satisfatórios e identificar dados que representem o local numa dada época. Contudo, o zoneamento procura abastecer com informações mais detalhadas da região, das variáveis climáticas e da cultura, um banco de dados com maior amplitude de elementos e aprimoramento dos materiais gerados, bem como o emprego de técnicas mais modernas e manejos que possam evidenciar a consolidação do desenvolvimento das culturas (DE SOUZA et al., 2018; CESSA et al., 2020; CORTEZ et al., 2020).

Considerando a importância da cafeicultura no agronegócio brasileiro, vêm se destacando a adoção de novas tecnologias de previsão e avaliação de safras, além da introdução de ferramentas de identificação de áreas propícias para o cultivo e desenvolvimento da cafeicultura. Principalmente em relação às constantes mudanças climáticas que apresentam influência sobre a cultura (OLIVEIRA; ZYLBERSZTAJN, 2018).

Nesta perspectiva, o zoneamento agroclimático do cafeeiro estabelece uma importante ferramenta no planejamento agrícola, pois além de organizar programas de trabalhos e suporte de planejamento, permite o levantamento de fatores que definem aptidões potenciais no meio físico e biológico para o local de estudo, assim

sendo de suma importância para gerar políticas de seguro rural (BRAGANÇA et al., 2016).

Em condições de percepção desses parâmetros, no tempo e no espaço, é possível assegurar como determinados manejos de cultivo serão executados e empregados, o que auxilia desde produtores até agentes financeiros para subsídio agrícola (CALDANA et al., 2020).

Em virtude de ser uma cultura que apresenta grande influência do clima, o aumento frequente de eventos adversos e a necessidade de identificar como as alterações climáticas podem interferir no desenvolvimento agrícola, faz com que haja a necessidade do planejamento e execução de ferramentas capazes de identificar áreas com potencial de cultivo e como a avaliação sobre projeções de mudanças climáticas podem auxiliar no desenvolvimento de ações eficazes e aplicáveis na produção cafeeira.

Diante do exposto, este trabalho visa, por meio do uso de metodologia para o zoneamento agroclimático, identificar as regiões aptas, restritas e inaptas ao cultivo do café (*Coffea L.*) para as espécies Arábica e Conilon, cultivadas no estado de Minas Gerais, observando locais com potencialidade, planejamento de revitalização e investimentos. Além disso, foram realizadas previsões futuras de incrementos de temperaturas para observação de mudanças climáticas para o cenário de 2030, 2050 e 2100.

Para atingir estes objetivos propostos, o presente trabalho foi dividido em dois capítulos, sendo o primeiro intitulado “ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO PARA O CAFÉ ARÁBICA E CONILON NO ESTADO DE MINAS GERAIS” e o segundo “IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO DO CAFÉ ARÁBICA E CONILON NO ESTADO DE MINAS GERAIS A PARTIR DE PROJEÇÕES FUTURAS DE AUMENTO DE TEMPERATURA”.

## CAPÍTULO 1

### ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO PARA O CAFÉ ARÁBICA E CAFÉ CONILON NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Willian Aparecido Leoti Zanetti, Alexandre Dal Pai, Fernando Ferrari Putti,

#### RESUMO

Na economia brasileira a cultura do café tem grande destaque e importância, com parcela significativa de produção nacional liderada pelo estado de Minas Gerais. Sendo assim, é necessária a busca pela qualidade e produtividade, frente a demanda consumidora e a necessidade de contornar os efeitos adversos, principalmente relacionados aos fatores climáticos. Neste contexto, este trabalho objetivou realizar o zoneamento agroclimático do cafeeiro Arábica e do Conilon no estado de Minas Gerais seguindo a divisão por Regiões Geográficas Intermediárias, de acordo com a classificação do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) de 2017. Foram utilizados dados de temperatura, precipitação e umidade da rede de Estações Meteorológicas Automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas em 44 municípios do Estado de Minas Gerais, no período de 1989 à 2019. Verificou-se que as regiões localizadas ao Sul do estado apresentaram maior potencial para o cultivo do Arábica, com um percentual de aptidão de 25,35% das regiões. Enquanto regiões ao Norte do estado apresentaram um total de 38,86% de áreas com inaptidão. No entanto, o café Conilon para o estado seguindo esta classificação, não apresentou nenhuma região com aptidão total, apenas um percentual de 74,43% de áreas com restrições, evidenciando que pode ser cultivado o café, mas necessitando do emprego de técnicas capazes de contornar os efeitos adversos e assegurar as faixas exigidas. Contudo pode concluir que o estado possui maior aptidão para o cultivo do café Arábica em comparação com o Conilon, porém ainda necessita da intensificação de técnicas e manejos eficientes, como a irrigação, como forma de atenuar as interferências que sobressaem as faixas de exigências de cada espécie.

**Palavras-chave:** Aptidão. Déficit hídrico. Fatores Climáticos. Mapeamento. Risco Climático

#### ABSTRACT

In the Brazilian economy, the coffee culture has great prominence and importance, with a significant portion of national production led by the state of Minas Gerais. Thus, the search for quality and productivity is necessary, given the consumer demand and the need to circumvent adverse effects, mainly related to climatic factors. In this context, this work aimed to perform the agroclimatic zoning of Arabica and Conilon coffee trees in the state of Minas Gerais following the division by Intermediate Geographic Regions, according to the 2017 IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics) classification. Temperature, precipitation and humidity data from the network of Automatic Weather Stations of the National Institute of Meteorology (INMET), located in 44 municipalities of the state of Minas Gerais, were used in the period from 1989 to 2019. It was found that the regions located in the south of the state showed

greater potential for the cultivation of Arabica, with a percentage of suitability of 25.35% of the regions. While regions in the north of the state showed a total of 38.86% of areas with inability. However, Conilon coffee for the state following this classification, showed no region with total suitability, only a percentage of 74.43% of areas with restrictions, showing that coffee can be cultivated, but requiring the use of techniques capable of circumventing the adverse effects and ensure the required ranges. However, it can be concluded that the state has greater suitability for the cultivation of Arabica coffee compared to Conilon, but still needs the intensification of efficient techniques and management, such as irrigation, as a way to mitigate interference that exceeds the ranges of requirements of each species.

**Keywords:** Suitability. Water deficit. Climatic Factors. Mapping. Climate Risk

## 1.1 INTRODUÇÃO

O setor agrícola é um dos setores propulsores da economia brasileira e de grande interferência no progresso do país, apresentando importantes culturas como a cafeicultura, que foi uma das principais moedas comerciais que asseguraram e ainda mantém o Brasil em proporções mundial como o maior produtor e maior exportador do grão, mesmo não sendo atualmente a cultura de maior representatividade (IORIS, 2017; REICHMAN, 2018).

O destaque produtivo interno do café é estabelecido pelo estado de Minas Gerais, o que responde a maior parcela da produção nacional, com uma produção em 2020 que totalizou 34,65 milhões de sacas. Essa produção pode assegurar benefícios econômicos, assim como permite a geração de emprego e renda para os trabalhadores do setor, principalmente pela parcela significativa de produtores familiares no estado (SILVA et al., 2016; RIBEIRO et al, 2020).

Sendo importante considerar que para assegurar o desempenho produtivo da cultura é necessário atender às suas restrições, principalmente atreladas às condições climáticas ao longo do seu ciclo produtivo, visto que as adversidades meteorológicas estão cada vez mais frequentes (ABEGUNDE; SIBANDA; OBI, 2019).

Ressalta-se que o crescimento e desenvolvimento do cafeeiro apresenta relação com a espécie e variedade, assim como o ambiente em que é produzido, principalmente em termos de temperatura, precipitação, vento, umidade relativa e irradiância (MACHADO et al., 2020).

Sob condições adversas relacionadas aos fatores ambientais, ao clima e solo, há dificuldades e possível inviabilização do cultivo de café, promovendo baixa produtividade, independentemente de todos os outros processos terem sido realizados corretamente (ZAIDAN et al., 2017).

Assim, os cuidados relacionados às variáveis climáticas e aos fatores de aptidão, tornam-se necessários para assegurar o bom desenvolvimento e garantir as margens de produtividade e lucro, principalmente pela necessidade de o cafeeiro em seu ciclo vegetativo e reprodutivo demandar de condições propícias (MIRANDA et al, 2018).

Compreender os limites de uma região climática homogênea pode proporcionar benefícios diretos as atividades agrícolas, permitindo um dimensionamento e planejamento de decisões, como a seleção da cultura que melhor se adapta e o manejo específico que deve ser realizado na área (MOAT et al., 2017).

Abrindo espaço para implantação de ferramentas de planejamento como o zoneamento agroclimático, que vem estudar e determinar regiões aptas para o cultivo do grão, ou seja, estabelecendo áreas com potencial climática (DE SOUSA; OLIVEIRA, 2018). Salientando o café que apresenta algumas exigências quanto algumas variáveis que desempenham o seu volume produtivo e condições de adaptação para seu cultivo, como principalmente: temperatura, precipitação, umidade, solo e altitude (TOLESSA, et al., 2017; CASTILHO, et al., 2020).

Assim, as exigências gerais em torno de melhores resultados de aptidão da cultura para temperatura estão na faixa de 18 a 23°C, não tolerando limites inferiores a 10°C e valores acima de 30°C, visto que para o crescimento vegetativo até os 12 meses, o valor ideal é de até 30° C ao longo do dia e até 23°C no período da noite. (SANTINATO; FERNANDES, 2012).

Também é necessário assegurar as exigências de precipitação como forma de garantir resultados promissores de produção, considerando um volume anual ideal na faixa de 1200 mm a 1500 mm, de modo que no ciclo vegetativo apresente uma distribuição uniforme, principalmente nas fases de floração e frutificação (COBRA; FRANCO JUNIOR; SANTOS, 2020).

A umidade relativa do ar também é um dos fatores de relevância a serem considerados. De forma que valores de umidade alta >80%, assim como baixa <50%, podem proporcionar efeitos desfavoráveis, como a incidência de pragas e doenças, assim como a fermentação indesejada dos frutos (SANTINATO; FERNANDES, 2012).

Recomenda-se para o cultivo regiões com altitude entre 600 a 1200 metros, além de o solo apresentar uma boa estrutura, ou seja, a dimensão e arranjo das suas partículas sólidas e dos vazios, assim como textura. Considerando que para o cultivo nacional, os solos que apresentaram melhor adaptação foram os de classificação Latossolos e Argissolos (DE MESQUITA et al., 2016; NEGREIROS; NASCENTES; NASCENTES, 2019).

Assim, compreender as variáveis agroclimáticas exigidas pelo café permite auxiliar no desenvolvimento de ferramentas na agricultura, como o manejo preciso e objetivo de irrigação, por meio de respostas precisas de saldo de água disponível no solo e déficits. O que permitirá conduzir ações eficazes para assegurar a rentabilidade dos cultivos e contornar riscos provenientes de situações adversas que possam afetar a produção agrícola (MEDEIROS et al., 2018).

Desta forma, a introdução do zoneamento agroclimático se torna uma ferramenta fundamental, visto a necessidade de manter os valores produtivos e contornar os eventos climáticos que afetam o desenvolvimento da cultura. Devido estabelecer áreas com maior aptidão, como forma de intencionar a obtenção de maiores rendimentos e menores riscos (BAUTISTA-CAPETILLO, et al., 2017; NERES et al., 2019).

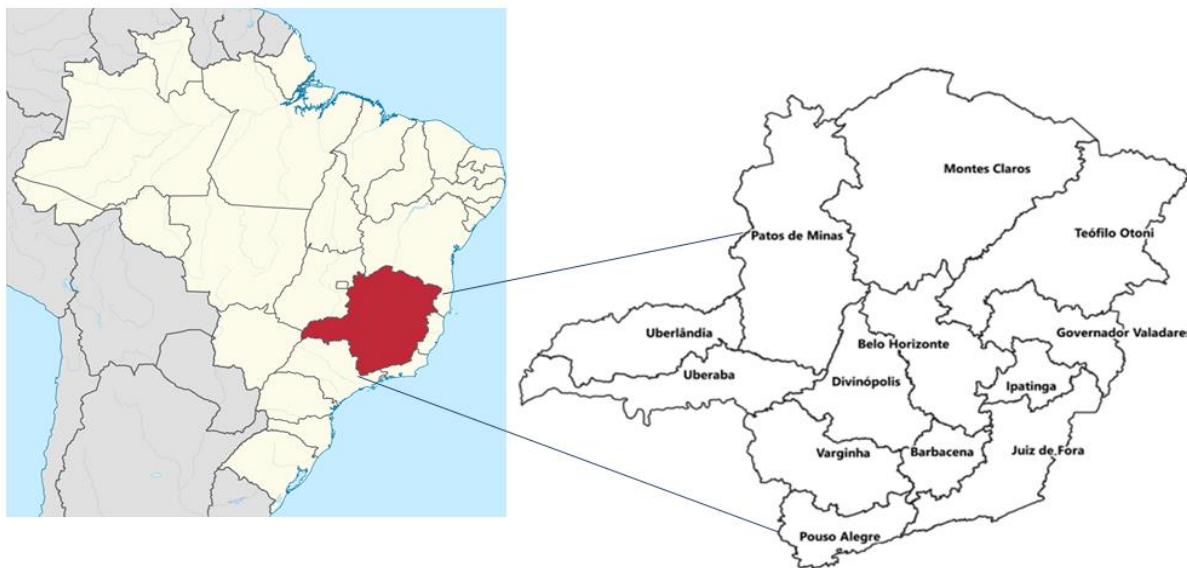
A partir destas fundamentações, com análise do aumento de interferência dos fatores climáticos e a necessidade de manter os patamares de crescimento e rendimento da cultura do café, objetivou-se com este trabalho realizar o zoneamento agroclimático para os cafés Arábica e Conilon no estado de Minas Gerais.

## 1.2 MATERIAL E MÉTODO

### 1.2.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado no estado de Minas Gerias, localizado na região Sudeste do Brasil, onde se encontra dividido em 13 regiões Geográficas Intermediárias englobando os 853 municípios (Figura 1). O estado possui área territorial de 586.521,123 km<sup>2</sup> e um contingente populacional de 21.292.666. O referido estado está localizado entre os paralelos de 14°13'58" e 22°54'00" ' a 21°18'00" de latitude Sul e os meridianos 39°51'32" e 51°02'35" longitude Oeste de Greenwich (REBOITA et al., 2015).

**Figura 1 - Representação do estado de Minas Gerais dividida em Regiões Geográficas Intermediárias**



**Fonte:** Adaptado Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017).

O território mineiro é composto por terras montanhosas, acompanhadas por planaltos e chapadas, com predominância de altitudes que oscilam entre 600 a 1500 metros. A cobertura vegetal pode ser sintetizada em quatro biomas principais: Cerrado, Campos de Altitude ou Rupestres, Mata Atlântica e Mata seca. Os fatores relacionados com relevo, clima, solo e as bacias hidrográficas, prevalecem na estruturação da diversidade vegetativa regional (FERREIRA et al., 2019).

De acordo com o sistema de classificação de Köppen, o estado enquadra-se em quatro zonas climáticas: subtropical com características de altitude, com inverno seco e verão ameno (Cwb), subtropical de inverno seco (Cwa), tropical com inverno seco (Aw) e seco com chuvas no verão (BSw) (MARTINS et al., 2018).

### 1.2.2 Dados meteorológicos utilizados no estudo

Para o desenvolvimento do trabalho foi obtida uma série histórica, em escala mensal, de um período de 30 anos de dados (1989-2019) de temperatura média do ar, precipitação e umidade relativa do ar, adquiridos por meio da rede de Estações Meteorológicas Automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os municípios são apresentados seguindo a divisão por regiões geográficas intermediárias, de acordo com a classificação do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) 2017 (Tabela 1).

**Tabela 1 - Abrangência de municípios de acordo com a divisão por regiões geográficas intermediárias**

| <b>Regiões geográficas intermediárias</b> | <b>Número de Municípios</b> | <b>Área (km²)</b> |
|-------------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| <b>Barbacena</b>                          | 49                          | 15.259,188        |
| <b>Belo Horizonte</b>                     | 74                          | 40.768,239        |
| <b>Divinópolis</b>                        | 61                          | 36.058,718        |
| <b>Governador Valadares</b>               | 58                          | 26.025,679        |
| <b>Ipatinga</b>                           | 44                          | 13.223,106        |
| <b>Juiz de Fora</b>                       | 146                         | 38.915,136        |
| <b>Montes Claros</b>                      | 86                          | 124.010,243       |
| <b>Patos de Minas</b>                     | 34                          | 84.330,705        |
| <b>Pouso Alegre</b>                       | 80                          | 20.724,102        |
| <b>Teófilo Otoni</b>                      | 86                          | 77.935,048        |
| <b>Uberaba</b>                            | 29                          | 36.944,930        |
| <b>Uberlândia</b>                         | 24                          | 35.524,067        |
| <b>Varginha</b>                           | 82                          | 36.852,747        |

**Fonte:** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017).

Realizou-se uma análise dos dados obtidos das estações com o intuito de obter as séries históricas com o menor número de valores incompletos, como forma de garantir maior precisão nos dados. Resultando em um total de 44 estações com dados completos provenientes das estações climatológicas automáticas, para estruturação e desenvolvimento do zoneamento agroclimático no estado, como representado pela tabela 2.

**Tabela 2 - Estações utilizadas na determinação do zoneamento agroclimático no estado de Minas Gerais (continua)**

| <b>Código Estação</b> | <b>Município Estação Meteorológica</b> | <b>Região Geográfica Intermediária</b> | <b>Latitude</b> | <b>Longitude</b> | <b>Altitude (m)</b> |
|-----------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------|------------------|---------------------|
| A534                  | Aimorés                                | Governador Valadares                   | -19,532         | -41,090          | 288                 |
| A566                  | Araçuaí                                | Teófilo Otoni                          | -16,848         | -42,440          | 308                 |
| A505                  | Araxá                                  | Uberaba                                | -19,605         | -46,949          | 1018                |
| A565                  | Bambuí                                 | Divinópolis                            | -20,031         | -46,008          | 697                 |
| A502                  | Barbacena                              | Barbacena                              | -21,228         | -43,767          | 1169                |
| A521                  | Belo Horizonte                         | Belo Horizonte                         | -19,883         | -43,969          | 854                 |
| A544                  | Buritiz                                | Patos de Minas                         | -15,524         | -46,435          | 894                 |
| A530                  | Caldas                                 | Pouso Alegre                           | -21,918         | -46,382          | 1077                |
| A554                  | Caratinga                              | Ipatinga                               | -19,735         | -42,137          | 609                 |
| A557                  | Coronel Pacheco                        | Juiz de Fora                           | -21,546         | -43,261          | 411                 |
| A538                  | Curvelo                                | Belo Horizonte                         | -18,747         | -44,453          | 669                 |
| A537                  | Diamantina                             | Teófilo Otoni                          | -18,231         | -43,648          | 1359                |
| A564                  | Divinópolis                            | Divinópolis                            | 20,173          | -44,874          | 796                 |
| A543                  | Espinosa                               | Montes Claros                          | -14,912         | -42,808          | 565                 |
| A535                  | Florestal                              | Belo Horizonte                         | -19,885         | -44,416          | 754                 |
| A532                  | Governador Valadares                   | Governador Valadares                   | -18,830         | -41,977          | 198                 |
| A555                  | Ibirité                                | Belo Horizonte                         | -20,031         | -44,011          | 1199                |
| A512                  | Ituiutaba                              | Uberlândia                             | -18,952         | -49,525          | 540                 |
| A563                  | Janaúba                                | Montes Claros                          | -15,802         | -43,296          | 532                 |
| A559                  | Januária                               | Montes Claros                          | -15,448         | -44,366          | 468                 |
| A553                  | João Pinheiro                          | Patos de Minas                         | -17,784         | -46,119          | 877                 |
| A518                  | Juiz de Fora                           | Juiz de Fora                           | -21,769         | -43,364          | 937                 |
| A567                  | Machado                                | Varginha                               | -21,680         | -45,944          | 969                 |
| A531                  | Maria da Fé                            | Pouso Alegre                           | -22,314         | -45,373          | 1281                |
| A539                  | Mocambinho (Jáiba)                     | Montes Claros                          | -15,085         | -44,016          | 454                 |
| A506                  | Montes Claros                          | Montes Claros                          | -16,686         | -43,843          | 646                 |
| A517                  | Muriae                                 | Juiz de Fora                           | -21,104         | -42,375          | 283                 |
| A570                  | Oliveira                               | Divinópolis                            | -20,715         | -44,864          | 1025                |
| A571                  | Paracatu                               | Patos de Minas                         | -17,244         | -46,881          | 705                 |
| A529                  | Passa Quatro                           | Pouso Alegre                           | -22,395         | -44,961          | 1,017               |
| A562                  | Patos de Minas                         | Patos de Minas                         | -18,520         | -46,440          | 950                 |
| A523                  | Patrocínio                             | Patos de Minas                         | -18,996         | -46,985          | 978                 |
| A545                  | Pirapora                               | Montes Claros                          | -17,258         | -44,835          | 505                 |

**Tabela 2 - Estações utilizadas na determinação do zoneamento agroclimático no estado de Minas Gerais (conclusão)**

| Código Estação | Município Estação Meteorológica | Região Geográfica Intermediária | Latitude | Longitude | Altitude (m) |
|----------------|---------------------------------|---------------------------------|----------|-----------|--------------|
| A560           | Pompéu                          | Divinópolis                     | -19,239  | -45,008   | 705          |
| A552           | Salinas                         | Montes Claros                   | -16,160  | -42,310   | 487          |
| A514           | São João del Rei                | Barbacena                       | -21,106  | -44,250   | 930          |
| A561           | São Sebastião do Paraíso        | Varginha                        | -20,909  | -47,114   | 845          |
| A522           | Serra do Aimorés                | Teófilo Otoni                   | -17,798  | -40,249   | 212          |
| A569           | Sete Lagoas                     | Belo Horizonte                  | -19,455  | -44,173   | 719          |
| A527           | Teófilo Otoni                   | Teófilo Otoni                   | -17,892  | -41,515   | 467          |
| A568           | Uberaba                         | Uberaba                         | -19,71   | -47,961   | 778          |
| A507           | Uberlândia                      | Uberlândia                      | -18,917  | -48,255   | 875          |
| A542           | Unaí                            | Patos de Minas                  | -16,554  | -46,881   | 641          |
| A510           | Viçosa                          | Juiz de Fora                    | -20,762  | -42,864   | 698          |

**Fonte:** Instituto Nacional de Meteorologia (2020).

### 1.2.3 Balanço hídrico climatológico

Com os dados mensais de temperatura média do ar e precipitação pluviométricos, foi realizado a determinação do balanço hídrico, empregando-se o programa planilha *Excel/ BHnorm* versão 4.0, desenvolvido por Rolim e Sentelhas (1998), baseado no método de Thornthwaite (1948), Thornthwaite e Mather (1955), expresso pelas equações:

$$ETP = ET_p \frac{N}{12} \frac{n}{30} \quad (1)$$

$$ET_p = 16 \left( \frac{10T_a}{I} \right)^a \quad (2)$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \quad (3)$$

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2 T a)^{1,514} \quad (4)$$

Onde:

**ETP:** Evapotranspiração potencial ou de referência (ET<sub>o</sub>) (mm);

**ET<sub>p</sub>:** Evapotranspiração potencial padrão ou de referência padrão (ET<sub>o</sub>) (mm);

**N:** Insolação máxima diária teórica, função da latitude e época do ano (horas);

**n:** Número de dias do período abordado (unidade);

**T<sub>a</sub>:** Temperatura média do ar mês (°C);

**a:** Expoente função do índice anual I;

**I:** Índice térmico anual, que corresponde ao somatório dos 12 índices i mensais.

Para execução do programa necessitou de um valor para a capacidade de água disponível (CAD). Por ser considerado uma cultura perene e ser um valor que atende a um número maior dessas culturas, o valor utilizado foi de 100 mm. Assim, foram calculados os valores para cada ponto de coleta de dado, para elaboração da deficiência hídrica anual acumulada (ABREU; TONELLO, 2015).

#### 1.2.4 Determinação do Zoneamento agroclimático e plotagem dos mapas

Com os dados de temperatura média do ar, déficit hídrico e umidade relativa média do ar, foram empregados em planilhas no software *Microsoft Excel* e realizado os cálculos de médias mensais e anuais para cada município e em seguida para as 13 regiões geográficas intermediárias.

Aos valores obtidos permitiram caracterizar as regiões do estado, em termos de médias, com base em critérios de classes de aptidão para o café Arábica e Conilon especificados na Tabela 2, que expõem as faixas por temperatura, déficit hídrico e umidade, conforme o trabalho de Santinato; Fernandes (2012); Luppi et al. (2014).

**Tabela 3 - Dados de referências técnicas para determinação do zoneamento agroclimático da cultura do café**

| APTIDÃO                  | TEMPERATURA (°C) |               | DÉFICT HÍDRICO (mm) |           | UMIDADE (%) |
|--------------------------|------------------|---------------|---------------------|-----------|-------------|
|                          | Arábica          | Conilon       | Arábica             | Conilon   |             |
| <i>Regiões aptas</i>     | 18,0 – 22,5      | 22,5 – 24,0   | < 150               | < 200     | 70 - 80     |
| <i>Regiões restritas</i> | 22,5 – 24,0      | 20,0 – 22,5   | 150 – 200           | 200 – 400 | 50 - 70     |
| <i>Regiões inaptas</i>   | < 18,0 e > 24,0  | 20,0 e > 24,0 | > 200 mm            | > 400     | <50         |

**Fonte:** Adaptado SANTINATO; FERNANDES (2012); LUPPI et al., (2014).

Com a classificação das regiões de acordo com as faixas de aptidão para cada espécie, foram realizados a elaboração dos mapas utilizando o software *ArcGIS*, versão 10.3, para temperatura média do ar, deficiência hídrica média e umidade média relativa do ar para os dados das duas espécies. Além dos mapas de zoneamento

agroclimático, considerando critérios para sua definição, sendo estes definidos pelo autor com similaridade com o estudo desenvolvido por Luppi et al. (2014), definido:

*Região Apta:* a região que apresentasse apta para as três variáveis (temperatura média do ar, déficit hídrico e umidade relativa do ar);

*Região Restrita:* a região que apresentasse alguma restrição ou inapta para alguma variável;

*Região Inapta:* a região que apresentasse inapta para as três variáveis de estudo.

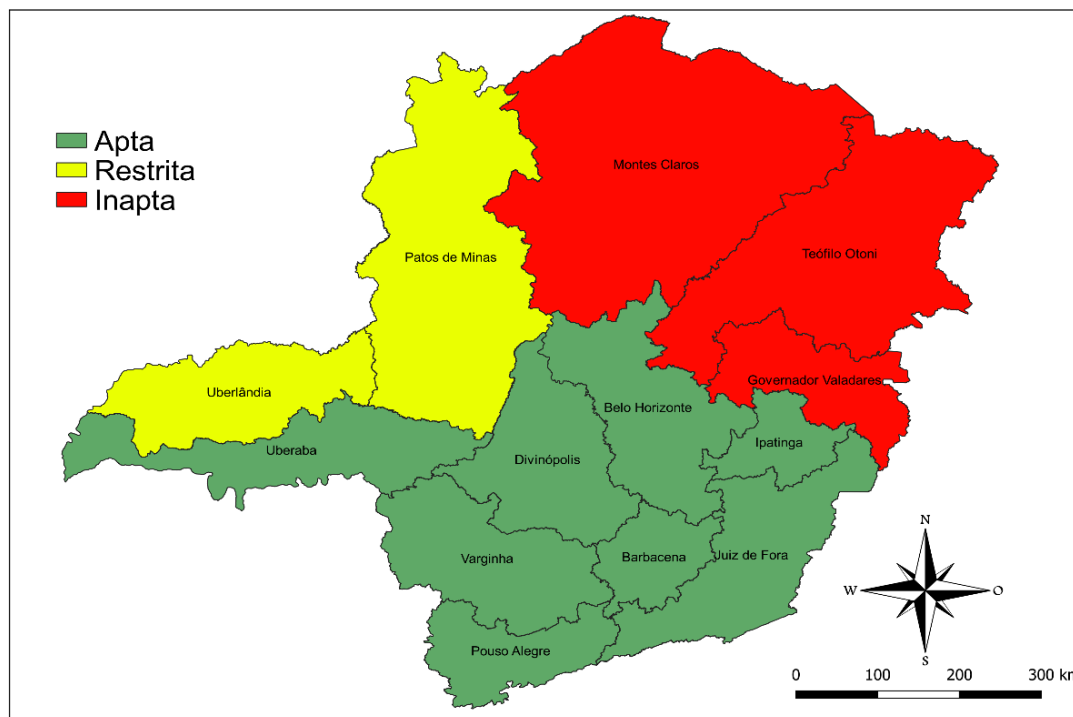
Com as classificações definidas conforme os critérios de aptidão realizadas em planilhas do *Excel*, a plotagem dos mapas de zoneamento agroclimático para ambas as espécies foram determinados empregando o *software ArcGIS*, versão 10.3, utilizado o módulo “*Adicionar Camada de texto delimitada*” como forma de realizar a análise georreferenciada. Após, com um *Shapefile* da região de estudo, realizou a classificação por cores selecionando a propriedade dos objetos e alterando em símbolos conforme os critérios preestabelecidos em camada de texto, realizando assim a construção dos mapas. Ressaltando que o mesmo processo foi empregado para obtenção dos mapas de temperatura média do ar, déficit hídrico e umidade média relativa do ar.

## 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1.3.1 Zoneamento Agroclimático do café Arábica

O resultado das aptidões das regiões quanto à temperatura para o café Arábica pode ser observada na Figura 2, a qual evidência um total de 40,7% da área apta, 20,43% restrita e 38,87% inapta para o cultivo.

**Figura 2 - Aptidão agrícola para o café Arábica de acordo com temperatura média entre 1989 à 2019 (INMET)**



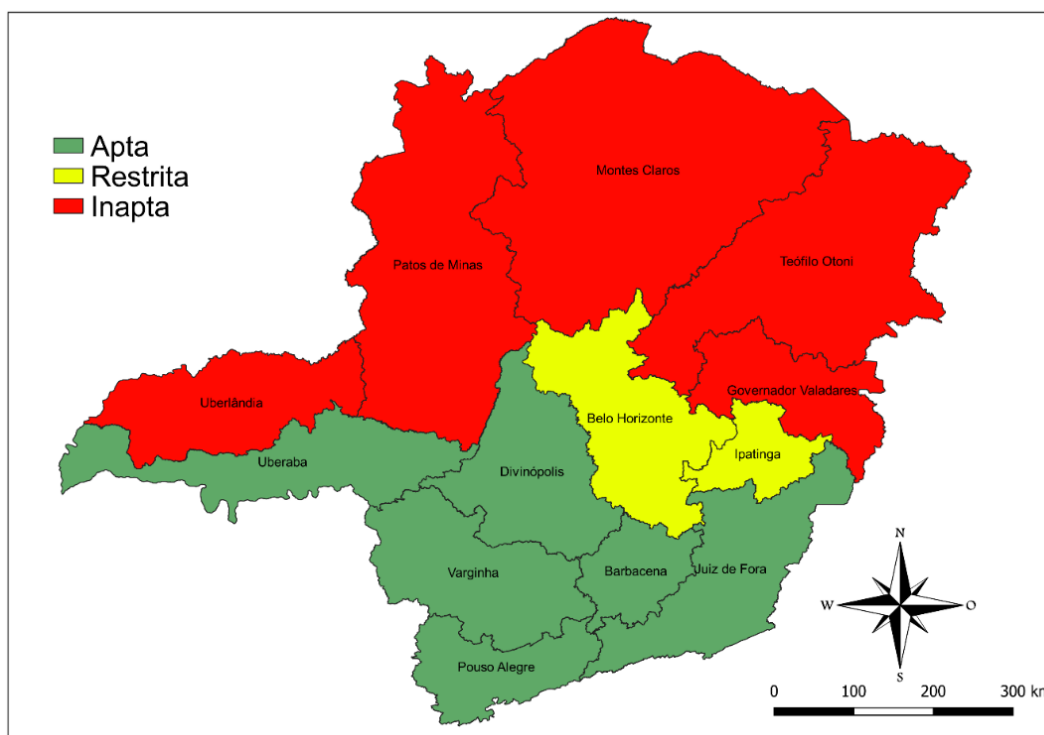
Evidencia-se com a interpretação do mapa que regiões ao Sul possuem maior aptidão quanto à temperatura, por ser caracterizada com relevo de áreas montanhosas e irregulares, o que influencia em um clima mais ameno. Ao contrário de regiões ao Norte do estado que apresentam inaptidão, relacionado principalmente por serem áreas de predominância de clima tropical semiárido (CÂMARA et al., 2020).

Restrições são observadas em apenas 2 regiões (Uberlândia e Pato de Minas), caracterizadas por possuírem clima tropical com inverno quente e seco, e verão chuvoso e quente, além de predominância de vegetação de Cerrado. Resultando na variação de temperatura, onde exige a introdução de medidas que possam auxiliar no desenvolvimento da cultura, como a irrigação ou a introdução de espécies mais resistentes (NASCIMENTO; NOVAIS, 2020).

É possível identificar uma maior proporção de áreas definidas como aptas a variável temperatura, sendo considerado favorável, visto que parâmetros elevados podem proporcionar interferências na frutificação por abortamento das flores, já com valores inferiores a 18°C pode ocasionar retardamento do período de dormência das gemas florais e desenvolvimento dos frutos, afetando a maturação e dificultando a colheita (QUEIROGA et al., 2021).

Com análise para o déficit hídrico, pode-se observar um percentual de 31,5% de áreas com predominância apta, 9,2% restrita e 59,3% de inaptidão, como representado na Figura 3.

**Figura 3 - Aptidão agrícola para café Arábica de acordo com o déficit hídrico média entre 1989 a 2019 para o estado de Minas Gerais (INMET)**



A partir da classificação observou-se que as regiões mais próximas ao Sul de Minas que englobam Barbacena, Divinópolis, Juiz de Fora, Pouso Alegre, Uberaba e Varginha estão classificadas como aptas. O que pode ser comprovado pelo alto desempenho produtivo dessas regiões e o grande volume de área produtora, influenciada principalmente pelo favorecimento do microclima que o relevo induz na incidência de fatores fisiológicos e ambientais, bem como ocorrência de radiação, ventos e massa de ar frio, que asseguram uma maior distribuição no volume de precipitação ao longo do ano (MORAIS; MELLO, 2019).

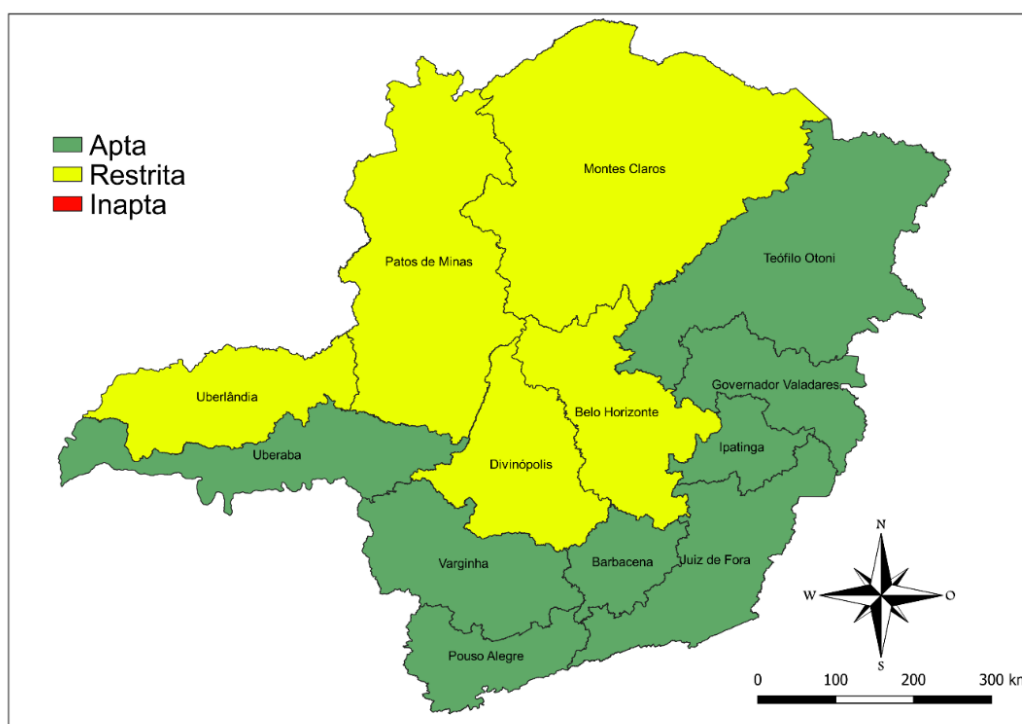
As regiões de Belo Horizonte e Ipatinga apresentam restrições ao déficit hídrico, podendo estar associado à distribuição anual de chuvas, com períodos de baixos volumes nas regiões, principalmente no inverno. Necessitando assim, da intensificação de técnica e manejo, como a irrigação para minimizar os efeitos adversos (LEMOS et al., 2020).

Já as regiões ao Norte do estado e as de predominância do Cerrado apresentam inaptidão a esta variável. Fatores relacionados ao microclima podem estar relacionados com a redução no volume de precipitação, favorecendo no aumento do déficit hídrico (PASSOS, 2020).

Evidencia-se a necessidade do desenvolvimento de ferramentas capazes de contornar esses eventos, como a inserção de irrigação, visto que valores elevados de deficiência hídrica proporcionam a incidência ao cafeeiro de aparecimento de deficiência por nutrientes, desfolha, morte das raízes, murcha, assim como o secamento dos ramos. Consequentemente resulta na queda de produção, e em níveis muito elevados, pode ocasionar na morte da cultura (VICENTE et al., 2017; CHAVES et al., 2018).

Com a análise para os valores de umidade relativa para o estado e seguindo as faixas de aptidão do café arábica, observa-se um percentual de 45,32% de área considerada apta e 54,68% de área restrita a esta condição, como pode ser observado na Figura 4.

**Figura 4 - Aptidão agrícola para café Arábica de acordo com umidade média relativa do ar entre 1989 a 2019 (INMET)**



Observa-se a partir do mapa, que para esta variável as regiões ao Sul do estado que são caracterizadas como maiores produtoras, configuram-se como aptas. O que

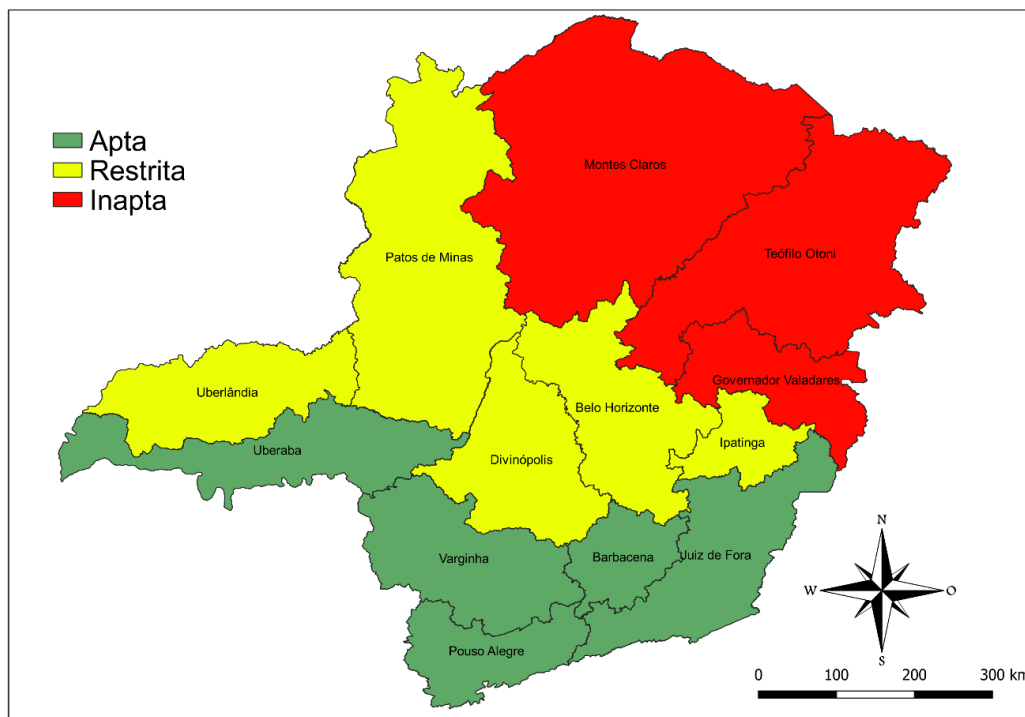
pode ser evidenciado principalmente pelo microclima destas regiões que favorecem a incidência de valores dentro das faixas exigidas, enquanto as regiões do Semiárido, ao Norte do estado e do Cerrado, apresentam restrições (JARDIM; MOURA, 2018). Resultado que pode estar associado as características dessas regiões em apresentar maior incidência de altos valores de temperatura e períodos reduzidos de precipitação, repercutindo nos valores de umidade (SILVA; MOURA; JARDIM, 2017; FREITAS, CALHEIROS, REIS, 2019).

Considerando que na produção do café a umidade tem grande importância, principalmente por estar relacionada com a demanda evaporativa da atmosfera em situações de valores muito baixos ou muito elevados, o que se torna prejudicial para o cultivo e desenvolvimento, interferindo na incidência de pragas e doenças, além da fermentação dos frutos que implicará na qualidade da bebida (RODRIGUES; ALMEIDA; CUNHA, 2020).

Indicando assim, que a variável umidade encontra-se em parâmetros que permitem cultivo e desenvolvimento da cultura para as regiões do estado de Minas Gerais. No entanto deve-se atentar também a fatores que possam interferir na concentração de vapor de água da atmosfera, que repercutem na perda de água pelas plantas, bem como o processo de evapotranspiração, tendenciando a ocorrência de estresse térmico ou hídrico (SANTANA, et al., 2020).

Com a distribuição das aptidões do café Arábica a partir da associação de suas características e faixas de tolerância foi possível configurar o zoneamento agroclimático das regiões Intermediárias do estado de Minas gerais conforme apresentado na Figura 5.

**Figura 5 - Zoneamento agroclimático para café Arábica nas Regiões Geográficas Intermediárias de Minas Gerais**



Pode-se observar uma área de 25,35% de regiões que se molduraram como aptas nas três variáveis de exigências, o que corrobora com os resultados satisfatórios das regiões com altos valores produtivos da cultura e garantia de ser a área do estado que assegura a maior produção. Constatando que estas regiões que abrangem a região do Sul de Minas (Sul e Centro-Oeste) em 2020 produziu um total de 19,15 milhões de sacas (CONAB, 2020).

Considerando resultados favoráveis em decorrência de serem regiões com características de relevo acidentado, o que permite uma ampla variação da temperatura do ar ao longo do dia. Além da predominância da formação de nuvens orográficas, o que permite retenção de umidade nas encostas, contribuindo para redução da temperatura do ar. Assegurando fatores que favorecem a formação de áreas com microclima predominante as exigências do café arábica (FERREIRA et al., 2016).

No entanto, caracteriza o estado com uma área com restrições de 35,78%, indicando na análise de aptidão, que as mesmas não possuem todos os valores dentro das faixas de exigências. Inferindo que é possível a produção da cultura, porém sendo necessários investimentos em mecanismos capazes de contornar os eventos

adversos e aproximar ao máximo das faixas exigidas pela cultura. Visto que estas regiões que englobam o Cerrado Mineiro, em 2020 com o boletim da Conab (2020), representaram 17,31% da produção de sacas de café do estado com uma produção de 6 milhões de sacas.

Regiões denominadas de inaptas representam 38,86% da área do estado, considerado um percentual maior em comparação as áreas aptas, indicada principalmente pela abrangência de regiões com maior volume de área, existência de um clima quente e seco, predominância de vegetação típica de Cerrado e Caatinga, além do relevo com ocorrência de serras e grutas (SILVA NETO, 2018; FARIA; KAIZER, 2020).

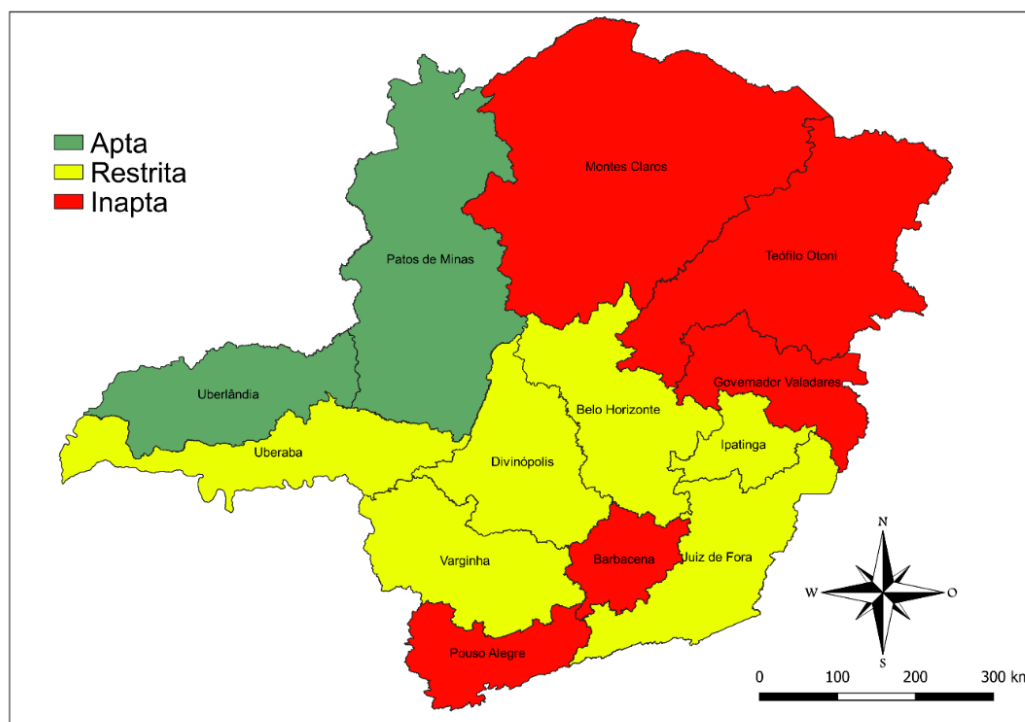
Considerando em análise de produção, estas regiões que englobam o norte de Minas, totalizaram uma produção em 2020 de 703,1 mil sacas, o que representou um aumento significativo de 11,1%, na produtividade média, em decorrência da bienalidade positiva e de fatores climáticos favoráveis (CONAB, 2020). Identificando o potencial produtivo da região quando atendido as condições favoráveis de desenvolvimento da cultura, em que técnicas de manejo, inserção de cultivares resistentes e introdução de técnicas de irrigação podem contribuir para o desempenho produtivo da região.

Conforme observado no trabalho de Oliveira et al. (2020), em que observou o desempenho de cinco cultivares do café arábica na região Norte, e pode identificar que a variedade Catuaí IAC 62 apresentou resultados satisfatórios para desenvolvimento, além do sistema de irrigação por gotejamento ser o mais eficiente para tender as exigências presentes nesta área.

### 1.3.2 Zoneamento agroclimático do café Conilon

A mesma classificação e interpretação foram realizadas para o café Conilon, porém seguindo as suas faixas de exigências que asseguram o seu cultivo e desenvolvimento. Assim, pode identificar para as faixas de aptidão em relação à variável temperatura, que este apresenta um percentual de 20,44% de regiões aptas, 34,56% restritas e 45% inatas, como representado na Figura 6.

**.Figura 6 - Aptidão agrícola para café Conilon de acordo com temperatura média entre 1989 a 2019 (INMET)**



Observa-se que por ser um café com adaptação favorável a baixas altitudes, quando observado as regiões de Pouso Alegre e Barbacena que apresentam relevo com elevações, onde possibilitam a incidência de menores temperaturas, a classificação é caracterizada como inapta. O que confirma pelas características mais rústicas do café Conilon, melhor adaptação em regiões com altitudes menores e que possuem valores maiores de temperatura (SILVA et al., 2017).

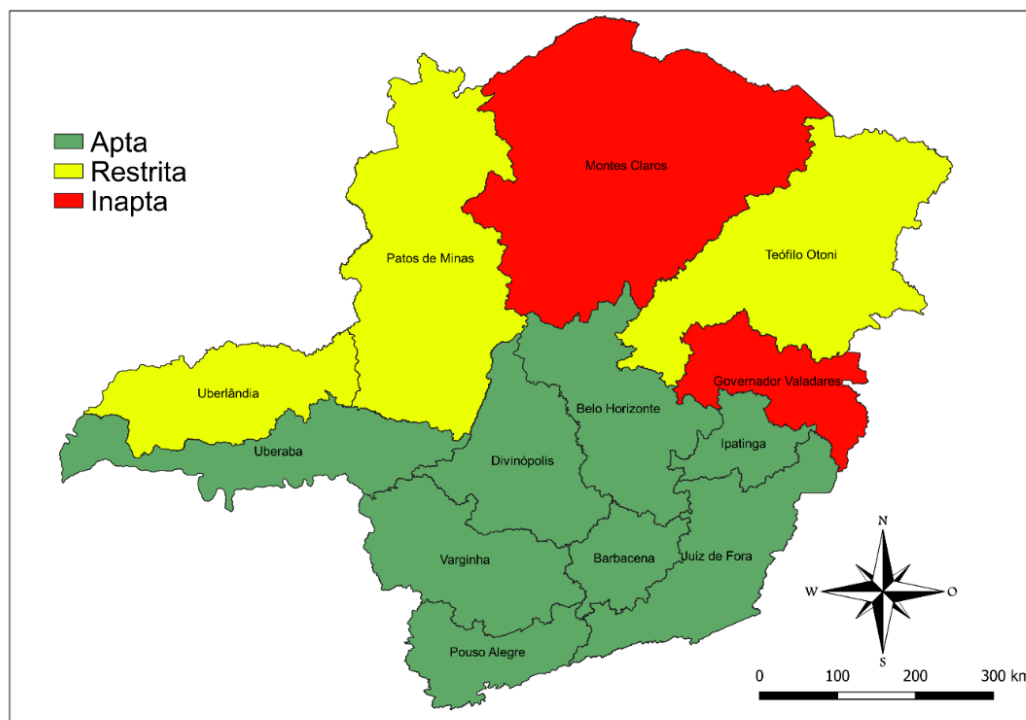
Assim, apenas duas regiões melhor configuram as necessidades ideais relacionadas à variável de temperatura, que são as regiões que englobam o Cerrado, Uberaba e Patos de Minas, nos quais possuem características de acordo com as faixas exigidas. Já as regiões ao centro do estado denominaram como faixas restritas e que podem apresentar características de cultivo, no entanto pode não garantir valores expressivos de resultados ao seu desenvolvimento e produtividade.

Constata-se ainda, que mesmo com tendência a resistências a temperaturas maiores, as regiões ao Norte do estado são classificadas como inaptas, o que propicia ao déficit hídrico, além da incidência de pragas e seu desenvolvimento fisiológico (RONCHI; DAMATTA, 2017).

Para a classificação quanto aos valores de déficit hídrico para as faixas toleráveis, pode ser observado na Figura 7, identificando um percentual de 40,7% de

regiões aptas, 33,72% restritas e 25,58% inaptas. Observa-se que o café Conilon, devido a sua fisiologia, permite uma tolerância maior em relação aos períodos de seca.

**Figura 7 - Aptidão agrícola para café Conilon de acordo com déficit hídrico entre 1989 a 2019 (INMET)**



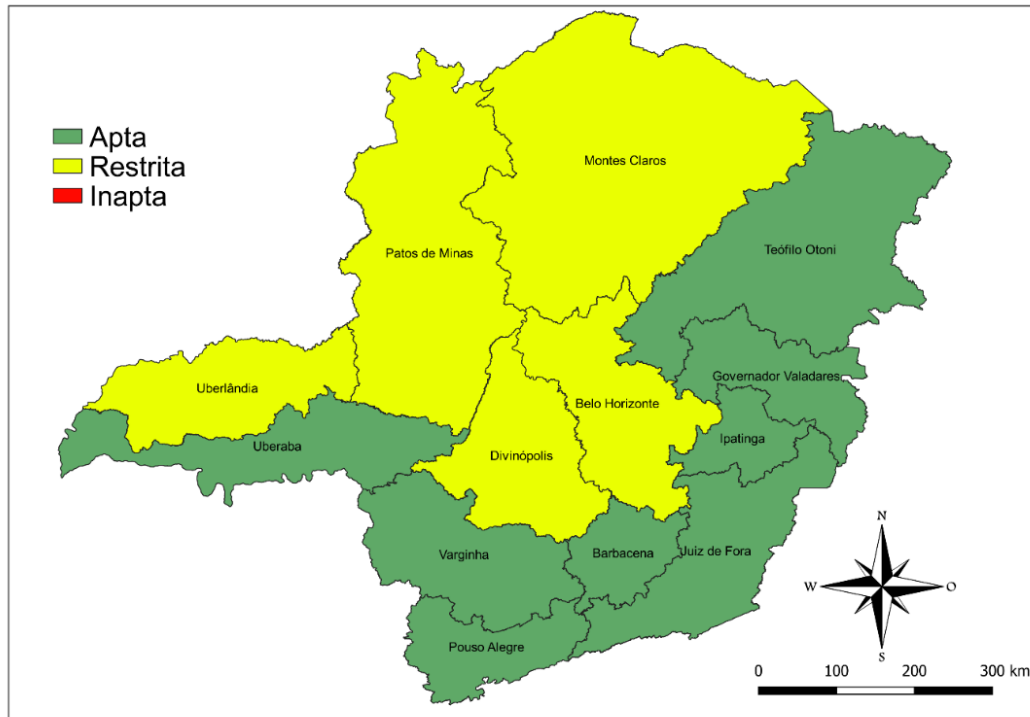
Identifica-se que regiões consideradas inaptas para o café Arábica em relação ao déficit hídrico, como Uberlândia, Patos de Minas e Teófilo Otoni, em comparação com as faixas do Conilon apresentam como restritas. Fato que pode ser confirmado pela fisiologia deste café, em possuir raízes mais profundas e volumosas, que permitem melhor eficiência de absorção de água do solo, tornando tolerante aos déficits hídricos, além de assimilar maior quantidade de nutrientes, evitando deficiências nutricionais (TAQUES; DADALTO, 2017).

Observa-se ainda que esta variável para o Conilon em comparação ao Arábica permitiu uma aptidão com maiores áreas consideradas aptas, aumentando o percentual de 31,5% para 40,7%. O que também implicou na redução de áreas inaptas de 59,3% para 25,58%. De forma que, estes resultados foram obtidos em decorrência do Conilon assegurar valor maior de tolerância para o déficit hídrico do que o café Arábica, devido suas características genéticas e fisiológicas.

Na análise de aptidão para a umidade relativa do ar para o café Conilon foram encontrados valores iguais aos do Arábica, devido apresentarem a mesma faixa de

classificação, no qual foi determinado 45,32% de áreas aptas, 54,68% restritas e nenhuma região considerada inapta com parâmetros desta variável, como pode ser observado com representação na Figura 8.

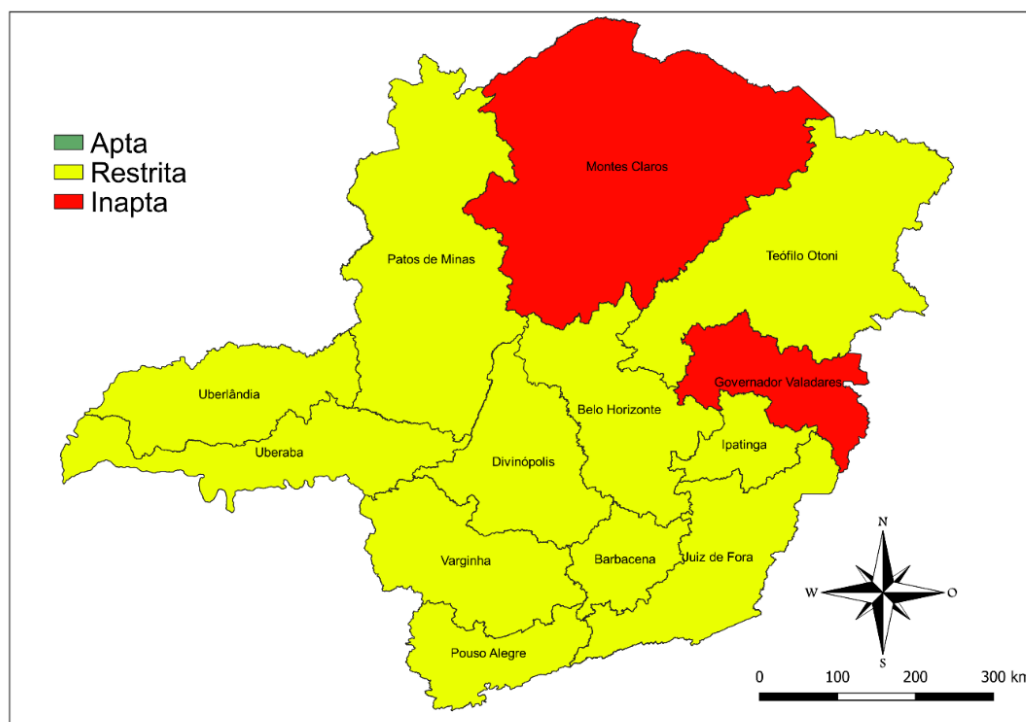
**Figura 8 - Aptidão agrícola para café Conilon de acordo com umidade relativa do ar entre 1989 a 2019 (INMET)**



A partir dos resultados obtidos e observados para as três variáveis de aptidão do Conilon, foram realizadas análises e determinação do zoneamento agroclimático, representado pela Figura 9. Resultando em total de 74,43% de áreas restritas, 25,57% inaptas e nenhuma região definida como apta.

Fator que pode estar relacionado principalmente com o relevo do estado, que apresenta maior proporção de regiões de alta altitude nas regiões ao Sul do estado, caracterizando em temperaturas mais baixas, e ao Norte que possui menor elevação por ter predominância de valores elevados de temperatura e maior déficit hídrico (OCHOA; RUIZ, 2016).

**Figura 9 - Zoneamento agroclimático para café Conilon nas Regiões Geográficas Intermediárias de Minas Gerais**



No entanto, os valores de áreas restritas são significativos, o que torna o desenvolvimento deste café propício para o estado, dado uma área em produção de 9.112 hectares Conab (2020), porém necessita adotar medidas que possam contornar os efeitos desfavoráveis e assegurar o cultivo e desempenho produtivo (SANTOS; CAMPOS, 2020). Temos como exemplo a irrigação, com atuação de manejo preciso e eficiente de acordo com as necessidades ideais de exigências, ou até mesmo o estudo dos espaçamentos de plantio, assim como outras técnicas que possam favorecer o cultivo (LIMA et al., 2020).

Visto que, é um café que vem ganhando espaço no estado, com uma produção de acordo com o boletim da Conab (2020) de 309,8 mil sacas. Valor baixo comparado com o Arábica que tem maior representatividade no estado, porém é um café que pode garantir produção em regiões mais quentes e com déficit hídrico maior. Além de ter grande aceitação por parte das indústrias de café solúvel, por abranger uma quantidade maior de sólido solúvel, o que assegura um maior rendimento econômico (RODRIGUES et al., 2016).

### 1.3.3 Importância do Zoneamento agroclimático no gerenciamento e planejamento do cultivo dos cafés para Minas Gerais

A análise no zoneamento agroclimático para as duas espécies de café mostra que, quanto à classificação do estado por Regiões Geográficas Intermediárias, áreas denominadas como aptas foram identificadas somente para o café Arábica, que atende principalmente as regiões que englobam o Sul do estado, principalmente por possuir relevo acidentado e estar em uma região próximo ao paralelo limite da Zona Intertropical, que permite a formação de um microclima capaz de atender as características de exigências.

No entanto, a variedade Conilon nesta divisão não apresentou regiões que atendessem os critérios de aptas para o cultivo, apresentando valor considerado de áreas com restrições que permite seu cultivo, desde que introduza técnicas capazes de adequar as suas faixas de exigências. Principalmente por ser uma espécie que adaptada a regiões de baixa altitude e com tolerância a valores maiores de temperatura, em decorrência do seu porte rústico, vigor e resistência a períodos com deficiências hídricas prolongadas (QUARTEZAN et al., 2018).

Considerando que o cultivo no país apresenta maior predominância no estado do Espírito Santo, que configura como maior produtor da espécie *C. canéfora*, onde insere o Conilon e asseguram condições favoráveis ao seu cultivo, com uma área de cultivo de 273,7 mil hectares. Porém, vem sendo introduzido em outras regiões como forma de assegurar melhores resultados produtivos, como em regiões do estado de Rondônia com um total de 69,2 mil hectares e Bahia com 40,9 mil hectares. Com áreas menos expressivas em Minas Gerais, pela influência maior do café Arábica (COVRE et al., 2016; CONAB, 2021).

Grande parte da sua produção no país é destinada à indústria de café solúvel, exportação de grão e construção de “blends”. De modo que, no estado apresenta uma crescente introdução, principalmente nas regiões próximas ao norte do estado e ao Sul, que vem sendo introduzida como produção destinada a elaboração de “blends” com café Arábica (SANTOS et al., 2020).

Porém, como a classificação engloba e considera a região geral, pode ocorrer de algumas localidades específicas apresentarem distorções com a classificação para Regiões Geográficas Intermediárias, podendo apresentar restrições que conseguem

ser contornadas e resultar no desenvolvimento da cultura, assim como o emprego de uma espécie (FERREIRA et al., 2018).

Apontando que avanços em técnicas e tecnologias como emprego do manejo de irrigação, melhoramento genético, desenvolvimento de novas cultivares, correção do solo, assim como aperfeiçoamento e elaboração de novas técnicas de manejo, são alternativas que podem apresentar contribuições relevantes para adaptabilidade em regiões inapropriadas para o cultivo do cafeeiro (APARECIDO; ROLIM, 2018).

Principalmente com as mudanças bruscas nas variáveis climáticas, a técnica de irrigação vem se expandindo e abrindo avanços no setor agrícola brasileiro, inferindo também na cultura do cafeeiro. No qual vem se estruturando e abrindo espaço em regiões mais restritas ao cultivo, assegurando além da produtividade, movimentação da economia e renda aos produtores e trabalhadores locais (RONCHI et al., 2015).

Mesmo com o desenvolvimento atual de cultivares melhoradas, altamente produtivas e com maiores resistências a adversidades, ainda apresentam alta demanda hídrica, como pode ser observado para o Conilon, com nenhuma área considerada 100% apta, com área de 74,43% com restrições. Observando a necessidade do emprego do manejo de técnicas de irrigação, assim como outras técnicas.

Assim, observa-se que o zoneamento agroclimático torna-se uma ferramenta importante na produção cafeeira das regiões produtoras. Pois assegura uma análise preventiva de gerenciamento e planejamento a ser tomado para introdução do cultivo em uma determinada localidade. Observando o quanto será necessário de investimentos, técnicas de manejo a serem empregadas, espécie ou cultivares ao qual melhor se adapta, acesso a investimentos ou até mesmo a financiamento rural.

#### 1.4 CONCLUSÃO

Com este estudo de zoneamento agroclimático para as Regiões Geográficas Intermediárias no estado de Minas Gerais é possível verificar a maior predominância de aptidão para o café Arábica do que para o café Conilon.

Evidencia-se ainda que o estado apresenta potencial de cultivo para as duas espécies, de modo que necessita da associação de técnicas e manejo precisos para assegurar melhores resultados produtivos, como uso de irrigação, principalmente em regiões ao Norte do estado e no Cerrado Mineiro, para contornar os efeitos adversos e assegurar o cultivo nas regiões. Além de o zoneamento ser uma importante ferramenta na análise de cenários, pois pode auxiliar produtores com o quanto será necessário de investimento em determinadas áreas, assim como para o setor de seguro rural, na análise de riscos e viabilidade.

## REFERÊNCIAS

- ABEGUNDE, V. O.; SIBANDA, M.; OBI, A. The Dynamics of Climate Change Adaptation in Sub-Saharan Africa: A Review of Climate-Smart Agriculture among Small-Scale Farmers. *Climate*, v.7, n.11, p. 1-23, 2019.
- ABREU, M. C. & TONELLO, K. C. Estimativa do balanço hídrico climatológico da bacia hidrográfica do rio Sorocaba–São Paulo. *Ambiência*, v. 11, n. 3, p. 513-527, 2015.
- APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S. Forecasting of the annual yield of Arabic coffee using water deficiency. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.53, n.12, pp.1299-1310, 2018.
- BAUTISTA-CAPETILLO, C.; PACHECO-GUERRERO, A.; GONZÁLEZ-TRINIDAD, J.; JÚNEZ-FERREIRA, H. Agroclimatic zoning of semiarid region of Zacatecas, Mexico. *Applied Ecology and Environmental Research*, v.16, n.1, p.251-266, 2017.
- CÂMARA, P. H. S.; RIBEIRO, K. M.; RIBEIRO, K. D.; PEREIRA, T. R. Morphometric characterization of Mestre Campo Stream Watershed, in Piranga City, Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, v. 12, n.1, p. 87-101, 2020.
- CASTILLO, N. E. T.; MELCHOR-MARTÍNEZ E. M.; SIERRA, J. S. O.; RAMIREZ-MENDOZA, R. A.; PARRA-SALDÍVAR, R.; IQBAL, H. M. N. Impact of climate change and early development of coffee rust—An overview of control strategies to preserve organic cultivars in Mexico. **Science of the Total Environment**, v.738, n.1, p. 1-14, 2020.
- CHAVES, E.; POZZA, E. A.; SANTOS NETO, H.; VASCO, G. B.; DORNELAS, G. A.; POZZA, A. A. A.; SCALCO, M. S. Temporal analysis of brown eye spot of coffee and its response to the interaction of irrigation with phosphorous levels. **Journal of Phytopathology**; v.166, n. 9, p. 613–622, 2018. COBRA, M. M.; FRANCO JUNIOR, K. S.; SANTOS, R. T. Fotoprotetor em mudas de café arábica. **Ciência Agrícola**, v. 18, n. 2, p. 1-6, 2020.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Café**, Brasília, DF, v. 8, n. 1, p. 1-71, jan. 2021. Safra 2020, primeiro levantamento. Disponível em: [www.conab.org.br](http://www.conab.org.br). Acesso em: 18 jan. 2021.
- COVRE, A. M.; CANAL, L.; PARTELLI, F. L.; ALEXANDRE, R. S.; FERREIRA, A.; VIEIRA, H. D. Development of clonal seedlings of promising Conilon coffee (*Coffea canephora*) genotypes. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, n.3, p.385-392, 2016.

FARIA, M. B.; KAIZER, M. C. Pequenos mamíferos não-voadores (Didelphimorphia e Rodentia): estudo de impacto ambiental em uma região de ecótono entre a Mata Atlântica e a Caatinga. **Boletim da Sociedade Brasileira de Mastozoologia**, v.89, n.1, p.74-82, 2020.

FERREIRA, W. P. M.; QUEIROZ, D. M.; SILVAC, S. A.; TOMAZ, R.S. Effects of the Orientation of the Mountainside, Altitude and Varieties on the Quality of the Coffee Beverage from the “Matas de Minas” Region, Brazilian Southeast. **American Journal of Plant Sciences**, v. 7, p. 1291-1303, 2016.

FERREIRA, G. R.; FERREIRA, W. P. M.; BARBOSA, T. K. M.; LUPPI, A. S. L.; SILVA, M. A. V. Thermal zoning for mountain coffee crops in the Matas de Minas region, Brazil **Revista Brasileira de Geografia Física**, v11, n.4, p.1176-1185, 2018.

FERREIRA, M. L. Sistema de informação geográfica (SIG) aplicado na agricultura de precisão. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 03, n. 4, p. 15-23, 2019.

FREITAS, L. O.; CALHEIROS, T.; REIS, R. J. Vulnerabilidade da mesorregião Norte de Minas Gerais face às mudanças climáticas. **Caderno de Geografia**, v.29, n.56, p. 134- 155, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias**. Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET: 1989-2019**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 22 de out. 2020.

IORIS, A. A. R. Places of Agribusiness: Displacement, Replacement, and Misplacement in Mato Grosso, Brazil. **Geographical Review**, v.107, n.3, p.452-475, 2017.

JARDIM, C. H.; MOURA, F. P. Variações dos totais de chuvas e temperatura do ar na bacia do rio Pandeiros, norte do estado de Minas Gerais-Brasil: articulação com fatores de diferentes níveis escalares em área de transição climática de cerrado para semiárido. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.14, p. 172-189, 2018.

LEMO, M.; VALENTE, T.; REIS, P. M.; FONSECA, R.; DELBEM, I.; VENTURA, J.; MAGALHÃES, M. Mineralogical and Geochemical Characterization of Gold Mining Tailings and Their Potential to Generate Acid Mine Drainage (Minas Gerais, Brazil). **Minerals**, v.11, n.1, p. 1-16, 2020.

LIMA, J. V. O. de; FERNANDES, A. L. T.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; CRUZ, P. O. H. da; CRUZ, J. P. H. da; SANTANA, M J. de. Avaliação do consumo de água e energia

elétrica utilizando sensores iot na irrigação do café. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.14, n.1, p. 3844-3853, 2020.

LUPPI, A. S. L.; SANTOS, A. R.; EUGÊNIO, F. C.; BRAGANÇA, R.; PELUZIO, J. B. E.; DALFI, R. L.; SILVA, R. G. Metodologia para classificação de zoneamento agroclimatológico. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.15, n.1, p.80-97, 2014.

MACHADO, A. H. R.; PUIA, J. D.; MENEZES, K. C.; MACHADO, W. A Cultura do Café (*Coffea arabica*) em Sistema Agroflorestal. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1357-1369, 2020.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, Edição Especial, n.1., p.129-156, 2018.

MEDEIROS, R. M., NUNES, J. C., DE HOLANDA, R. M., DE FRANÇA, M. V. Aptidões climáticas: caju, palma forrageira e milho no município de São Bento do Una-PE, Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.3, n. 3, p. 310-318, 2018.

MESQUITA, C. M.de; MELO, E. M.; REZENDE, J. E.; CARVALHO, J. S.; FABRI JUNIOR, M. A.; MORAES, N. C.; DIAS, P. T.; DE CARVALHO, R. M.; ARAÚJO, W. G. **Manual do café: implantação de cafezais Coffea arábica L.** Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016.

MIRANDA, T. V.; FERREIRA, W. P. M.; OLIVEIRA, G. C.; SILVA, M. A. V. Mapeamento de elementos climáticos da região das matas de Minas –MG durante o ciclo fenológico do café arábica. **Revista de Geografia-PPGEO**, v.8, n.1, p.45-57, 2018.

MOAT, J.; WILLIAMS, J.; BAENA, S.; WILKINSON, T.; GOLE, T. W.; CHALLA, Z. K.; DEMISSEW, S.; DAVIS, A. P. Resilience potential of the Ethiopian coffee sector under climate change. **Nature Plants**, v. 3, n.1, p.1-14, 2017.

MORAIS, M. F.; MELLO, E. M. R. O *Terroir* e o café especial da indicação geográfica do Sul de Minas Gerais. **CES Revista**, v. 33, n. 1, p. 258-285, 2019

NASCIMENTO, D. T. F.; NOVAIS, G. T. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Revista Élisée**, v.9, n.2, p.1-39, 2020.

NEGREIROS, V. M. V.; NASCENTES, R. F.; NASCENTES, M C. Efeitos da aplicação de regulador vegetal na maturação e na qualidade de bebida dos frutos do café. **AgroFIB**, v.1, n.1, p.1-24, 2019.

NERES, D. C. C.; AMORIM, R. S. S.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; PÁDUA, G. P.; FRANÇA-NETO, J. B. Agroclimatic zoning of the Brazilian state of Mato Grosso for

the production of soybean seeds of early cultivars. **Journal of Seed Science**, v.41, n.2, p.205-212, 2019.

OCHOA, M.; RUIZ, R. **Caixa de Ferramentas para adaptação às mudanças climáticas estabelecida para as regiões produtoras do café no estado de Minas Gerais – Brasil**. 1. ed. Brasil: DoDesign Brasil, 2016.

OLIVEIRA, F. G.; ARAÚJO, M S. P. de; ANTÔNIO NETO, M.; FIGUEIREDO, F. P. de. Produtividade de cultivares de *Coffea* arábica submetidas a dois métodos de irrigação no Norte Mineiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.14, n.2, p. 3941–3948, 2020.

PASSOS, M. M. A relação clima-vegetação no semiárido brasileiro: abordagem bioclimática do contato Caatinga/Cerrado no vale do Médio São Francisco – Semiárido do Nordeste brasileiro. **Espaço em Revista**, v. 22, n. 1, p. 42-60, 2020.

QUARTEZANI, W. Z.; DE SALES, R. A.; PLETSCHE, T. A.; BERILLI, S. S.; NASCIMENTO, A. L.; LEONARDO RAASCH HELL.; L. R.; MANTOANELLI, E. M.; BERILLI, A. P. C. G.; SILVA, R. T. P.; TOSO, R. Conilon plant growth response to sources of organic matter. **African Journal of Agricultural Research**, v.3, n.4, p.181-188, 2018.

QUEIROGA, V. P.; GOMES, J. P.; MELO, B. A.; ALBUQUERQUE, E. M. B. **Cultivo do café (*Coffea arabica* L.) Orgânico sombreado para produção de grãos de alta qualidade**. 1. ed. Campina Grande: AREPB, 2021.

REICHMAN, D. R. Big Coffee in Brazil: Historical Origins and Implications for Anthropological Political Economy. **The Journal of Latin American and Caribbean Anthropology**, v.23, n.2, p. 241–261, 2018.

RIBEIRO, B. B.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, A. M.; CÂMARA, F. M. M.; LIMA, R. R. Sensory evaluation of coffee cultivars in the Campo das Vertentes Mesoregion, Minas Gerais. **African Journal of Agricultural Research**, v.15, n.2, p. 179-186, 2020.

RONCHI, C. P.; ARAÚJO, F. C. A.; ALMEIDA, W. L.; SILVA, M. A. A.; MAGALHÃES, C. E. O.; OLIVEIRA, L. B.; DRUMOND, L. C. D. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao déficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.1, p.24-32, 2015.

RONCHI, C. P.; DAMATTA, F. M. Aspectos Fisiológicos do Café Conilon. In: Ferrão, R. G.; Fonseca, A. F. A. da; Ferrão, M. A. G.; Muner, L. H. de. **Café Conilon**. 2. ed. Vitória, ES: Incaper, 2017, p.103-124.

RODRIGUES, R. R.; PIZETTA, S. C.; SILVA, N. K. C.; RIBEIRO, W. R.; REIS, E. F. Crescimento inicial do cafeeiro Conilon sob déficit hídrico no solo. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 33 - 38, 2016.

RODRIGUES, G. Z.; CUNHA, L. T.; ALMEIDA, G. R. R. Desenvolvimento e validação da fermentação controlada de frutos do café no pós-colheita em diferentes tempos. **Revista Agroveterinária do Sul de Minas**, v. 2, n. 1, p. 45-52, 2020.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C. **Balanço hídrico normal por Thornthwaite e Mather (1995)**. Versão 4.0. São Paulo: 1998.

SANTANA, M. J. de; CHAVES, H. H.; OLIVEIRA, M. E. F. de; FERNANDES, A. L. T.; CALZADO, M. A.; FERREIRA, M. N. Estimativa da evapotranspiração e dos coeficientes de cultivo da cultura da beterraba. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.14, n.4, p. 4141–4153, 2020.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T. **Cultivo do cafeeiro irrigado por gotejamento**. 2. Ed. Uberaba: WS, 2012. 388p.

SANTOS, D. F. dos; CAMPOS, G. Viabilidade Econômico-Financeira para expansão da cafeicultura em Unaí, Minas Gerais. **Journal of Perspectives in Management**, v.4, p. 84-100, 2020.

SANTOS, W. W. V.; ELIAS, A. M. T.; DONATO, M. V. L. C.; MEDEIROS, A. L. T.; BARROS, D. N.; SILVA, M. E. S. Influência das condições de torra e do processo extrativo em blends de café. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p.25079-25092, 2020.

SILVA, S. A.; QUEIROZ, D. M.; FERREIRA, W. P. M.; CÔRREA, P. C.; RUFINO, J. L. S. Mapping the potential beverage quality of coffee produced in the Zona da Mata, Minas Gerais, Brazil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.96, n. 9, p. 3098-3108, 2016.

SILVA, M. R.; MOURA, F. P. DE; JARDIM, C. H. O diagrama de caixa (Box Plot) aplicado à análise da distribuição temporal das chuvas em Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas, Minas Gerais-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.1, p.23-40, 2017.

SILVA, V. A.; MACHADO, J. L.; REZENDE, J. C.; OLIVEIRA, A. L.; FIGUEIREDO, U. J.; CRAVALHO, G. R.; FERRÃO, M. A.; GIMARÃES, R. J. Adaptability, stability, and genetic divergence of conilon coffee in Alto Suaçuí, Minas Gerais, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17, n.1, p. 25-31, 2017.

SILVA NETO, E. C.; DE SOUZA, A. F. F.; COELHO JÚNIOR, M. G.; CORDEIRO, A. A. S.; OLIVEIRA, A. L. Aplicação do sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras (SAAAT) em solos do norte de Minas Gerais. **Agrarian Academy**, v.5, n.9; p.30-45, 2018.

SOUSA, J. W. de; OLIVEIRA, P. F. de. Risco climático para o café Conilon (*Coffea canephora*) nos municípios de Rio Branco, Tarauacá e Cruzeiro do Sul, AC. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 7, n. 2, p. 31-40, 2018.

TAQUES, R. C.; DADALTO, G. G. Agroclimatic Zoning for Conilon Coffee Culture in the State of Espírito Santo. *In*: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. **Conilon Coffee**. 3. ed. Vitória: Incaper, 2019. cap. p. 71-83.

TEIXEIRA, H. M.; BIANCHI, F. J. J. A.; CARDOSO, I. M.; TITTONELL, PEÑA-CLAROS, M. Impact of agroecological management on plant diversity and soil-based ecosystem services in pasture and coffee systems in the Atlantic forest of Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.305, n.1, p. 1-13, 2021.

THORNTHWAITE, C.W. Na approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v.38, p.55- 94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.

TOLESSA, K.; D'HEER, J.; DUCHATEAUB, L.; BOECKX, P. Influence of growing altitude, shade and harvest period on quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.97, n. 9, p. 2849–2857, 2017.

VICENTE, M. R.; MANTOVANI, E. C.; FERNANDES, A. L. T.; NEVES, J. C. L.; DELAZARI, F. T.; FIGUEREDO, E. M. Efeitos da irrigação na produção e no desenvolvimento do cafeeiro na região oeste da Bahia. **Coffee Science**, v. 12, n. 4, p. 544 - 551, 2017

ZAIDAN, U. R.; CORRÊA, P. C.; FERREIRA, W. P. M.; CECON, P. R. Ambiente e variedades influenciam a qualidade de cafés das matas de Minas. **Coffee Science**, v. 12, n. 2, p. 240 – 247, 2017.

## CAPÍTULO 2

### IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO DO CAFÉ ARÁBICA E CAFÉ CONILON NO ESTADO DE MINAS GERAIS A PARTIR DE PROJEÇÕES FUTURAS DE AUMENTO DE TEMPERATURA

#### RESUMO

Com o passar dos anos identifica-se um aumento nas mudanças climáticas que vem influenciando na produtividade agrícola do país. Como o café apresenta importância significativa para a economia brasileira, coloca o Brasil como maior produtor e exportador da cultura. Este trabalho teve como objetivo definir por meio de projeções de temperaturas definidas pelo IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) as regiões aptas, restritas e inaptas para o cultivo do café Arábica e Conilon no estado de Minas Gerais, seguindo as faixas de temperatura ideal para o desenvolvimento de ambas. Para isso, foram utilizados dados de temperatura média do ar, em escala mensal e anual, de séries históricas representativas do período de 1989 a 2019 referentes a 44 pontos de medição da rede de Estações Meteorológicas Automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no qual foram projetados cenários para 2030, 2050 e 2100. Os resultados encontrados demonstraram que, atualmente, as áreas completamente aptas com o passar dos três cenários tendem a diminuir com o aumento das temperaturas para ambos as espécies de café. Para o cenário de 2100 de maior expressão, com a projeção de 5,2°C, tanto para o Arábica como para o Conilon, apresentam uma previsão de um percentual de 96,47% das regiões inaptas para o cultivo e desenvolvimento da cultura no estado de Minas Gerais. Neste contexto, pode concluir que se as projeções forem cumpridas e mantidas as características genéticas e fisiológicas atuais dos cafés, ocorrerá praticamente uma extinção da cultura no estado. O que torna a necessidade de investimento de técnicas e mecanismos capazes de contornar estes impactos.

**Palavras-chave:** Agricultura. Aquecimento global. Clima. Irrigação. Sistemas agrícolas.

#### ABSTRACT

Over the years an increase in climate change has been identified that has influenced the agricultural productivity of the country. As the coffee presents significant importance to the Brazilian economy, placing Brazil as the largest producer and exporter of the culture. This work aimed to define, by means of temperature projections defined by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), the regions suitable, restricted and unsuitable for growing Arabica and Conilon coffee in the state of Minas Gerais, following the ideal temperature ranges for the development of both. For this, data of average air temperature, on a monthly and annual scale, from representative historical series from the period 1989 to 2019 were used, referring to 44 measuring points of the Automatic Meteorological Stations network of the National Institute of Meteorology (INMET), in which scenarios were projected for 2030, 2050

and 2100. The results found showed that, currently, the areas completely suitable over the three scenarios tend to decrease with the increase in temperatures for both coffee species. For the scenario of 2100 of greater expression, with the projection of 5.2°C, both for Arabica and Conilon, present a forecast of a percentage of 96.47% of the regions unfit for the cultivation and development of the culture in the state of Minas Gerais. In this context, it can be concluded that if the projections are met and the current genetic and physiological characteristics of the coffees are maintained, the culture will practically become extinct in the state. What makes it necessary to invest in techniques and mechanisms capable of circumventing these impacts.

**Keywords:** Agriculture. Global warming. Climate. Irrigation. Agricultural Systems.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a variabilidade do clima tornou-se uma importante preocupação, gerando muitas discussões em âmbito mundial, pois alterações do clima podem intensificar os efeitos das variáveis climáticas e afetar vários sistemas, bem como ameaçar o bem-estar humano. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) vem fornecendo nos seus relatórios indicadores de mudanças, confirmações científicas da necessidade de limitar o aquecimento da Terra (SOMBOONSUKE et al., 2018).

Voltando um olhar para a agricultura, que é um dos segmentos essenciais para fornecimento de alimentos, bem como o desenvolvimento da economia brasileira, sabe-se que apresenta dependência das condições ambientais para o seu êxito. Em vista disso, destacam-se as variáveis de solo e de clima, as quais estão relacionadas ao crescimento e o desenvolvimento das plantas, além dos valores produtivos (ASSUNÇÃO; CHEIN, 2016; OLIVEIRA; TOMAZELLA; SANCHES, 2019).

Com base no exposto, fica evidente a necessidade de fundamentação de avaliações e estudos a partir destas condições e, sobretudo em relação às atividades agrícolas a serem implantadas em determinadas regiões (ANDERSON et al., 2017).

Considerando que para o desenvolvimento natural e promissor das culturas, as condições atmosféricas que envolvem as variáveis climáticas, como regime de chuva, temperatura, radiação solar, ventos e umidade relativa do ar, devem estar dentro dos padrões naturais e atendendo as suas necessidades exigidas (GUO; WESTRA; MAIER, 2017; XUAN et al., 2017).

Uma vez que as culturas necessitam de condições favoráveis para o desenvolvimento de seu ciclo vegetativo, de forma que não comprometam a

produtividade. Sendo necessário estabelecer o monitoramento de mudanças de clima em regiões produtivas, principalmente em períodos em que a necessidade de produzir alimentos tanto em quantidade como em princípios de qualidade nutricional tornam-se pertinentes, frente ao crescimento populacional (MICHLE et al., 2018).

Além disso, mudanças destas variáveis podem favorecer a propagação de plantas competidoras, insetos, déficit hídrico, desertificação, doenças, entre outros fatores nocivos que irão interferir na produtividade (PATRÍCIO, 2017; ALVES; MARTINS; REBOITA, 2020).

Necessitando entender a relação entre gestão e planejamento de riscos decorrentes de mudanças climáticas, como forma de identificar e controlar a vulnerabilidade em torno desses eventos. Sobre tudo a interferência direta com a produtividade e a manutenção dos seres vivos (GELCER et al., 2018).

Como a cultura do café é uma das commodities com influência significativa na economia brasileira e o estado de Minas Gerais detém da primeira colocação no *ranking* nacional de produção cafeeira, vê-se a precisão de aperfeiçoar medidas capazes de contornar e atenuar esses efeitos (CALDERELLI; GILIO; ZILBERMAN, 2018; WINTER et al., 2020).

Devido à variabilidade climática observada no cafeeiro, por exemplo, relacionadas com a distribuição e intensidade das chuvas, bem como variações na temperatura do ar serem fatores que influenciam tanto na qualidade da bebida quanto em sua produtividade, em diferentes estádios do ciclo fenológico (OGUNDEJ et al., 2019).

De forma que, grandes variações da temperatura do ar podem ser preocupantes quando são consideradas projeções climáticas, além de ser uma das variáveis meteorológicas de grande importância na aptidão climática do cafeeiro. Pois a ocorrência de valores de temperaturas acima de 28 °C induz na redução no número de folhas e na atividade fotossintética. Já valores acima de 34 °C impulsiona o favorecimento do abortamento floral e, conseqüentemente, perda de produtividade e qualidade dos frutos (SOUZA; OLIVEIRA, 2018).

Dessa forma, destaca-se a importância de conhecer os efeitos do clima durante todas as fases fenológicas da cultura para desenvolvimento de um manejo preciso e eficiente, pois identificar os períodos adequados para implementação de tais práticas, como poda, irrigação, adubação, uso de defensivos, entre outras práticas, garantirá um melhor planejamento e resultados (APARECIDO et al., 2017).

Visto que, com o passar dos anos esses eventos vem se tornando cada vez mais presentes e extremos. Visando intensificar a propagação de técnicas, conceitos e tecnologias (ALBUQUERQUE et al., 2018). Como o emprego da técnica de irrigação, que permite evitar déficit hídrico, apresentando influência direta tanto em quantidade como em qualidade na produção agrícola contribuindo para o melhor desempenho do setor e um manejo preciso e eficaz (BHASKER; MURALI, 2020; GARCÍA, 2020).

Bem como o zoneamento agroclimático, uma ferramenta de planejamento que permite o conhecimento das fases mais críticas da cultura para evitar coincidir com períodos de adversidades climáticas de uma região, definindo um mapeamento baseado em fatores edafoclimáticas (BRAGRANÇA et al., 2016).

Garantindo o levantamento de informações da cultura e do ambiente a ser implantado ou em desenvolvimento, a partir de fatores de aptidão que permitirão a aplicação de um dimensionamento, planejamento e execução de ferramentas precisas no tempo e no espaço determinado, como forma de definir regiões com faixas de aptidões (DE SOUZA et al., 2018).

Deste modo, identificar as necessidades em termos de delimitações edafoclimáticas de uma região e com olhar nas exigências da cultura do café, permitirá uma análise de incertezas, riscos climáticos, planejamento de safra, assim como manejos, evitando flutuações e investimentos desnecessários em regiões de baixa ou inviabilidade produtiva (JAYAKUMAR; RAJAVEL, 2017; ADHIKARI et al., 2020).

A partir da importância da cafeicultura para o agronegócio brasileiro, e ser considerado um setor de valor socioeconômico expressivo para o estado de Minas Gerais, além do desenvolvimento e produtividade da cultura do café ser influenciados principalmente por fatores climáticos. Objetivou-se com a elaboração deste trabalho, definir áreas aptas, restritas e inaptas, considerando as condições agroclimáticas, a partir de projeções futuras de incrementos de temperaturas que estão relacionadas com o cultivo do café Arábica e Conilon no estado de Minas Gerais para os cenários de 2030, 2050 e 2100.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODO

### 2.2.1 Área de Estudo

O trabalho foi desenvolvido para o estado de Minas Gérias, abrangendo uma área territorial de 586.521,123 km<sup>2</sup>. Com temperaturas médias anuais no setor Sul de cerca de 20°C e ao Norte de valores médios em torno de 26°C (NOVAIS; BRITO; SANCHES, 2018).

O estado apresenta grande diversidade na cobertura vegetal, possuindo principalmente quatro principais biomas: Cerrado, Campos de Altitude ou Rupestres, Mata Atlântica e Mata Seca. As altitudes médias variam entre 500 a 1500 metros, o que favorece o desenvolvimento de diversos setores econômicos, como: agricultura, pecuária e mineração (MARTINS et al., 2018).

O Estado de Minas possui clima que se enquadra quase que totalmente na zona tropical quente e úmida, consequência da maior incidência de radiação solar quando comparada com as demais regiões. Ao Norte tem-se o clima tropical semiárido, a região Centro Sul é caracterizada por ser de clima tropical semiúmido e nas regiões de predominância altas, tropical de altitude (LEITE et al., 2018)

Essa maior incidência dos raios solares está relacionada com dois fatores estáticos, a posição do estado latitudinal e a borda ocidental ao Oceano Atlântico, o que proporciona diversidade de eventos climáticos extremos em diferentes regiões do estado (REBOITA et al., 2017).

### 2.2.2 Levantamento de dados e elaboração das projeções de temperatura

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados dados de temperatura média do ar mensal, do período de 1989 a 2019, referentes a 44 pontos de medição da rede de Estações Meteorológicas Automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no estado de Minas Gerais. Os municípios seguiram a divisão por Regiões Geográficas Intermediárias, de acordo com a classificação do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) 2017.

Com o intuito de observar o cultivo das variedades de café no estado neste século, a partir do incremento de temperaturas, foram desenvolvidas projeções seguindo as aptidões temperatura de cultivo para cada região ao longo de cenários.

Estas projeções foram baseadas em relatórios criados pelo Painel Intergovernamental de Mudança Climática (*Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC (<https://www.ipcc.ch/>)) que são publicados periodicamente com projeções de variáveis climáticas.

Diante deste contexto e a partir desses relatórios, foram considerado os valores de acréscimo de temperatura a partir de projeções futuras, como forma de observar a aptidão das variedades de café no estado de Minas Gerais no decorrer de três cenários, 2030, 2050 e 2100, e com duas análises de projeções, a “otimista” (RCP2.6) e a faixa “pessimista” (RCP8.5), que podem ser observadas na Tabela 4.

**Tabela 4 - Projeções de aumento aproximado de temperatura média para cenários do IPCC para o sudeste da América**

| CENÁRIO | OTIMISTA (RCP2.6) | PESSIMISTA (RCP8.5) |
|---------|-------------------|---------------------|
| 2030    | 0,2°C e 1,2°C     | 0,4°C e 1,6°C       |
| 2050    | 0,3°C e 1,8°C     | 1,0°C e 2,6°C       |
| 2100    | 0,4°C e 1,9°C     | 2,4°C e 5,2°C       |

Fonte: Adptado de IPCC (2014b); Lamarca, (2018).

### 2.2.3 Determinação de aptidão dos cafés para temperatura e plotagem dos mapas de projeções.

A partir dos cálculos nos dados de temperatura média anual para cada uma das 13 regiões, foi realizada a estruturação de previsões futuras de acordo com as projeções propostas pelo IPCC observados na Tabela 4 para cada cenário e variedade utilizando o *Software Excel*. Em seguida, realizou o cruzamento de informações com as faixas de aptidão de temperatura para as variedades de estudo de acordo com a tabela 5 a seguir.

**Tabela 5 - Dados de referências técnicas para a temperatura média anual no zoneamento agroclimático da cultura do café**

| APTIDÃO                  | Arábica               | Conilon           |
|--------------------------|-----------------------|-------------------|
| <i>Regiões aptas</i>     | 18,0°C – 22,5°C       | 22,5°C – 24,0°C   |
| <i>Regiões restritas</i> | 22,5°C – 24,0°C       | 20,0°C – 22,5°C   |
| <i>Regiões inaptas</i>   | < 18,0 °C e > 24,0 °C | 20,0°C e > 24,0°C |

Fonte: Adaptado LUPPI et al., (2014).

Para a construção dos mapas e sobreposições de aptidões para as regiões geográficas intermediárias na configuração do estudo, foi utilizado o software *ArcGIS*, versão 10.3, definindo regiões aptas, restritas e inaptas de acordo com os incrementos de temperatura média anual para as projeções de cenário de 2030, 2050 e 2100 para o café Arábica e Conilon.

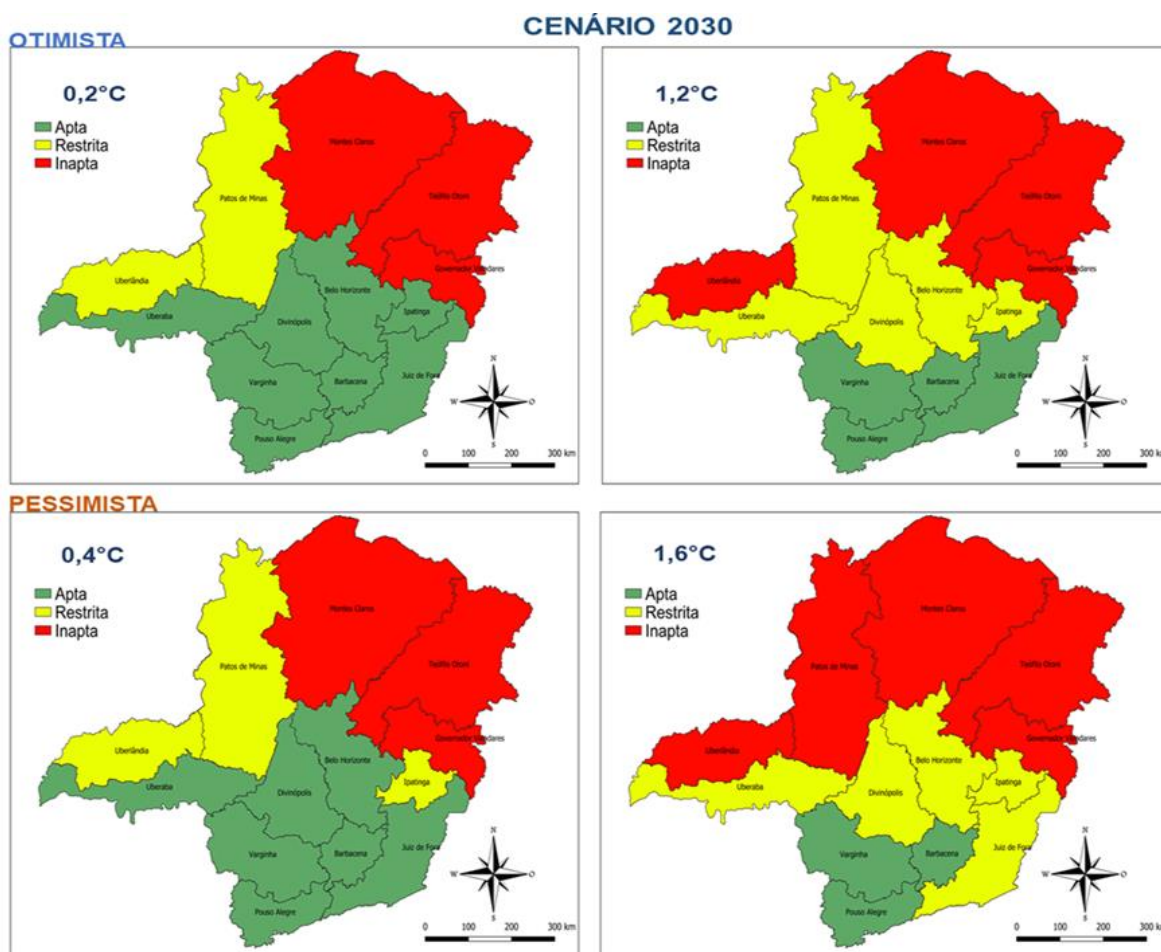
Sendo utilizado para converter as planilhas em informações para georreferenciamento o módulo “*Adicionar Camada de texto delimitada*”. Após, foi inserido o *Shapefile* do estado de Minas Gerais com a divisão das 13 Regiões Geográficas Intermediárias, realizando a classificação por cores utilizando a camada de texto conforme os critérios estabelecidos de aptidão para construção dos mapas.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 Cenários de projeções para o café Arábica

A partir da análise do café arábica para o cenário 2030 representado na Figura 10, observa-se que a comparação entre as projeções otimista e pessimista as regiões aptas apresentam um valor de maior representação de área. Considerando para o menor incremento de temperatura otimista 0,2°C, apresentou resultados com 40,70% de áreas aptas, 20,43% restritas e 38,86% inaptas, enquanto o pessimista 1,6°C, as áreas aptas ficam com uma representatividade de 12,41%, as restritas com 28,9% e as inaptas com 59,3%, representando uma redução de 28,29% de áreas aptas.

**Figura 10 – Projeção do cenário 2030 otimista para o aumento de temperatura em 0,2°C e 1,2°C e pessimista com aumento de 0,4°C e 1,6°C na cultura do café Arábica**

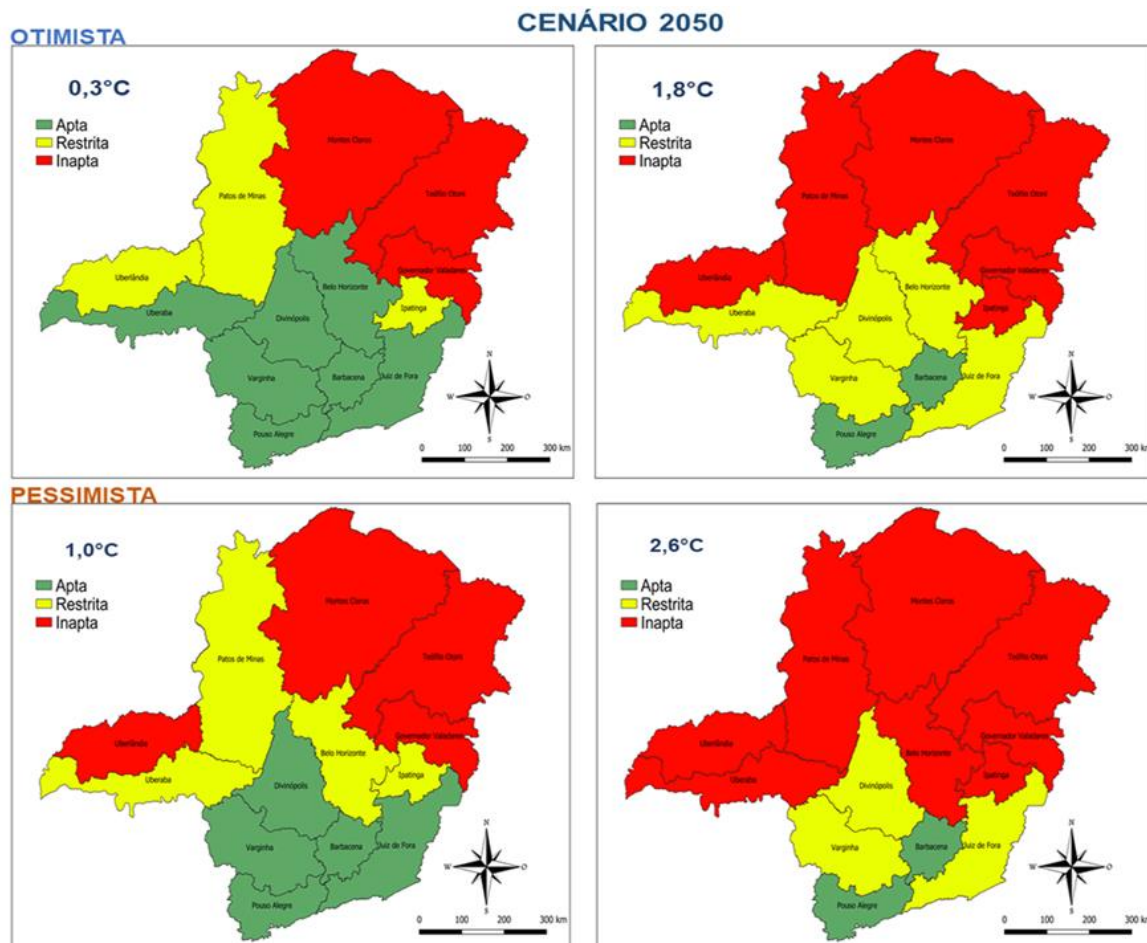


Com a interpretação dos mapas, observa-se para o aumento mais crítico deste cenário, a temperatura de 1,6°C pode representar futuramente em uma queda de produtividade, pois regiões que eram aptas e atualmente tem uma grande representatividade na produção cafeeira, como a região das Matas, que abrange nesta classificação a região de Juiz de Fora, estaria como restrita. O que representaria um impacto, pois como esta área possui uma parcela significativa de agricultores familiares, com a elevação de investimentos, poderia inviabilizar o cultivo, necessitando desde já na intensificação e investimento de técnicas que possam contornar esses efeitos (SOARES et al, 2020).

No cenário para 2050, representado pela Figura 11, o percentual de áreas aptas para a projeção pessimista tende a reduzir, considerando para o aumento de 2,6°C projeção de apenas 6,13% de regiões no estado que será possível cultivar o

café Arábica, representando um valor preocupante e que necessita de um olhar mais amplo nos efeitos das mudanças climáticas.

**Figura 11 – Projeção do cenário 2050 otimista para o aumento de temperatura em 0,3°C e 1,8°C e pessimista com aumento de 1,0°C e 2,6°C na cultura do café Arábica**

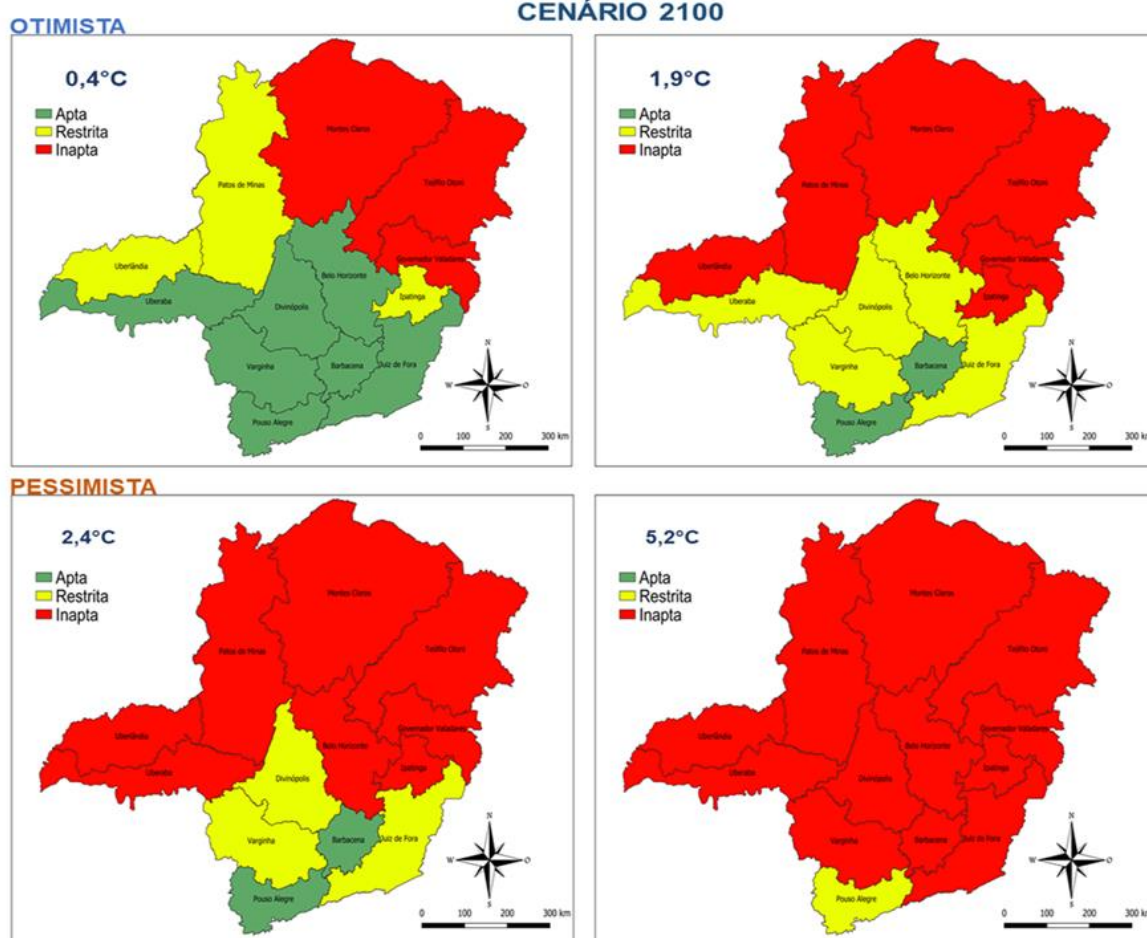


Estes são percentuais expressivos e que denotam de grandes impactos na cultura e ambiente. Principalmente por desencadear diversos fatores que afetam o gerenciamento econômico, político e social necessitando criar alternativas precisas e eficazes para evitar a desordem nos setores.

Visto que, mesmo no cenário otimista para aumento de 1,8°C as regiões aptas não apresentam grandes proporções, representando 6,13%. Observa-se que conforme se aumenta os graus de temperatura as porcentagens de áreas inaptas tendem a aumentar.

No caso da análise para 2100, o cenário é de maior preocupação, como representado na Figura 12, no qual é possível identificar o desaparecimento total das áreas aptas com o incremento de 5,2°C na temperatura.

**Figura 12 – Projeção do cenário 2100 otimista para o aumento de temperatura em 0,4°C e 1,9°C e pessimista com aumento de 2,4°C e 5,2°C na cultura do café Arábica**



Por ter apenas 3,53% de regiões com restrições, torna-se uma projeção devastadora da cultura, pois praticamente o estado com maior produtividade atual do país deixaria este patamar e teria quase a inexistência de cultivo, ou necessitaria de grandes investimentos na parte de mecanismos e manejos para contornar os efeitos adversos do clima. Principalmente por ter um aumento de 57,61% de áreas inaptas em comparação ao cenário otimista com aumento temperatura de 0,4° e pessimista de 5,2°C.

Resultados que são evidentes com o aumento gradual de temperatura, devido desencadear uma série de interferências na cultura, como o déficit hídrico. Pois estudos de projeções do PBMC (Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas) para este século, mostram que o aumento de 0,5 a 1 °C pode significar um decréscimo de 10% e 20% no volume de precipitação, assim como a elevação da temperatura entre 1,5 a 2,5 °C pode representar uma diminuição entre 25% e 35% e com valores mais

extremos com valores entre 3,5 e 4,5 °C, pode agravar praticamente metade da distribuição de chuvas, 40% a 50% (GUIMARÃES et al., 2016).

Além de intensificar o aparecimento de pragas e doenças do café, como ferrugem (*Hemileia vastatrix*), que é a doença mais causadora de impactos econômicos para os produtores. Pois o aumento das temperaturas pode diminuir o período de incubação da ferrugem, o que reflete em maior incidência e severidade (BORJAS-VENTURA et al., 2020).

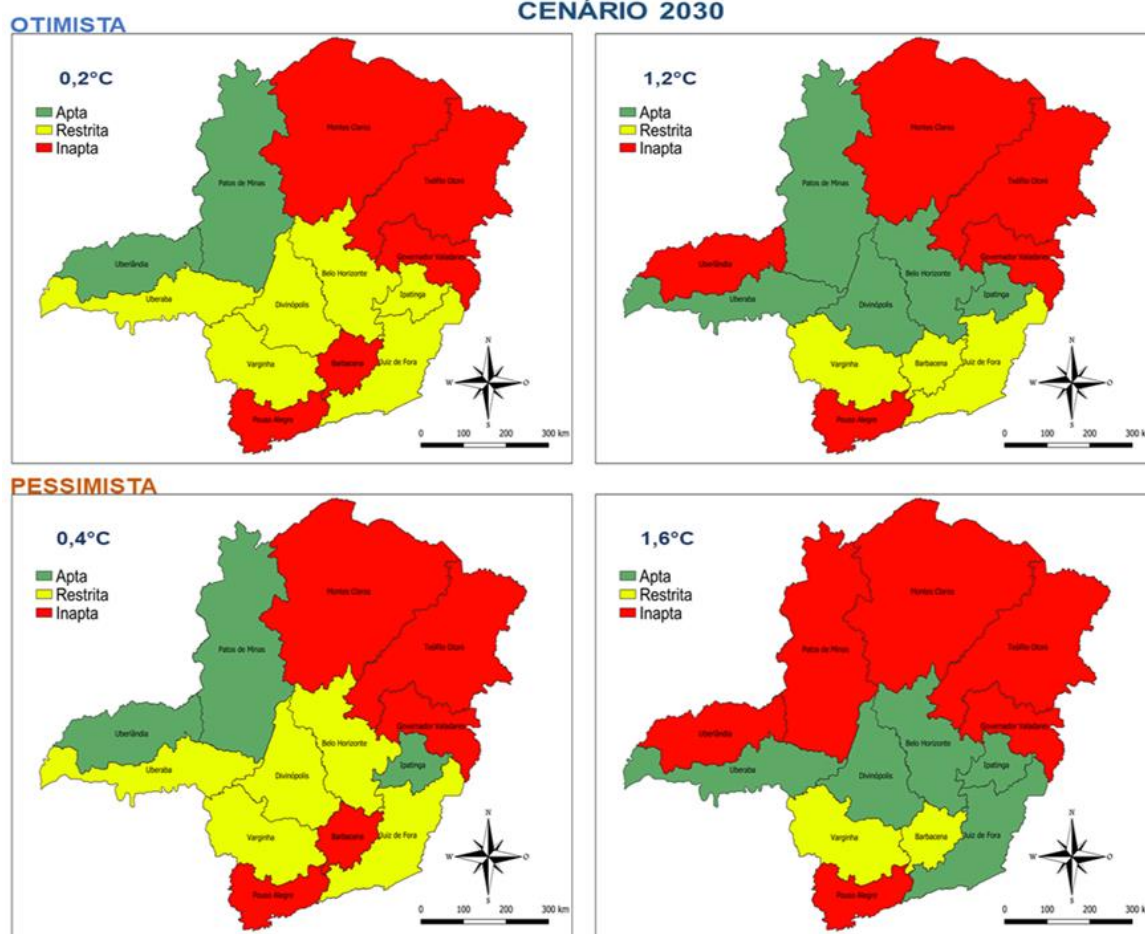
Evidenciando a necessidade da implantação de técnicas e tecnologias capazes de contornar esses efeitos, assim como a implantação de medidas de gerenciamento e planejamento de altas emissões de gases poluentes e que afetam o aquecimento da superfície terrestre o quanto antes. Pois para o cenário mais próximo já se tem grande crescimento de áreas inaptas nas mais diversas escalas de aumento de temperatura (CAMPBELL et al., 2017).

De modo que, a técnica de irrigação vem se tornando uma alternativa necessária e com crescente introdução nos últimos anos. Porém, o manejo preciso e eficaz é algo importante de analisar-se, visto que, esses efeitos de temperatura também afetam os níveis dos cursos de água, do qual a maior parte da água de irrigação é proveniente (DARKO et al., 2017).

### 2.3.2 Cenários de projeções para o café Conilon

As mesmas projeções foram realizadas para o café Conilon, como forma de verificar se as mesmas condições observadas para o Arábica detonam para esta espécie. Desta forma, a projeção para o cenário de 2030 pode ser observado na Figura 13 a seguir.

**Figura 13 – Projeção do cenário 2030 otimista para o aumento de temperatura em 0,2°C e 1,2°C e pessimista com aumento de 0,4°C e 1,6°C na cultura do café Conilon**



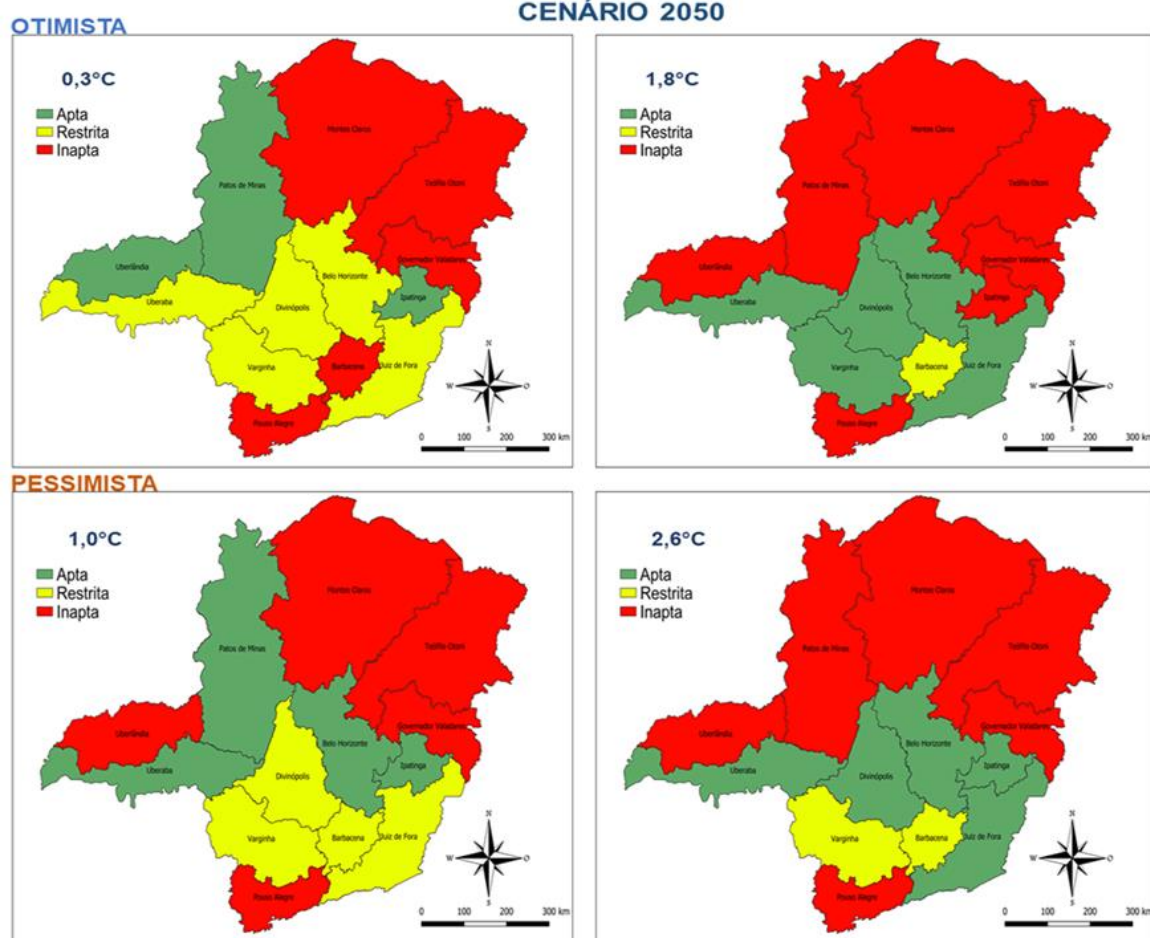
Evidencia-se que para a projeção otimista comparando o incremento de 0,2° e 1,2°C, as áreas aptas aumentam no maior incremento de 20,53% para 36,06% de regiões. O mesmo aconteceu para as áreas inaptas, de 45% para 48,46%, visto que as regiões restritas diminuíram.

O mesmo pode ser observado para as projeções pessimista, no qual foi verificado para 0,4°C, um total de 22,69% de áreas aptas e na projeção para 1,6°C, 28,28%. No entanto, as áreas inaptas aumentaram de 44,9% para 62,84%, consequência da redução das regiões consideradas restritas.

Esse aumento de regiões aptas é considerado pelas características do café Conilon ser projetadas para regiões mais quentes. No entanto, identificou melhor adaptação em regiões ao Centro do estado, do que no Norte, visto que esta localidade já possui clima de temperaturas mais altas, e o incremento só conduziu para aumentar mais.

Para o cenário de 2050 representado pela Figura 14, nas projeções otimista, pode verificar também um aumento de áreas aptas comparando o aumento 0,3°C e 1,8°C, que vai de 22,69% para 32,32%.

**Figura 14 – Projeção do cenário 2050 otimista para o aumento de temperatura em 0,3°C e 1,8°C e pessimista com aumento de 1,0°C e 2,6°C na cultura do café Conilon**



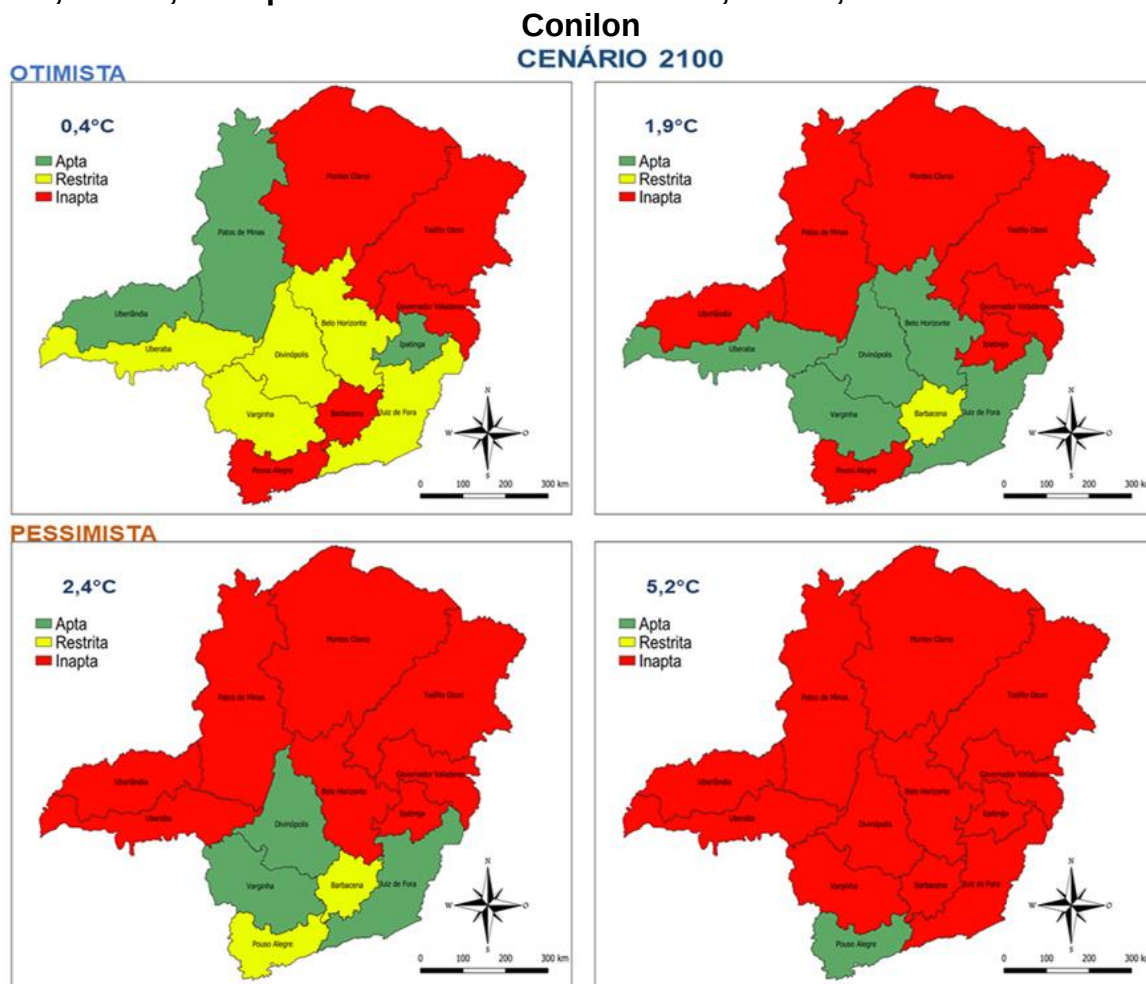
No entanto, para as projeções pessimista 1°C e 2,6°C observa o contrário, uma redução das regiões aptas com um aumento de 26,33% de áreas inaptas. Observando que a partir de certo aumento na temperatura, as características que asseguram maior tolerância a este café, não é preservado. Pois são valores fora das faixas de aptidão e começam a comprometer o seu cultivo tanto no seu desenvolvimento, como em sua produtividade, principalmente pela dificuldade em absorver nutrientes, bem como água.

De forma que, mesmo que seja uma cultura que tolera níveis mais altos de déficit hídrico, o comprometimento com a elevação de temperaturas proporciona

efeitos no metabolismo, no mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos, no transporte e translocação de solutos, na turgescência celular, bem como na expansão do sistema radicular da planta no solo (SOUZA, 2016).

Por fim, para o cenário de 2100 representado na Figura 15, observa-se para as projeções otimistas, um aumento de regiões aptas com incremento de  $0,4^{\circ}\text{C}$  para  $1,9^{\circ}\text{C}$ , indo de 22,69% para 32,32%. Porém, para as projeções pessimista o cenário inverte totalmente, já que com o aumento de  $2,4^{\circ}\text{C}$  para  $5,2^{\circ}\text{C}$ , as áreas aptas reduzem de 19,07% para 3,53%.

**Figura 15 – Projeção do cenário 2100 otimista para o aumento de temperatura em  $0,4^{\circ}\text{C}$  e  $1,9^{\circ}\text{C}$  e pessimista com aumento de  $2,4^{\circ}\text{C}$  e  $5,2^{\circ}\text{C}$  na cultura do café**



Evidencia-se neste cenário o expressivo aumento de regiões inaptas com o aumento de  $5,2^{\circ}\text{C}$ , que chega a 96,47%, ficando apenas uma área apta e nenhuma restrita. Região esta que é a de Pouso Alegre, podendo comprovar este resultado, pois é caracterizada como de relevo acidentados e montanhosos, o que assegura a formação de microclimas com menores temperaturas médias. E mesmo com este

incremento ainda permite temperaturas médias menores do que outras regiões do estado (CÂMARA et al., 2020).

Porém, observa-se que o aumento nos valores de temperatura é grande na transformação de áreas aptas a inaptas. De forma que, torna-se praticamente extinto a cultura no estado, se considerar a produção sem a introdução de técnicas que possam associar e assegurar o seu cultivo.

Observa-se que mesmo por ser um café que assegure tolerâncias maiores aos efeitos adversos climáticos, não é possível identificar em faixas de aumento expressivas de temperatura. Não podendo assegurar o cultivo a partir das características atuais do Conilon com projeções elevadas.

Tais efeitos podem trazer grandes impactos aos produtores, principalmente nas regiões de produtores familiares, como as localizadas ao Sul do estado, e com maior significância nos valores produtivos. Pois o alto custo pela introdução de mecanismos capazes de contornar esses eventos, impactará na inviabilidade de produzir o café, bem como, pode influenciar no êxodo rural desses produtores (FARIA et al., 2019).

### 2.3.2 Impacto das mudanças climáticas sobre o desenvolvimento e produtividade dos cafés

A partir dos resultados deste estudo e observando a projeção de quase todo estado apresentar regiões inaptas para aumento de 5,2° na temperatura média para ambos os cafés identifica-se um cenário preocupante, pois mesmo para uma espécie de maior resistência aos eventos climáticos, como o Conilon, observa-se a inexistências de grandes parcelas de regiões aptas, conforme o aumento das temperaturas.

Verificando que aumentos expressivos refletem em padrões fora das faixas ideais de cultivo, necessitando pensar em estratégias que possam assegurar a produção e para que essas projeções não sejam concretizadas, pois causará grandes impactos em diversos setores (GEIRINHAS et al., 2018).

De forma que, o aumento desses eventos pode reproduzir nos processos fisiológicos do cafeeiro, influenciado na absorção de nutrientes, na relação água-solo-planta-atmosfera, bem como outras características associadas com alterações bioquímicas e fisiológicas que afetaram as fases fenológicas da cultura (COBRA; FRANCO JUNIOR; SANTOS, 2020).

Neste contexto e a partir dos resultados obtidos fundamentados na aptidão para os dois cafés sobre as projeções futuras de temperatura, é possível observar que se os valores projetados forem factíveis, será impossível manter e sustentar parte da produção nas regiões do estado independente da espécie em que praticamente todas as regiões irão ficar inaptas e reduzirá as áreas de plantio. Como observados em outros estudos que identificam ao longo dos anos a redução de área de plantio em decorrência das mudanças climáticas (FÉLIX et al., 2020).

Evidenciando que áreas atualmente propícias, dentro do estado como as regiões ao Sul, com desempenho produtivo podem se tornar inaptas antes do final do século, em que o café possuirá poucas condições de cultivo na região Sudeste.

Resultado que pode ser observado no estudo, em que para o cenário de eventos menos extremos com 0,3°C de temperatura em 2030, o Arábica possuía um total de 40,7% de áreas aptas e o Conilon 20,4%. No entanto, com o aumento expressivo de 5,6°C para o Arábica esse total foi para nenhuma área apta, enquanto o Conilon apenas 3,53%. Situação considerada alarmante para a produção e preocupante quanto às consequências futuras que podem ser desencadeadas.

Porém, regiões que atualmente são consideradas restritas ou mesmo inaptas, como a região Sul do país, em decorrência de baixas temperaturas e alto risco de geadas, poderão deter da produção de culturas adaptadas ao clima tropical, como o café, em decorrência da redução desses eventos extremos (CENCI; LORENZO, 2020).

De forma que, os impactos provenientes das mudanças climáticas não estão relacionados apenas com perdas de produtividade ou área, mas também estão relacionadas com impactos sociais, ambientais e econômicos, pois desencadeiam diversos efeitos a sociedade, como fome e desnutrição, proliferação de doenças, desastres ambientais, ondas de calor, entre diversos efeitos que podem afetar a qualidade de vida humana (ALI et al., 2017; BOYSEN et al., 2017; FANG et al., 2018).

Identificando que as mudanças climáticas no setor agrícola acabam impactando também outros setores econômicos, pois com a alta dos custos de produção, os valores dos insumos alimentares e no consumo das famílias são aumentados, o que reflete na diminuição na rotatividade econômica de diversos setores (RODRÍGUEZ et al.; 2021).

Como no trabalho de Carlos; Cunha; Pires, (2019), que destaca a redução de 22% da produtividade das principais culturas produzidas no país até 2050. O que

impactaria no valor dos alimentos, assim como impactos a setores empresariais e governamentais que necessitam de investimentos para contornar os efeitos e atender as necessidades sociais (RAZA et al., 2019).

Assim com análise ao setor cafeeiro, no qual, para o estado de Minas Gerais possui grande significância, devido ser uma cultura fonte economicamente importante para manutenção de muitas famílias. De forma que, o aumento das mudanças climáticas, pode refletir na desestabilização econômica, o que torna a necessidade de intensificar medidas sustentáveis e que possam englobar todos os produtores para evitar impactos futuros.

O acesso a ferramentas inovadoras e tecnológicas exige certo grau de investimento. Com a falta de recursos, repercute na ausência ou diminuição dos tratamentos culturais, ou mesmo investimentos nas medidas que possam equilibrar a produção (SCHEMBERGUE et al., 2017).

Visto que, a tendência pela introdução do manejo de irrigação nos próximos anos para o cafeeiro é aumentar. Como mostra o trabalho Dohle; Klippel; Xavier, (2016), que a partir da redução dos níveis de precipitação e aumento da temperatura média, ocorrerá entre 1980 e 2080 um aumento na lâmina de irrigação em cerca de 138%.

Considerando esses fatores, identifica a necessidade atual do desenvolvimento de diretrizes e planos que possam contornar esses efeitos relacionados ao clima. Visando preservar os recursos naturais e assegurar não somente a produção de café, mas também de todo o setor agrícola. Pois o mesmo como pode ser analisado, tem uma relação com os mais diversos setores, não somente econômico, mas também, sociais, políticos, educacionais, desenvolvimento humano, ambiental, entre outros.

## 2.4 CONCLUSÃO

Com análise as projeções de aumento de temperaturas para os cenários de 2030, 2050 e 2100, é observado que para ambas as espécies Arábica e Colón, haverá um aumento de regiões com áreas inaptas no decorrer dos anos. Constatando para o cenário de 2100 com incremento mais crítico, de 5,2°C, as projeções indicaram para ambas 96,47% de áreas denominadas como inaptas. Repercutindo na necessidade de intensificar tanto pelos órgãos governamentais como de grandes empresas, e até mesmo por parte da sociedade, pela busca por medidas que possam

evitar e contornar esses eventos extremos, não somente para os cafés, mas para todo o setor agrícola. Pois as mudanças climáticas representam ameaças ao desenvolvimento de diversos setores econômicos. Em consequência de comprometer o desenvolvimento das culturas, com flutuações de temperaturas e variações no regime de chuvas, o que pode refletir na segurança alimentar e promover diversos impactos.

## REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, M.; ISAAC, E. L.; PATERSON, R. R. M.; MASLIN, M. A. A Review of Potential Impacts of Climate Change on Coffee Cultivation and Mycotoxigenic Fungi. **Microorganisms**, v.8, n.1, p.1-12, 2020.
- ALBUQUERQUE, F. S.; DE FRANÇA, Ê. F.; LOPES, P. M. O.; DE ALBUQUERQUE MOURA, G. B.; DA SILVA, B. B.; BARROS, A. H. C. Aptidão climática de culturas agrícolas importantes para comunidades indígenas do semiárido brasileiro. **Irriga**, v. 22, n. 1, p. 59, 2018.
- ALI, S.; LIU, Y.; ISHAQ, M.; SHAH, T.; ABDULLAH; ILYAS, A.; DIN, I. U. Climate Change and Its Impact on the Yield of Major Food Crops: Evidence from Pakistan. **Foods**, v.6, n.6., p. 1-19, 2017.
- ALVES, A. M. M R.; MARTINS, F. B.; REBOITA, M. S. Balanço hídrico climatológico para Itajubá-MG: Cenário atual e projeções climáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.26, n.16, p. 712-732, 2020.
- ANDERSON, W.; SEAGER, R.; BAETHGEN, W.; CANE, M. CROP production variability in North and South America forced by life-cycles of the El Niño Southern Oscillation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 239, p. 151-165, 2017.
- APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; LAMPARELLI, R. A. C.; SOUZA, P. S.; SANTOS, E. R. Agrometeorological Models for Forecasting Coffee Yield. **Climatology & Water Management**, v.109, n.1, p. 249-258, 2017.
- ASSUNÇÃO, J.; CHEIN, F. Climate change and agricultural productivity in Brazil: Future perspectives. **Environment and Development Economics**, v.21, n.5, p.581-602, 2016.
- BHASKER, B.; MURALI, S. A survey on security issues in sensor cloud environment for agriculture irrigation management system. **Journal of Critical Reviews**, v.7, n.4, p.796-805, 2020.
- BOGUNDEJI, B. A.; OLALEKAN-ADENIRAN, M. A.; ORIMOGUNJE, O. A.; AWOYEMI, S. O.; YEKINI, B. A.; ADEWOYE, G. A.; BANKOLE, A. Climate Hazards and the Changing World of Coffee Pests and Diseases in Sub-Saharan Africa. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 41, n.6, p.1-12, 2019.
- BORJAS-VENTURA, R.; ALVARADO-HUAMAN, L.; CASTRO-CEPERO, V.; REBAZA-FERNÁNDEZ, D.; GÓMEZ-PANDO, L.; JULCA-OTINIANO, A. Behavior of Ten Coffee Cultivars against *Hemileiavastatrix* in San Ramón (Chanchamayo, Peru). **Agronomy**, v.10, n.1, p. 1 -11, 2020.

BOYSEN, L. R.; LUCHT, W.; GERTEN, D.; HECK, V.; LENTON, T. M.; SCHELLNHUBER, H. J. The limits to global-warming mitigation by terrestrial carbonremoval. **Earth's Future**, v.5, n.5, p. 463-474, 2017.

BRAGANÇA, R.; DOS SANTOS, A. R.; SOUZA, E. F.; CARVALHO, A. J. C.; LUPPI, A. S. L.; DA SILVA, R. G. Impactos das mudanças climáticas no zoneamento agroclimatológico do café arábica no Espírito Santo. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 1, p. 77 - 82, 2016. CÂMARA, P. H. S.; RIBEIRO, K. M.; RIBEIRO, K. D.; PEREIRA, T. R. Morphometric characterization of Mestre Campo Stream Watershed, in Piranga City, Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, v. 12, n.1, p. 87-101, 2020.

CALDARELLI, C. E.; GILIO, L. ZILBERMAN, D. The Coffee Market in Brazil: challenges and policy guidelines. **Revista de Economia**, v. 39, n. 69, p. 1-21, 2018.

CAMPBELL, B. M., BEARE, D. J.; BENNETT, E. M.; HALL-SPENCER, J. M.; INGRAM, J. S. I.; JARAMILLO, F.; ORTIZ, R.; RAMANKUTTY, N.; SAYER, J. A.; ANSHINDELL, D. Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. **Ecology and Society**, v.22, n.4, p. 1-12, 2017.

CARLOS, S. M. CUNHA, D. A.; PIRES, M. V. P. Conhecimento sobre mudanças climáticas implica em adaptação? Análise de agricultores do Nordeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.57, n.3, p. 455-471 2019.

CENCI, D. R.; LORENZO, C. A mudança climática e o impacto na produção de alimentos: alguns elementos de análise da realidade Brasileira e Argentina. **Revista Direito Em Debate**, v.29, n.54, p. 32-43, 2020. DARKO, R. O.; SHOUQI, Y.; JUNPING, L.; HAOFANG, Y.; XINGYE, Z. Overview of advances in improving uniformity and water use efficiency of sprinkler irrigation. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v.10, n.2, p. 1-15, 2017.

COBRA, M. M.; FRANCO JUNIOR, K.; SATOS, R. T. Fotoprotetor em mudas de café Arábica. **Ciência Agrícola**, v. 18, n. 2, p. 1-6, 2020.

GEIRINHAS, J. L.; TRIGO, R. M.; LIBONATI, R.; COELHO CAN, C. A. S.; PALMEIRA, A. C. Climatic and synoptic characterization of heat waves in Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 38, n.4, p. 1760–1776, 2018.

GELCER, E.; FRAISSE, C. W.; ZOTARELLI, L.; STEVENS, F. R.; PERONDI, D.; BARRETO, D. D.; SOUTHWORTH, J. Influence of El Niño-Southern oscillation (ENSO) on agroclimatic zoning for to mato in Mozambique. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.248, p. 316-328, 2018.

FARIA, M. R.; FERREIRA, W. P. M.; FERREIRA, S. M. N.; SALTON, A. Responsabilidade social da mulher na sucessão da cafeicultura na região das Matas de Minas. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v.15, N. 7, p.141-154, 2019.

FANG, J. GUIRUI YUC, G.; LIUA, L.; HUD, S.; CHAPIN, F. S. Climate change, human impacts, and carbon sequestration in China. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.115, n.16, p. 4015-4020, 2018.

FÉLIX, A. S.; NASCIMENTO, J. W. B.; MELO, D. F.; FURTADO, D. A.; SANTOS, A. M. Análise exploratória dos impactos das mudanças climáticas na produção vegetal no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n.1, p. 397-409, 2020.

GARCÍA, L.; PARRA, L.; JIMENEZ, J. M.; LLORET, J.; LORENZ, P. IoT-Based Smart Irrigation Systems: An Overview on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture. **Sensors**, v.20, n.4, p.1-48, 2020.

GUIMARÃES, S. O.; COSTA, A. A.; VACONCELOS JÚNIOR, F. C.; SILVA, E. M.; SALES, D. C.; ARAÚJO JÚNIOR, L. M.; SOUZA, S. G. Projeções de Mudanças Climáticas sobre o Nordeste Brasileiro dos Modelos do CMIP5 e do CORDEX. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.31 n.3, p. 337- 365, 2016.

GUO, D.; WESTRA, S.; MAIER, H. R. Sensitivity of potential evapotranspiration to changes in climate variables for different Australian climatic zones. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.21, n. 4, p. 2107–2126, 2017.

JAYAKUMAR, M.; RAJAVEL, M. Coffee yield forecasting using climate indices based agrometeorological model in Kerala. **Mausam**, v. 68, n. 2, p.309-316, 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects**. Cambridge: 2014b. Disponível em: <<http://ipcc.ch/report/ar5/wg2/>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

LAMARCA, D. S. F. **Impacto de ondas de calor na produção de ovos de poedeiras**: Sistema de previsão de mortalidade aplicado à cenários do IPCC. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Tupã, 2018.

LEITE, M. E.; SILVA, L. A. P.; LEITE, M. R.; GILDETTE, S. F. Geotecnologias aplicadas a estimativa da temperatura de superfície em diferentes usos e ocupações do solo na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros – Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v.28, n.53, p. 490-509, 2018.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, Edição Especial, n. 14, p. 129-156, 2018.

- MICHLER, J. D.; BAYLIS, K.; ARENDS-KUENNING, M.; MAZVIMAVI, K. Conservation agriculture and climate resilience. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 93, p. 148-169, 2018.
- NOVAIS, G. T.; BRITO, J. L. S.; SANCHES, F. O. Unidades climáticas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.28, n.14, p. 223-243, 2018.
- OLIVEIRA, K. D.; TOMASELLA, J.; SANCHES, L. D. Spatial-temporal analysis of the climatic and anthropogenic influences on runoff in the Jucu River Basin, Southeastern Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 30, n.17, p. 2073–2087, 2019.
- PATRÍCIO, F. R. A. Efeito das mudanças climáticas sobre a ferrugem do cafeeiro. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. **Aquecimento Global e Problemas Fitossanitários**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2017. cap.10, p. 204-221.
- RAZA, A.; RAZZAQ, A.; MEHMOOD, S. S.; ZOU, X.; ZHANG, X.; LV, Y.; XU, J. Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review. **Plants**, v.8. n.2, p. 1-29, 2019.
- REBOITA, M. S.; MARIETTO, D. M. G.; SOUZA, A.; BARBOSA, M. Caracterização atmosférica quando da ocorrência de eventos extremos de chuva na região Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.21, n. 13, p. 20-37, 2017.
- RODRÍGUEZ, J. J. N.; RODRÍGUEZ, J. C. C.; CARRERO, D. M.; NOVOA, L. L. R.; FRANK, J. V. S. Representations of Colombian Andean farmers on climate change and mitigation and adaptation strategies. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.59, n.2, p. 1-18, 2021.
- SCHEMBERGUE, A. CUNHA, D. A.; CARLOS, S. M.; PIRES, M. V.; FARIA, R. M. Sistemas Agroflorestais como Estratégia de Adaptação aos Desafios das Mudanças Climáticas no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.55, n.1, p. 9-30, 2017.
- SOARES, W. O.; FERREIRA, W. P. M.; RIBEIRO, S. M. N. F.; FONSECA, H. P. Influência das mudanças climáticas na produção cafeeira segundo a percepção das cafeeicultoras. **Revista Formação (ONLINE)**, v. 27, n. 5, p.77-100, 2020.
- SOMBOONSUKE, B.; PHITTHAYAPHINANT, P.; SDOODEE, S.; KONGMANEE, C. Farmers' perceptions of impacts of climate variability on agriculture and adaptation strategies in Songkhla. Kasetart **Journal of Social Sciences**, v. 39, n. 2, p. 277-283, 2018.
- SOUZA, J. M. Supressão da irrigação no café Conilon. **Agrarian Academy**, v.3, n.6, p. 65-78, 2016.

SOUZA, D. C. F. de; LIMA, I. S.; ALMEIDA, A. Q.; GONZAGA, M. I. S.; SANTANA, J. F. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia sp.*) para o estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, n.1, p. 2338 - 2347, 2018.

SOUZA, J. W.; OLIVEIRA, P. F. Risco climático para o café conilon (*Coffea canephora*) nos municípios de Rio Branco, Tarauacá e Cruzeiro do Sul, AC. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 2, p. 1 – 47, 2018.

XUAN, W.; MA, C.; KANG, L.; GU, H.; PAN, S.; XU, Y. P. Evaluating historical simulations of CMIP5 GCMs for key climatic variables in Zhejiang Province, China. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 128, p. 207 – 222, 2017.

WINTER, E.; MARTON, S. M. R. R.; BAUMGART, L.; CURRAN, M.; STOLZE, M.; SCHADER, C. Evaluating the Sustainability Performance of Typical Conventional and Certified Coffee Production Systems in Brazil and Ethiopia Based on Expert Judgements. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.4, n.1, p. 1-18, 2020.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste trabalho foi possível definir as Regiões Geográficas Intermediárias aptas, restritas e inaptas para o cultivo e desenvolvimento do café Arábica e Conilon no estado de Minas Gerais por meio da construção de um zoneamento agroclimático. O que permitiu identificar para o café Arábica um total de 25,35% de áreas aptas, 35,78% restritas e 38,86% inaptas. Já para o Conilon para as condições e classificação de regiões estipuladas neste trabalho, um total de 0% de áreas aptas, 74,43% restritas e 25,57% inaptas.

Podendo identificar que o estado apresenta grande potencial para o cultivo de ambas as espécies, principalmente se adotar de técnicas e tecnologias capazes de contornar os eventos adversos de interferem nas faixas ideais de cultivo dos cafés, como o emprego de irrigação.

No segundo capítulo foi possível observar que nas projeções de cenários para 2030, 2050 e 2100 para ambos os cafés, o percentual de áreas inaptas tendem a aumentar. O que se torna evidente a necessidade da implantação de medidas eficazes e que possam contornar esses eventos, para as projeções não serem cumpridas.

Visto a repercussão que pode ocorrer com a produtividade de café no estado, bem como, com outras culturas que apresentam aspectos fisiológicos semelhantes de aptidão e desenvolvimento. Evidenciando impactos, como sociais, econômicos e governamentais, de grandes escalas em diversos setores.



## REFERÊNCIAS

- ADEPOJU, A. F.; ADENUGA, O. O.; MAPAYI, E. F.; OLANIYI, O. O.; ADEPOJU, F. A. Coffee: Botany, Distribution, Diversity, Chemical Composition and Its Management. **IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science**, v.10, n. 7, p. 57-62, 2017.
- BRAGANÇA, R.; DOS SANTOS, A. R.; SOUZA, E. F.; CARVALHO, A. J. C.; LUPPI, A. S. L.; DA SILVA, R. G. Impactos das mudanças climáticas no zoneamento agroclimatológico do café arábica no Espírito Santo. **Revista Agro@mbiente Online**, v. 10, n. 1, p. 77 - 82, 2016.
- BÖNECKE, E.; BREITSAMETER, L.; BRÜGGEMANN, N.; Tsu-Wei CHEN, T W.; FEIKE, T.; KAGE, H.; KERSEBAUM, K.C.; PIEPHO, H. P.; STÜTZEL, H. Decoupling of impact factors reveals the response of German winter wheat yields to climatic changes. **Global Change Biology**, v. 26, n. 6, p.3601-3626, 2020.
- BORÉM, F. M.; CIRILLO, M. A.; ALVES, A. P.C.; SANTOS, C. M.; LISKA, G. R.; RAMOS, M. F.; LIMA, R. R. Coffee sensory quality study based on spatial distribution in the Mantiqueira mountain region of Brazil. **Journal of Sensory Studies**, v.35, n.2, p.1-15, 2019.
- CALDANA, N. F. S.; NITSCHKE, P. R.; FERREIRA, L. G. B.; MARTELÓCIO, A. C.; CARAMORI, P. H.; ZACCHEO, P. V. C.; MARTINS, J. A. Agroclimatic risk zoning of mango (*Mangifera indica*) in the hydrographic basin of Paraná River III, Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v.16, n.7, p. 983-991, 2020.
- CARACOSTEA, L. M.; SÎRBU, R.; BUȘURICU, F. Determination of Caffeine Content in Arabica and Robusta Green Coffee of Indian Origin. **European Journal of Medicine and Natural Sciences**, v.4, n.3, p. 16-24, 2020.
- CHEN, C.; ZHOU, G. S.; PANG, Y. M. Impacts of climate change on maize and winter wheat yields in China from 1961 to 2010 based on provincial data. **The Journal of Agricultural Science**, v.153, n.5, p.825– 836, 2014.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Café**, Brasília, DF, v. 6, n. 4, p. 1-45, set. 2020. Safra 2020, Quarto levantamento. Disponível em: [www.conab.org.br](http://www.conab.org.br). Acesso em: 18 dez. 2020.
- CORTEZ, D.; PADILLA, R.; HERRERA, S.; URIBE, J. M.; PANEQUE, M. Topoclimatic Zoning and Representative Areas as Determined by an Automatic Weather Station (AWS) Network in the Atacama Region, Chile. **Atmosphere**, v. 11, n. 6, p.1-23, 2020.
- COSTA, B. R. Brazilian specialty coffee scenario. In: ALMEIDA, L. F.; SPERS, E. E. **Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil: A Volume in the**

Consumer Science and Strategic Marketing Series. Cambridge: Woodhead Publishing, 2020. v. 1, cap. 3, p. 51-64.

DE SOUZA, D. C. F.; DA SILVA LIMA, I.; SANTOS, J. A. S.; DE ALMEIDA, A. Q.; GONZAGA, M. I. S.; LIMA, J. F. Zoneamento Agroclimático da Palma Forrageira (*Opuntia Sp*) Para o Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 1, p. 2338, 2018.

FERREIRA, G. R.; FERREIRA, W. P. M.; BARBOSA, T. K. M.; LUPPI, A. S. L.; SILVA, M. A. V. Thermal zoning for mountain coffee crops in the Matas de Minas region, Brazil **Revista Brasileira de Geografia Física**, v11, n.4, p.1176-1185, 2018.

GOMES, C. S. Impactos da expansão do agronegócio brasileiro na conservação dos recursos naturais. **Cadernos do Leste**, v.19, n.19, p. 63-78, 2019.

KOH, I.; GARRETT, R.; JANETOS, A.; MUELLER, N. D. Climate risks to Brazilian coffee production. **Environmental Research: Infrastructure and Sustainability**, v.15, n.1, p. 1-12, 2020.

MAISTRO, M C. M.; MONTEBELLO, A. E. S.; SANTOS, J. A. Desafios do agro empreendedorismo: as startups do campo. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 9, p. 14949-14964, 2019.

OLIVEIRA, G. M.; ZYLBERSZTAJN, D. Make or buy: the case of harvesting mechanization in coffee crop in Brazil. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 21, n. 7, p. 895- 913, 2018

SANTOS, P. V. S.; ARAÚJO, M. A. A. A importância da inovação aplicada ao agronegócio: uma revisão. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 5. n. 7. p. 31-47, 2017.

VICENTE, M. R.; MANTOVANI, E. C.; FERNANDES, A. L. T.; NEVES, J. C.; DELAZARI, F. T.; FIGUEREDO, E. M. Efeitos da irrigação na produção e no desenvolvimento do cafeeiro na região Oeste da Bahia. **Coffee Science**, v. 12, n. 4, p. 544 - 551, 2017.

WIKSTRÖM, N.; BREMER, B.; RYDIN, C. Conflicting phylogenetic signals in genomic data of the coffee family (Rubiaceae). **Journal of Systematics and Evolution**, v. 58, n. 4, p. 440–460, 2020.

WINTER, E.; MARTON, S. M. R. R.; BAUMGART, L.; CURRAN, M.; STOLZE, M.; SCHADER, C. Evaluating the Sustainability Performance of Typical Conventional and Certified Coffee Production Systems in Brazil and Ethiopia Based on Expert Judgements. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.4, n.1, p. 1-18, 2020.