

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS CULTURAS DE CLIMA TEMPERADO PARA MINAS GERAIS

Alysson Fernando Ribeiro¹ (IC), Fabrina Bolzan Martins (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

Palavras-chave: Deficiência Hídrica. Número de Horas Frio. Zoneamento Agroclimático

Introdução

As frutíferas de clima temperado (FCT) correspondem cerca de 7,6% do total da produção brasileira de frutas (RODRÍGUEZ et al., 2021), atrás das frutas tropicais (43,8%) e subtropicais (48,6%). Embora as frutíferas tropicais e subtropicais sejam majoritariamente cultivadas (FACHINELLO et al., 2011; REETZ et al., 2022), as FCT representam cerca de 37% do valor total das exportações de frutas brasileiras (REETZ et al., 2022).

Mesmo com os avanços significativos nas adaptações de cultivares/variedades, nas melhorias de práticas de manejo e fertilidade do solo e no controle de pragas e doenças; o desenvolvimento e a produtividade das FCT ainda são fortemente afetados pela variabilidade climática (ANDRESSEN e BAULEN, 2018; MARTINS et al., 2020; RODRÍGUEZ et al., 2021). Como as FCT são caracterizadas pela necessidade de acúmulo de frio (SANTOS et al., 2017a; ANDRESSEN e BAULEN, 2018; MARTINS et al., 2020) e de disponibilidade hídrica suficiente (TANASIJEVIC et al., 2014; SANTOS et al., 2017b; ANDRESSEN e BAULEN, 2018), o acúmulo insuficiente de frio e a deficiência hídrica elevada, são as principais condições dependentes do clima que limitam as FCT (ANDRESSEN e BAULEN, 2018, FRAGA et al., 2019; MARTINS et al., 2020).

No Brasil, Minas Gerais (MG) se destaca como um grande produtor de FCT com cerca de 3617 ha colhidos, responsável por R\$ 216 milhões do PIB do estado (IBGE, 2020). Os cultivos são concentrados majoritariamente nas regiões Centro - Sul, correspondendo a ~83% da produção estadual, e as FCT (IBGE, 2020).

Por essas razões, mapear as áreas com potencial climático adequado para as FCT, considerando o acúmulo de horas de frio e a deficiência hídrica, é essencial para reduzir as vulnerabilidades desses cultivos em cenários futuros, definir estratégias mais seguras de planejamento e práticas agrícolas e orientar medidas efetivas de adaptação para enfrentar as ameaças das mudanças climáticas. Aplicando as saídas dos modelos climáticos de circulação geral (MCG) em ferramentas de zoneamento agroclimático (ZA) (SANTOS et al., 2017b;

TAVARES et al., 2018; FRAGA et al., 2019; MARTINS et al., 2020) é possível mapear as regiões com condições climáticas adequadas para os plantios de determinadas FCT sob clima atual e futuro. Os MCGs provenientes do *Coupled Model Intercomparison Project*, versão 6 (CMIP6) (ORTEGA et al., 2021) são a nova geração de modelos climáticos, com aprimoramentos das representações físicas, e que possuem projeções que combinam desenvolvimento socioeconômico (SSPs, sigla do inglês *Shared Socioeconomic Pathways*) com cenários de emissões (RCPs, sigla do inglês *Representative Concentration Pathways*).

Metodologia

Foram utilizados dados diários de temperatura do ar mínima (T_{min}, °C), máxima (T_{max}, °C) e precipitação (P, mm.dia⁻¹) de 10 MCGs pertencentes ao CMIP6. As simulações e projeções do ZA foram realizadas para o período presente (PP=1995-2014), futuro próximo (FP=2041-2060), e futuro distante (FD=2081-2100). As projeções (FP e PD) foram realizadas utilizando dois cenários de emissão do CMIP6: o cenário intermediário de emissões SSP2-4.5 e o cenário pessimista SSP5-8.5 (O'NEIL et al., 2016).

Previamente, os dados foram comparados com a validação dos dados diários dos MCGs simulados para o PP para evitar erros nos padrões projetados de T_{min}, T_{max} e P (no FP e FD). Nesta etapa, foram utilizados dados de T_{min}, T_{max} e P do banco de dados observado de estações disponibilizados por Xavier et al. (2016). Para fins de intercomparação os MCGs foram interpolados para a grade regular comum a dos dados observados. Para corrigir os enviesamentos provenientes dos dados dos MCG, foi aplicada uma metodologia de correção de bias para as variáveis T_{min} e T_{max} da média dos conjuntos (*ENSEMBLE*) pelo método de Lenderik et al. (2007) (MARTINS et al., 2020).

A metodologia de ZA utilizada neste estudo é uma adaptação do método proposto por Luppi et al., (2014) e Tavares et al., (2018). Onde são atribuídas notas (de 1 a 3) para as condições limitantes às FCT: i) limitação hídrica, dada pela deficiência hídrica e ii) limitação térmica, dada pelo número de horas frio, de

acordo com a adaptabilidade das FCT. Áreas aptas, regulares e inaptas receberam notas (N) 1, 2 e 3, respectivamente. Cada nota foi convertida em porcentagem de aptidão (P_A , %), calculada separadamente para ambas condições limitantes e classe de aptidão. O zoneamento agroclimático foi obtido pelo somatório da P_A de cada condição limitante, e cada valor de zoneamento agroclimático determina uma classe de aptidão, podendo ser: Totalmente adequado (100%), Adequado (75%), Regular (50%), Restrito (25%) ou inapto (0%).

Os limiares hídricos foram obtidos pela deficiência hídrica anual (DEF, mm ano^{-1}) calculada pelo balanço hídrico climatológico (BHC) proposto por Thornthwaite e Mather (1955, 1957), simplificado por Pereira (2005), e posteriormente modificado por Dourado-Neto et al., (2010). A partir dos dados diários de P e de evapotranspiração da cultura (ETc), a qual foi estimada pela versão modificada do método de Thornthwaite (1948) proposta por Willmott et al. (1985), foram calculadas as climatologias mensais para cada período (PP, FP e FD); que são os dados de entrada no cômputo do BHC, junto com a capacidade de água disponível no solo (CAD, mm) (MARTINS et al., 2022). Apesar de requerer poucas variáveis de entrada (P e ETc) este método expressa coerentemente a disponibilidade hídrica em locais onde há pelo menos uma estação seca por ano (DOURADO-NETO et al., 2010; MARTINS et al., 2022), situação comum de ocorrer em vários locais de Minas Gerais (SANTOS et al., 2017b). A CAD foi obtida pelo produto entre a capacidade de retenção de água no solo, considerado como um valor médio de $1,3 \text{ mm.cm}^{-1}$, baseado nos valores de CAD utilizados no trabalho de SANTOS (2018), e o comprimento radicular das FCT, considerado como 150 cm, o qual foi obtido pela média dos valores encontrados na literatura. Assim, o valor adotado de CAD foi de 195 mm. Por fim, os limiares hídricos (e notas) foram definidos como: se $\text{DEF} < \text{CAD}$ (195 mm) então $N=1$ e a área pode ser considerada apta; se $\text{CAD} < \text{DEF} \leq \text{CAD} + 25$ (220 mm) então $N=2$ e a área é regular; e, se $\text{DEF} > 220$ mm, então $N=3$ e a área pode ser considerada inapta ao cultivo das principais FCT. O acréscimo de +25 mm excedente no $N=2$ foi baseado nas recomendações de SANTOS et al. (2017b) para o BHC em escala regional de culturas perenes.

Os limiares térmicos foram definidos pelo NHF anual (NHFa) obtido pelo somatório do NHF diário (NHFd) calculado pelo método de Pola e Angelocci (1993), considerado o método mais viável para computar o NHF para qualquer limiar de T_b (SANTOS et al., 2017a). Esse método consiste em duas fases: i) reconstrução da curva diária de temperatura do ar através de funções senoidais de resfriamento e aquecimento; ii) obtenção dos valores

de NHFd. O NHFd foi obtido para o período compreendido entre 15 de maio a 15 de setembro de cada ano, por compreenderem os meses em que há acúmulo de frio na região de estudo (SANTOS, 2018).

Neste estudo, o NHFd foi calculado para os limiares de $T_b = 7^\circ\text{C}$ para as FCT mais exigentes em frio, e $T_b = 13^\circ\text{C}$ para as FCT menos exigentes em frio; SANTOS, 2018; MARTINS et al., 2020). Para a escolha dos limiares de NHFa utilizados no ZA foi realizada uma revisão na literatura sobre os NHF médios exigidos pelas FCT, e baseados nas principais FCT cultivadas nos estados (caqui, figo, maçã, marmelo, noz, pera, pêssego, oliveira, uva).

Considerando a ampla gama de requerimento em frio entre as FCT (SANTOS, 2018; FRAGA et al., 2019; MARTINS et al., 2020; RODRÍGUEZ et al., 2021), assim como as metodologias e o número de horas de requerimento, três limiares (e notas) foram estabelecidos: se $\text{NHFa} \geq 300$ horas (considerando as $T_b = 7^\circ\text{C}$ e 13°C) então $N=1$ e a área pode ser considerada apta; se $150 < \text{NHFa} \leq 300$ horas (considerando as $T_b = 7^\circ\text{C}$ e 13°C) então $N=2$ e a área é regular; e, se $\text{NHFa} < 150$ horas (considerando as $T_b = 7^\circ\text{C}$ e 13°C), então $N=3$ e a área pode ser considerada inapta ao cultivo das principais FCT.

O impacto das projeções climáticas no ZA para as principais FCT foi analisado em duas etapas: i) considerando as mudanças nas variáveis P (mm.ano^{-1}), T_{min} ($^\circ\text{C}$), T_{max} ($^\circ\text{C}$), DEF (mm.ano^{-1}) e NHFa (horas ano^{-1}), que mais impactam os cultivos das FCT (TANASIJEVIC et al., 2014; FRAGA et al., 2019; MARTINS et al., 2020; RODRÍGUEZ et al., 2021); e, ii) considerando alterações nas classes de aptidão. Na etapa i, o termo ‘mudanças’ refere-se à diferença entre os valores médios das variáveis projetadas no FP e FD (ambos para o SSP2-4.5 e SSP5-8.5) e o respectivo valor médio para o PP. Na etapa ii, foi gerado o padrão espacial da porcentagem de ZA e as classes de aptidão climática para o PP, FP e FD (SSP2-4.5, e SSP5-8.5). As análises de ambas etapas (i e ii) foram realizadas utilizando o *ensemble* de todos os MCG, a fim de reduzir possíveis incertezas geradas individualmente por cada MCG, seguindo as recomendações de Martins et al. (2022).

Resultados e discussão

Os MCG apresentaram uma boa representação da variabilidade climática das estações, caracterizada pelo verão quente e úmido e inverno frio e seco (REBOITA et al., 2018), entretanto devido a subestimativa (superestimativa) da T_{max} (T_{min}) foi necessário aplicar uma correção nos valores. Em relação a projeção dos valores, há um aumento projetado de temperatura de $\sim +5^\circ\text{C}$ para a região e de precipitação de até $+60 \text{ mm.ano}^{-1}$

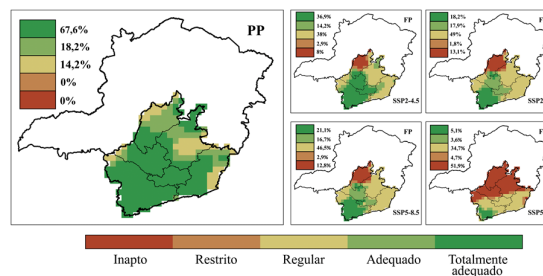
¹ para as porções mais ao sul.

A deficiência hídrica demonstrou baixos valores relativos ao PP, mas se intensifica nas regiões mais centrais no FD atingindo valores de até +300 mm, e com pouca ou nenhuma alteração mais ao sul da região. O que pode ser explicado pelo aumento da taxa de evapotranspiração das culturas (SANTOS et al., 2017b).

Para o NHFa, não foram simulados valores relativos a Tb de 7°C, portanto o posterior ZA não apresentou aptidão ao cultivo das culturas mais exigentes. Para o NHFa da Tb de 13 °C os maiores acumulados ($\geq 1200h$) se concentraram nas regiões de maiores altitudes no sul Sul/Sudoeste de MG diminuindo gradativamente em relação as regiões centrais, no FD devido ao aumento projetado da temperatura há uma diminuição na quantidade de NHFa, restringindo limiares térmicos da aptidão apenas a região Sul/Sudoeste.

No ZA considerando o NHFa relativo a Tb de 7°C devido aos baixos ou nenhum valor encontrado, foi levado apenas o balanço hídrico em consideração, desse modo encontraram-se apenas regiões regulares para o PP que decrescem no FD no SSP2-4.5 (85%) e SSP5-8.5(43,4%), seguidos do aumento das áreas inaptas para 13,2% e 51,9% respectivamente. Para o ZA realizado para cultivares de menor exigência (Tb = 13 °C, Figura 2), no PP a simulação de NHF apresentou valores expressivos na maior parte da região. Desse modo, as regiões no PP totalmente adequadas representam cerca de 67,5% (115625 Km²), aptas 18,2% (31250 Km²), e regulares 14,2% (24375 Km²); no FP no cenário SSP2-4.5 esses totais de decaem para 36,9% de áreas totalmente adequadas e 14,2% para áreas aptas, enquanto ocorre aumento das regiões regulares para 38%, das restritas para 2,9% e das inaptas para 8%. Para o FD as áreas totalmente adequadas e adequadas juntas representam apenas 36,1% da região, já no FD do cenário pessimista (SSP5-8.5), as regiões totalmente adequadas representam apenas 5,1% da região, as áreas aptas 3,6% regulares 34,7%, restritas 4,7% e inaptas 51,9%. O que mostra que de acordo com a base de dados e metodologia utilizada para o FD apenas FCT de menor exigência (Tb=13°C) poderão ser cultivadas em uma área limitadas as mesorregiões Oeste de Minas, Campo das vertentes e Sul/Sudoeste de Minas no cenário intermediário (SSP2-4.5) de mudanças climáticas, já no cenário pessimista (SSP5-8.5) apenas o extremo sul do Sul/Sudoeste apresentará condições para cultivo dessa cultura.

Figura 1 - Distribuição das áreas de aptidão climática ao cultivo das FCT de menor exigência em frio (Tb = 13°C) na região centro-sul de Minas Gerais para o PP, FP e FD



Fonte: Autoria Própria

Conclusões

As variáveis do CMIP6 apresentaram um bom desempenho da variabilidade climática da região, entretanto os valores podem necessitar de correção devido ao alto enviesamento.

Sobre o ZA, poderão ser cultivadas apenas FCT de menor exigência na região, onde no FD do cenário intermediário (SSP2-4.5) o cultivo restringe-se apenas para parte do Oeste de Minas, Sul/Sudoeste de Minas e Campo das vertentes, e no cenário pessimista (SSP5-8.5) exclusivamente para o extremo sul da região Sul/Sudoeste de Minas.

Agradecimento

Os autores agradecem ao CNPq pela oportunidade e pelo auxílio financeiro cedido.

Referências

- ANDRESEN, J. A.; BAULE, W. J. Perennial Systems (Temperate Fruit Trees and Grapes). **Agroclimatology: Linking Agriculture to Climate**, v. 60, p. 425-452, 2020.
- DOURADO-NETO, D.; de JONG van Lier, Q.; METSELAAR K.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D. R. General procedure to initialize the cyclic soil water balance by the Thornthwaite and Mather method. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 1, p. 87-95, 2010.
- FACHINELLO, J. C.; PASA, M. d. S.; SCHMITZ, J. D.; BETEMPS, D. L. Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. spe1, p. 109-120, 2011.
- FRAGA, H.; PINTO, J. G.; SANTOS, J. A. Climate change projections for chilling and heat forcing conditions in European vineyards and olive orchards: A multi-model assessment. **Climatic Change**, v. 152, n. 1, p. 179-193, 2019.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Plano Agrícola Municipal (2020)**. Disponível em: < www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=destaques /> Acesso em: 10 de abril de 2022.

- LENDERINK, G.; BUISSHAND, A.; VAN DEURSEN, W. Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 3, p. 1145-1159, 2007.
- 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, p. 80-97, 2014.
- MARTINS, F. B.; PEREIRA, R. A. A.; TORRES, R. R.; SANTOS, D. F. Climate projections of chill hours and implications for olive cultivation in Minas Gerais, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, n. 01852, p. 1-11, 2020.
- MARTINS, F. B.; BENASSI, R. B.; TORRES, R. R.; NETO, F. A. B. Impacts of 1.5° C and 2° C global warming on Eucalyptus plantations in South America. **Science of The Total Environment**, v. 825, n.º. 153820, p.1-10, 2022.
- O'NEILL, B. C.; TEBALDIL, C.; Van VUUREN, D. P.; EYRING V.; FRIEDLINGSTEIN, P.; HURTT G.; KNUTTI R.; KRIEGLER E. 8, LAMARQUE J-F., LOWE J.; MEEH G. A.; MOSS R.; RIAHI K.; SANDERSON B. M. The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. **Geoscientific Model Development**, v. 9, n. 9, p. 3461-3482, 2016.
- ORTEGA, G.; ARIAS, P. A.; VILLEGAS, J. C.; MARQUET, P. A.; NOBRE, P. Present-day and future climate over central and South America according to CMIP5/CMIP6 models. **International Journal of Climatology**, v. 41, n. 15, p. 6713-6735, 2021.
- PEREIRA, A. R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005.
- POLA, A. C.; ANGELOCCI, L. R. Avaliação de modelos de estimativa do número diário de "horas de frio" para o estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.1, n. 1, p. 105-116, 1993.
- REBOITA, M. S.; MARRAFON, V. H. A.; LLOPART, M.; DA ROCHA, R. P. CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS PROJETADOS PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais, p. 110-128, 2018.
- REETZ, E. R.; KIST, B. B.; CARVALHO, C. BELING, R. R. **Anuário brasileiro de Horti&Fruti 2022**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2022. 96p
- RODRÍGUEZ, A.; PÉREZ-LÓPEZ, D; CENTENO, A.; RUIZ- RAMOS, M. Viability of temperate fruit tree varieties in Spain under climate change according to chilling accumulation. **Agricultural Systems**, v. 186, p. 1-13, 2021
- SANTOS, D. F.; LEITE, R. R. M.; MARTINS, F. B. Avaliação dos métodos de estimativa de número de horas frio para o sul e sudoeste do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.21, p.401-416, 2017a.
- SANTOS, D. F.; MARTINS, F. B.; TORRES, R. R. Impacts of climate projections on water balance and implications on olive crop in Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.2, p.77-82, 2017b.
- SANTOS, DIEGO FELIPE DOS. **Impacto das mudanças climáticas no zoneamento de aptidão climática para as principais frutíferas de clima temperado nas regiões Sul e Sudeste do Brasil**. 2018. 118 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018
- TANASIJEVIC, L.; TODOROVIC, M.; PEREIRA, L. S., PIZZIGALLI, C., LIONELLO, P. Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. **Agricultural Water Management**, v. 144, p. 54-68, 2014.
- TAVARES, P. S.; GIAROLLA, A.; CHOU, S. C.; SILVA, A. J. D.; LYRA, A.A. Climate change impact on the potential yield of Arabica coffee in southeast Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 3, p. 873-883, 2018.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, N. J.: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, v. 8, n. 1)
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance**. Centerton, N. J.: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1957. 311p. (Publications in Climatology, v. 10, n. 3)
- XAVIER, A. C.; KING, CAREY W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016.
- WILLMOTT, C. J.; ROWE, C. M.; MINTZ, Y. Climatology of the terrestrial seasonal water cycle. **Journal of Climatology**, v. 5, n. 6, p. 589-606, 1985.