

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO CICLO DE DESENVOLVIMENTO DA BATATA CULTIVAR ASTERIX EM MARIA DA FÉ – MINAS GERAIS

Flávia Fernanda Azevedo Fagundes¹
Ivana Riêra Pereira Bastos¹
Iara Stéfani Carneiro da Silva²
Isis da Rocha Plum Ferreira²
Marília Freitas de Oliveira²
Fabrina Bolzan Martins³

Mudanças Climáticas

Resumo

A temperatura do ar e o fotoperíodo são as variáveis chaves no desenvolvimento da batata. Mesmo sem mudanças no fotoperíodo, os aumentos projetados de temperatura do ar ao longo do século XXI poderão influenciar negativamente a batata, sendo importante avaliar os impactos das mudanças climáticas no ciclo de desenvolvimento. O objetivo desse trabalho foi avaliar os possíveis impactos do aumento de temperatura, associado ao fotoperíodo, na duração das fases de desenvolvimento da batata, cv. Asterix para Maria da Fé, Minas Gerais. Foram utilizados dados diários de temperatura média do ar (T) do modelo climático do sistema terrestre - Ec-Earth3 - integrante do *Coupled Model Intercomparison Projects Phase 6* (CMIP6) em dois cenários socioeconômicos (SSP2-4.5 e SSP5-8.5). Esses dados foram inseridos nas funções resposta à temperatura do ar e fotoperíodo do modelo de desenvolvimento da batata. Com isso, foi possível simular a taxa de desenvolvimento da batata para o clima presente (CP=1995-2014) e projetar para o futuro distante (FD=2071-2100). Os aumentos projetados de até $\sim +4,1^{\circ}\text{C}$ (SSP5-8.5), afetarão a duração das fases de desenvolvimento: vegetativo, tuberização e senescência, com aumentos entre 9 dias (SSP2-4.5) e 26 dias (SSP5-8.5) na fase vegetativa. Medidas adaptativas como alteração da data de semeadura e melhoria do sistema de plantio serão necessárias para manter a viabilidade da produção de batata cv. Asterix em Maria da Fé no FD.

Palavras-chave: Temperatura média do ar; fotoperíodo; Wang e Engel; cenários socioeconômicos; taxa de desenvolvimento.

¹Mestrandas do programa de pós-graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, flaviaffag@gmail.com, ivanariera@unifei.edu.br.

²Alunas de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, iarascsilva91@gmail.com, isisferreira85@gmail.com, d2019012402@unifei.edu.br.

³Profa. Associada. Dra. Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, fabrina@unifei.edu.br.

INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é considerada a terceira cultura mais consumida no mundo (STRECK et al., 2006; BISOGNIN e STRECK, 2009; RAYMUNDO et al., 2018), atrás apenas do arroz e trigo (EMBRAPA, 2021). É nativa da região da Cordilheira dos Andes (BISOGNIN e STRECK, 2009; ALVES et al., 2021) e possuem tubérculos ricos em calorias, sendo utilizada como rápida fonte de energia (ALVES et al., 2021). No Brasil, os estados de Minas Gerais e São Paulo são os maiores produtores (SEAPA, 2022).

Dentre as cultivares de batata, a cv. Asterix possui ciclo médio (STRECK et al., 2006) (~80 dias), necessita de fotoperíodo curtos para desenvolvimento vegetativo, e longos (>10,7 horas) para o desenvolvimento reprodutivo, e temperaturas diurnas amenas (entre 15°C a 20°C) (FAGUNDES et al., 2010a; DAHAL et al., 2019). Portanto, os aumentos projetados de temperatura ao longo do século XXI em torno de +5°C para Minas Gerais (SANTOS et al., 2017; FLORENCIO et al., 2019; MARTINS et al., 2020; FAGUNDES et al., 2021; REIS et al., 2021) podem trazer ameaças ao desenvolvimento da batata, uma vez que pode haver a redução da fotossíntese e aumento da fotorrespiração (FAGUNDES et al., 2010ab; DAHAL et al., 2019; FLORENCIO et al., 2019; REIS et al., 2021; FAGUNDES et al., 2021).

Para avaliar os impactos das mudanças climáticas na batata saídas dos modelos do sistema terrestre (ESMs) são aplicados em modelos de desenvolvimento. Os ESMs do conjunto *Coupled Model Intercomparison Project Phase 6* (CMIP6) constituem a nova geração de Modelos Climáticos Globais (MCG) combinando os cenários socioeconômicos, do inglês *Shared Socioeconomic Pathways* (SSPs), com os cenários de forçantes radiativas, do inglês *Representative Concentration Pathways* (RCPs). A nova geração dos ESMs do CMIP6 compreende melhor as respostas do sistema terrestre em relação aos forçamentos antropogênicos (RIAHI et al. 2017). Ou seja, as saídas dos ESMs do CMIP6, quando aplicadas nos modelos de desenvolvimentos, projetam a dinâmica do desenvolvimento e fornecem a taxa diária de desenvolvimento e a duração das fases de desenvolvimento (RAYMUNDO et al., 2018; REIS et al., 2021; FAGUNDES et al.,

Realização

Apoio

2021).

Estudos dessa natureza foram realizados para culturas agrícolas como: arroz (STRECK et al., 2013), mandioca (TIRONI et al., 2017), milho (MARTINS et al., 2019), soja (SOUZA et al., 2018), café (TAVARES et al., 2017), oliveira (SANTOS et al., 2017; FLORENCIO et al., 2019). No caso da batata, os estudos realizados possuem desvantagens, pois utilizam aumentos sintéticos da temperatura do ar (STRECK et al., 2006; FAGUNDES et al., 2010b), ao invés de utilizar dados provenientes de ESMs. Tal desvantagem gera informações viesadas e não realísticas do ponto de vista biológico. Além disso, este tipo de estudo é escasso para Minas Gerais, especialmente para Maria da Fé, que apresenta destaque na produção do tubérculo, com rendimento médio de 23556 kg/ha (IBGE, 2020). Com isso, o objetivo desse trabalho é identificar os possíveis impactos do aumento projetados da temperatura na duração das fases de desenvolvimento da batata cv. Asterix para Maria da Fé, localizada no sul de Minas Gerais.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado para Maria da Fé, Minas Gerais, localizada no sul de Minas Gerais (22° 18' 29"S, 45° 22' 31"W, 1.276m de altitude). O clima da região, de acordo com a classificação de Koppen, é a Cwb, caracterizado por invernos frios e secos e verões chuvoso (FLORENCIO et al., 2019).

O modelo desenvolvimento utilizado foi o de Wang e Engel (1998) (WE) que simula o ciclo de desenvolvimento da batata por funções multiplicativas que incluem: taxa de desenvolvimento (r), função de temperatura ($f(T)$) e função de fotoperíodo ($f(P)$), que são diferenciadas para cada fase de desenvolvimento. A batata possui três fases, sendo: fase vegetativa (primeira fase) que engloba os estágios de emergência (EM) e início da tuberização (IT); a fase de tuberização (segunda fase) que engloba o IT e o início da senescência (IS); e a fase de senescência (terceira fase) que engloba IS à colheita (CO) (STRECK et al., 2006) (Figura 1).

Realização

Apoio

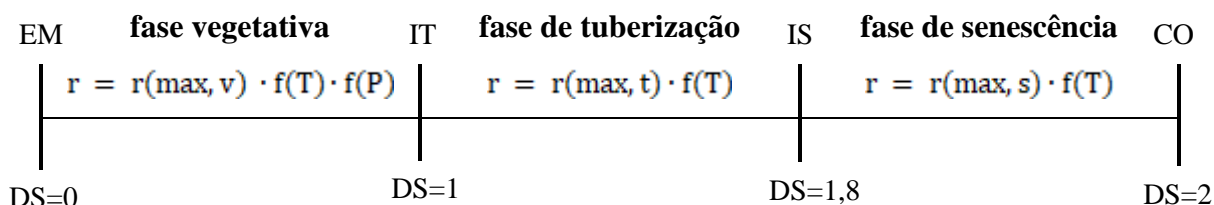


Figura 1: Representação esquemática do ciclo de desenvolvimento da batata e do modelo de desenvolvimento. Estágios: EM= emergência, IT= início da tuberização, IS= início da senescência e CO= colheita.

O modelo de WE calcula a taxa diária de desenvolvimento para cada fase (vegetativa, tuberização e senescência) da planta (r), que integrada no tempo, fornece a o estágio de desenvolvimento (DS) em que a planta se encontra, ou seja, $DS = \sum r$. O DS = 0 na EM, DS = 1 no IT, DS = 1,8 no IS, e DS = 2 na CO (Figura 1). As funções utilizadas em cada fase são (WANG e ENGEL, 1998; STRECK et al., 2006; FAGUNDES et al., 2010a):

Fase vegetativa (EM – IT):

$$r = r(\max, v) \cdot f(T) \cdot f(P) \quad (1)$$

Fase de tuberização (IT - IS):

$$r = r(\max, t) \cdot f(T) \quad (2)$$

Fase de senescência (IS – CO):

$$r = r(\max, s) \cdot f(T) \quad (3)$$

Em que: r = taxa diária de desenvolvimento (dia^{-1}); $r(\max, v)$ = taxa máxima diária de desenvolvimento para a fase vegetativa; $r(\max, t)$ = taxa máxima diária de desenvolvimento para a fase de tuberização; $r(\max, s)$ = taxa máxima diária de desenvolvimento para a fase de senescência; $f(T)$ = função resposta à temperatura (equações 4 e 5); $f(P)$ = função resposta ao fotoperíodo (equação 6).

A função resposta à temperatura $f(T)$ é dada pela função beta (FAGUNDES et al., 2021):

$$f(t) = \begin{cases} 0, & \text{se } T < T_b \text{ ou } T > T_B \\ \frac{[2(T-T_b)^\alpha \cdot (T_{ot}-T_b)^\alpha - (T-T_b)^{2\alpha}]}{(T_{ot}-T_b)^{2\alpha}}, & \text{se } T_b \leq T \leq T_B \end{cases} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{\ln 2}{\ln \left[\frac{(T_B - T_b)}{(T_{ot} - T_b)} \right]} \quad (5)$$

Em que: T= temperatura média do ar (°C), Tb= temperatura basal inferior, Tot= temperatura ótima, TB= temperatura basal superior, que assumem valores diferentes para cada fase, sendo Tb = 4°C, Tot = 15°C e TB = 28°C para a fase vegetativa e senescência, e Tb = 7°C, Tot = 21°C e TB = 30°C para a fase de tuberização (PAULA, 2005; STRECK et al., 2006). Já a função de resposta ao fotoperíodo f(P) é dada por (STRECK et al., 2006):

$$f(P) = \exp[-\omega(P - P_c)] \quad (6)$$

Em que: ω = coeficiente de sensibilidade ao fotoperíodo (h^{-1}); P= o fotoperíodo (h); P_c= fotoperíodo crítico (h). O ω = 0,0645 h^{-1} e P_c= 10,7h (PAULA, 2005; STRECK et al., 2006).

O fotoperíodo (P) é dado por (FREITAS e MARTINS, 2019):

$$P = 0,1333 \cdot \arccos[-1 \cdot (\operatorname{tg}\phi \cdot \operatorname{tg}\delta)] \quad (7)$$

Em que: ϕ = latitude (radianos); δ = declinação, sendo dada por $\delta = 23,45^\circ \cdot \operatorname{sen}[360^\circ (284 + NDA)/365]$, em que NDA = número do dia do ano (1 a 365).

O ciclo de desenvolvimento da batata foi simulado para o clima presente (CP=1995-2014) e projetado para o futuro distante (FD=2071-2100) desde i=EM (DS=0) até n=CO (DS=2). A data de início (i=EM) das simulações e projeções foi considerado o dia 15 de outubro, que se refere a data média da melhor época de plantio da batata em Maria da Fé.

Foram utilizados dados diários de temperatura média do ar (T) do ESM - EC-Earth3 (resolução 5,1° x 2,5° latitude/longitude) – provenientes do CMIP6, disponibilizados por *Earth System Grid Federation* (ESGF) (<https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6>). Os dados de T foram extraídos para o ponto de grade mais próximo à Maria da Fé. Foram utilizados dois cenários socioeconômicos (SSPs): o SSP2-4.5, que apresenta desafios de adaptação e mitigação intermediários, e o SSP5-8.5, que apresenta grandes desafios à mitigação combinados com baixos desafios à adaptação (RIAHI et al., 2017).

Os dados de T foram inseridos nas f(T) do modelo de WE em cada uma das três fases de desenvolvimento (equações 1, 2 e 3).

Realização

Apoio

Para avaliar o impacto das projeções de T foi contabilizada a duração, em dias, das fases vegetativa (EM-IT), tuberização (IT-IS), senescência (IS-CO) e duração total do ciclo no CP (1995-2014) e FD (2071-2100) nos SSP2-4.5 e SSP5-8.5.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As projeções indicam um aumento gradual e contínuo da T para Maria da Fé ao longo do século XXI (Figura 2), sendo mais intenso no SSP5.8-5 (4,1°C) comparado ao SSP2.4-5 (2,1°C). Aumentos entre 3°C a 4°C foram encontrados por Florêncio et al., (2019) com projeções de múltiplos modelos globais do CMIP5 para Maria da Fé. Isso demonstra que o modelo utilizado neste estudo (EC-Earth3) proveniente da nova geração de modelos climáticos do CMIP6 captou adequadamente a variação temporal de T gerada por múltiplos ESMs do CMIP5. Além disso, se assemelha aos valores encontrados por Alves et al. (2020), Fagundes et al. (2021) e Reis et al. (2021) para a região sul de Minas Gerais.

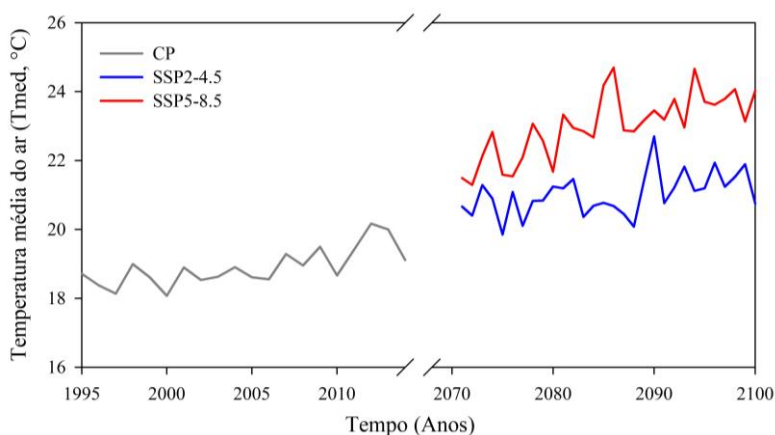


Figura 2: Variação temporal simulada (CP=1980-2004) e projetada (FD=2071-2100) da temperatura média do ar para Maria da Fé obtidas pelo modelo EC-Earth3 do CMIP6 em dois cenários socioeconômicos (SSP2.4-5 e SSP5.8-5).

Os aumentos projetados da T refletiram em redução na taxa de desenvolvimento nas três fases: vegetativa, tuberização e senescência (Figura 3), repercutindo no aumento da duração (em dias) de cada fase, assim como na duração total do ciclo (entre EM e CO) (Tabela 1). Isso demonstra que a $f(T)$ do modelo Wang e Engel conseguiu captar as

variações do desenvolvimento com a inserção das projeções de T do ESM - EC-Earth3, o que é ideal para esse tipo de estudo (FAGUNDES et al., 2021; REIS et al., 2021).

Tabela 1: Duração (em dias) das fases de desenvolvimento emergência (EM-IT), tuberização (IT-IS), senescência (IS-CO) e duração total do ciclo (EM-CO) da batata em Maria da Fé simulada para o clima presente (1995-2014) e projetada para o futuro distante (2071-2100) nos dois cenários socioeconômicos (SSP2-4.5 e SSP5-8.5).

Ciclo da Batata	Duração (dias)		Diferença (dias)	Duração (dias)		Diferença (dias)
	CP	SSP2-4.5	SSP2-4.5 - CP	SSP5-8.5	SSP5-8.5 - CP	
Fase Vegetativa	18	27	9	44	26	
Fase de Tuberização	32	32	0	36	4	
Fase de Senescência	20	26	6	33	13	
Ciclo total	70	84	14	112	42	

A fase mais impactada pelas projeções de aumento da T entre $\sim 2,1^{\circ}\text{C}$ e $\sim 4,1^{\circ}\text{C}$ foi a emergência, com o aumento entre 9 (SSP2-4.5) a 26 dias (SSP5-8.5) entre EM-IT (Figura 3A) (Tabela 1). A fase de tuberização (IT-IS) (Figura 3B) foi a menos impactada pelas projeções de T, com nenhum aumento na duração no cenário mais brando (SSP2-4.5) e de 4 dias no cenário mais intenso (SSP5-8.5) (Tabela 1). A fase de senescência (IS-CO) foi moderadamente impactada, com um aumento de 6 dias (SSP2-4.5) e 13 dias (SSP5-8.5) (Tabela 1). Um aumento na duração de todas as fases, sendo mais intenso (brando) em EM-IT (IT-IS), acarretou no aumento na duração total do ciclo (EM-CO) de desenvolvimento da batata (Figura 3D) entre 14 dias no cenário mais brando (SSP2-4.5) e 42 dias no cenário mais intenso (SSP5-8.5). Esse aumento refere-se ao FD e ocorre principalmente devido aos aumentos mais intensos projetados para a fase EM-IT (Tabela 1).

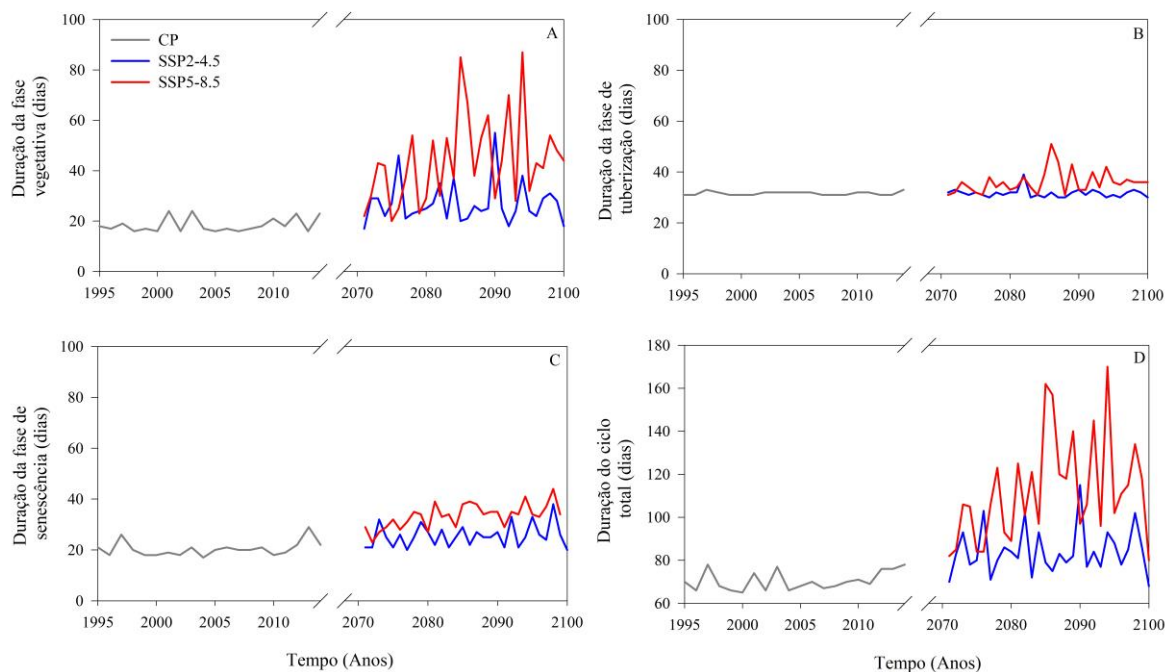


Figura 3: Variação temporal da duração, em dias, simulada para o clima presente (1995-2014) e projetadas para o futuro distante (2071-2100) nos dois cenários socioeconômicos (SSP2-4.5 e SSP5-8.5) para as fases de desenvolvimento da batata: vegetativa (painel A), tuberização (painel B), (C) e ciclo total (painel D).

O maior alongamento da fase EM-IT (entre 9 e 26 dias) pode ser explicado pelo aumento da ocorrência de valores diários de T acima da Tot (15°C). Justamente na fase vegetativa, que ocorre entre 15 de outubro a 02 de novembro, são projetados os maiores aumentos de temperatura do ar (de até 6°C) (FLORÊNCIO et al., 2019; ALVES et al., 2020), fazendo com que a batata se desenvolva em temperaturas supra-ótimas (STRECK et al., 2006; FAGUNDES et al., 2021). Tais modificações no ciclo da batata devido as projeções de T podem trazer consequências para o processo fisiológico e para o manejo da cultura (FAGUNDES et al., 2010).

O aumento da duração da fase EM-IT poderá impactar em maior transpiração (e evapotranspiração), devido a maior emissão de folhas, e aumento do déficit hídrico (STRECK et al., 2006). Ou seja, o aumento da duração de EM-IT é prejudicial à batata, que sofrerá ainda mais com o déficit hídrico. Com relação ao manejo, o alongamento da fase EM-IT poderá alterar a data ideal para aplicação de nitrogênio de cobertura, qual é

recomendado para ser aplicado no IT (STREK et al., 2006).

Na fase de tuberização (IT-IS) os compostos resultantes da fotossíntese são utilizados para o crescimento dos tubérculos, que ocorre nas extremidades dos estolões, assim, quanto maior a fase IT-IS, maior é o rendimento dos tubérculos (STREK et al., 2006). Entretanto, o atraso no início da tuberização pode causar redução na partição de fotoassimilados para os tubérculos, além de reduzir a qualidade dos tubérculos, sendo causadas por deformações nos tubérculos, como embonecamento, coração oco, rachaduras, crescimento secundário, malformações e necroses (BISOGIN e STRECK, 2009; FAGUNDES et al., 2010a; DAHAL et al., 2019).

O aumento da duração da fase de senescência (IS-CO) possivelmente reduzirá o rendimento dos tubérculos (BISOGIN e STRECK, 2009; FAGUNDES et al., 2010a; ALVES et al., 2020). Mesmo que haja um aumento no tempo em que os compostos resultantes da fotossíntese sejam transportados para os tubérculos (STRECK et al., 2006), o maior tempo em que os tubérculos permanecem abaixo do solo (devido ao alongamento entre IS-CO), pode gerar apodrecimento dos tubérculos, e conseqüentemente redução do rendimento (FAGUNDES et al. 2010).

Por fim, o aumento do ciclo total (EM-CO) no FD, especialmente no cenário SSP5-8.5, poderá alterar a data de colheita da batata em Maria da Fé. No CP, a data de colheita é entre os dias 20 e 30 de dezembro, no FD será entre os dias 09 de janeiro a 25 de fevereiro. Com essa alteração nos meses de colheita, devido a maior frequência de dias chuvosos em janeiro e fevereiro, ocorre saturação do solo, que, aliada a menor demanda evaporativa, pode reduzir a transpiração e, conseqüentemente, a entrada de CO₂ para a realização da fotossíntese, diminuindo a produção de fotoassimilados (BISOGIN e STRECK, 2009; ALVES et al., 2020). Com isso, os tubérculos poderão apresentar menores tamanhos e não atingir tamanho ideal para comercialização (BISOGIN e STRECK, 2009; ALVES et al., 2020).

No futuro distante, algumas medidas adaptativas deverão ser tomadas para manter a produção de batata em Maria da Fé. Entre elas estão: a antecipação da data de plantio (FAGUNDES et al., 2010ab), uso de cultivares mais resistentes ao aumento da temperatura do ar, como cv. Atlantic (FAGUNDES et al., 2010a; RAYMUNDO et al.,

Realização

Apoio

2018), alteradas as práticas de manejo da cultura e aplicação de fungicidas e inseticidas.

CONCLUSÕES

O aumento projetado da temperatura do ar ao longo do século XXI (~2,1°C a ~4,1°C) irá modificar a taxa de desenvolvimento e a duração das fases de desenvolvimento da batata cv. Asterix em Maria da Fé.

Será necessário adiantar a data de plantio, para que a batata atinja o período de colheita antes dos meses de janeiro e fevereiro. Além disso, o uso de cultivares mais resistentes ao aumento de temperatura do ar e a aplicação de fungicidas e inseticidas deverão ser estratégias adotadas para a batata.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), referente ao Projeto APQ 01258-17, pelo apoio financeiro, e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, processo número 88887.613734/2021-00 e 88887.613722/2021-00) pelas bolsas concedidas ao primeiro e segundo autores.

REFERÊNCIAS

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, p.712-732, 2020.

ALVES, F.; FERREIRA, M.; NICK, C. **A cultura**. Disponível em: <<https://design.jet.com.br/editoraufv/documentos/Batata%20do%20plantio%20%C3%A0%20colheita.pdf>> Acesso em: 08 de junho de 2021

BAHUGUNA, R. N.; JAGADISH, K. S. V. Temperature regulation of plant phenological development. **Environmental and Experimental Botany**, v.111, p.83-90, 2015.

BISOGNIN, D. A.; STRECK, N. A. Desenvolvimento e manejo das plantas para alta produtividade e qualidade da batata. Itapetininga: Associação Brasileira da Batata. 2009, 30 p. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/fitotecnia/images/Batata.pdf>> Acesso em: 08 de junho de 2022.

Realização

Apoio

DAHAL, K.; LI, X. Q.; TAI, H.; CREELMAN, A.; BIZIMUNGU, B. Improving Potato Stress Tolerance and Tuber Yield Under a Climate Change Scenario – A Current Overview. **Frontiers in Plant Science**, v.10, n.563, p.1-16, 2019.

EMBRAPA Hortaliças. **Batata**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalica-nao-e-so-salada/batata>> Acesso em: 17 de junho de 2021

FAGUNDES, F. F. A.; REIS, F. Y. Da S.; MARTINS, F. B. A model for predicting the initial development of two native forest species under current and future climates. **Environmental and Experimental Botany**, v.192, 104662, 2021.

FAGUNDES, J. D.; De PAULA, G. M.; LAGO, I.; STRECK, N. A.; BISOGNIN, D. A. Aquecimento global: efeitos no crescimento, no desenvolvimento e na produtividade da batata. **Ciência Rural**, v. 40, p. 1464-1472, 2010a.

FAGUNDES, J.D.; STRECK, N.A.; BISOGNIN, D.A.; SCHWANTES, A.P.; ALBERTO, C.M. Produtividade simulada de tubérculos de batata em cenários de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.4, p. 351-360, 2010b.

FREITAS, C.H.; MARTINS, F.B. Thermal requirements and photoperiod influence in the leaf development of two forest species. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 4, e20190013, 2019.

FLORENCIO, G. W. L.; MARTINS, F. B.; FERREIRA, M. C.; PEREIRA, R. A. A. Impacts of climatic changes on the vegetative development of olive crops in Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n. 9, p.641-647, 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola Municipal - 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=o-que-e>> Acesso em: 13 de junho de 2022.

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, p.e01852, 2020.

MARTINS, M. A.; TOMASELLA, J.; DIAS, C. G. Maize yield under a changing climate in the Brazilian Northeast: Impacts and adaptation. **Agricultural Water Management**, v.216, p.339-350, 2019.

PAULA, F.L.M. **Modelagem do desenvolvimento da batata (*Solanum tuberosum* L.) a campo**. Santa Maria, 2005. 42p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

RAYMUNDO, R.; ASSENG, S.; ROBERTSON, R.; PETSAKOS, A.; HOOGENBOOM, G.; QUIROZ, R.; HAREAU, G.; WOLF, J. Climate change impact on global potato production. **European Journal of Agronomy**, v.100, p.87-98, 2018.

REIS, F. Y. S.; MARTINS, F. B.; TORRES, R. R.; FLORENCO, G. W. L.; CASSEMIRO, J. M.; MONTEIRO, V. F. C.; FERREIRA, M. C. Climate change impact on the initial development of

Realização

Apoio

tropical forest species: a multi-model assessment. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 1, p. 1-15, 2021.

RIahi, K.; VUUREN, D. P. V.; KRIEGLER, E.; EDMONDS, J.; O'NEILL, B. C.; FUJIMORI, S.; BAUER, N.; CALVIN, K.; DELLINK, R.; FRICKO, O.; LUTZ, W.; POPP, A.; CAURESMA, J. C.; EMMERLING, J.; EBI, K.; HASEGAWA, T.; HAVLIK, P.; HUMPENODER, F.; DA SILVA, L. A.; SMITH, S.; STEHFEST, E.; BOSETTI, V.; EOM, J.; GERNAAT, D.; MASUI, T.; ROGELJ, J.; STREFLER, J.; DROUETI, L.; KREY, V.; LUDERER, G.; HARMSSEN, M.; TAKAHASHI, K.; BAUMSTARK, L.; DOELMAN, J. C.; KAINUMA, M.; KLIMONT, Z.; MARANGONI, G.; LOTZE-CAMPEN, H.; OBERSTEINER, M.; TABEAU, A.; TAYONI, M. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 153–168, 2017.

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, 2017.

SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO DE MINAS GERAIS (SEAPA). **Batata - Maio de 2022**. Disponível em: <[http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/Perfil_batata_abril_2022\[1\].pdf](http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/Perfil_batata_abril_2022[1].pdf)>. Acessado em: 16 de junho de 2022.

SOUZA, P. J. O.; SANTOS, C. D. M.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, E. C.; SANTOS, J. T. S. Impactos das mudanças climáticas na cultura da soja no nordeste do estado do Pará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, n.2, p.2454-2467, 2018.

STRECK, N. A.; LAGO, I.; ALBERTO, C. M.; BISOGNIN, D. B. Simulação do desenvolvimento da batata cultivar Asterix em cinco cenários de mudanças climáticas em Santa Maria, RS. **Bragantia**, v.65, n.4, p.693-702, 2006.

STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; GABRIEL, L. F. Leaf development of cultivated rice and weedy red rice under elevated temperature scenarios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.190-199, 2013.

TAVARES, P.S., GIAROLLA, A., CHOU, S.C., SILVA, A.J.P., LYRA, A.A., 2018. Climate change impact on the potential yield of Arabica coffee in southeast Brazil. **Regional Environmental Change**, v.18, n.3, p.873–883, 2018.

TIRONI, L.F.; STRECK, N.A.; SANTOS, A.T.L.; FREITAS, C.P.O.de; UHLMANN, L.O.; OLIVEIRA JÚNIOR, W.C.de; FERRAZ, S.E.T. Estimating cassava yield in future IPCC scenarios for the Rio Grande do Sul State, Brazil. **Ciência Rural**, v. 47, n. 2, p. 1-10, 2017.

WANG, E.; ENGEL, T. Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural Systems**, v.58, n.1, p.1-24, 1998.

Realização

Apoio