

ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO DO URUCUM (*Bixa orellana* L.) PARA O BRASIL EM CENÁRIOS DE MUDANÇA CLIMÁTICA DO CMIP6

Pedro Antonio Lorençone¹, Guilherme Botega Torsoni¹

¹Instituto Federal de Mato Grosso do Sul – Naviraí-MS

pedro.lorencone@estudante.ifms.edu.br, guilherme.torsoni@ifms.edu.br

Resumo

O objetivo desse trabalho foi realizar o zoneamento agroclimático do Urucum (*Bixa orellana* L.) para o Brasil no cenário atual e em cenários de mudança climática do CMIP6. Os dados de temperatura do ar e precipitação diária para o cenário atual foram coletados por meio da plataforma WorldClim version 2.1 para a última normal climatológica em formato GeoTiff. As variáveis climáticas futuras foram obtidas pela plataforma WorldClim 2.1, para o modelo IPSL-CM6A-LR, nos períodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100 e para os cenários SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP4-6.0, e SSP5-8.5. O zoneamento climático do Urucum para o cenário atual demonstrou 5 classes. A classe que mais predominou foi marginal por excesso hídrico (42,99%), seguida pela classe Apto (32,47%). As mudanças climáticas impactaram negativamente no zoneamento climático do urucum, em todos os cenários.

Palavras-chave: Temperatura do ar, precipitação pluvial, CMIP6, IPCC.

Introdução

O urucum (*Bixa orellana* L.) se destaca por possuir muitas utilidades para seus frutos, tornando-a uma cultura de grande procura e valor mundial (REGO; BRAND; COSTA, 2010). É muito comum encontrar o urucum sendo utilizado na indústria alimentícia, como fonte de “colorau”, um corante natural das sementes, que possui a capacidade de colorir alimentos, possuindo um baixo custo de produção e baixa toxicidade (ALMEIDA, 2016). Na medicina o urucum é amplamente reconhecido por suas diversas aplicações, como antibacteriano, antifúngico, antidiarreico e antiofídico (BRAGA et al., 2007; CÁCERES et al., 1995).

A cultura sofre grande influência do clima (LOPES; LIMA; MACEDO, 2008), se desenvolvendo bem a uma temperatura do ar de 22 e 27 ° C (SATYANARAYANA; PRABHAKARA RAO; RAO, 2003). O urucum cresce, floresce e produz frutas durante a maior parte do ano, e as condições são considerados ideais se a precipitação anual for bem distribuída e maior que 1200 mm, com fornecimento mensal de 100-150 mm (CASTRO et al., 1994). Em geral o urucum é planta resistente e altamente adaptável, capaz de crescer em uma variedade de climas (BRITO et al., 2015), mas as condições energéticas e hídricas fora da faixa ideal, limita o desenvolvimento de safras com bons rendimentos (DE SÁ JÚNIOR et al., 2012). A fenologia da cultura pode ser vista na figura 1

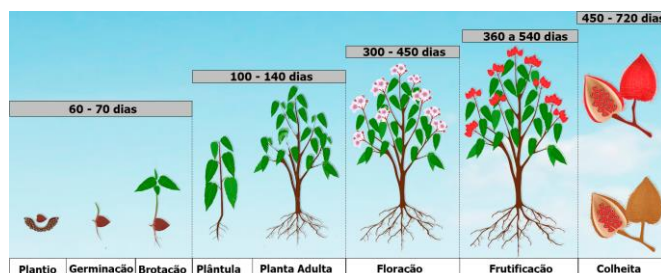


Figura 1. Fenologia da *Bixa orellana* L.

O aumento de gases de efeito estufa, com destaque para óxido nitroso, dióxido de carbono e ozônio, são as principais causas das alterações climáticas, principalmente para o aquecimento significativo que o mundo vem sofrendo (ALLEN et al., 1998). No último século, a temperatura global aumentou 1 °C (+0,2), as previsões para 2100 são de aumentos entre 1,5°C e 6 °C (ADEFISAN, 2018). O setor agrícola é um dos mais vulneráveis às mudanças climáticas, pois depende diretamente da temperatura e da precipitação (BAETHGEN; MEINKE; GIMENE, 2003). Dessa forma, alguns estudos apontam que a produção de alimento será impactada negativamente, ao mesmo tempo em que a população continua com seu crescimento (ABABAEI; NAJEEB, 2020).

Apesar da diversidade de trabalhos com a mesma temática, são poucos encontrados na literatura que realizam o Zoneamento agroclimático (ZAC) para o urucum no Brasil, um dos trabalhos que é referência para o urucum é o de (APARECIDO et al., 2017), que realizou o zoneamento de risco climático para o urucum no estado de Minas Gerais, demonstrando parte das regiões leste e norte do estado possuem aptidão climática para o cultivo do urucum, demonstrando que o estado possui potencial para a produção do urucum. Sendo que muitas regiões brasileiras podem apresentar aptidão ao cultivo do urucum (PEZZOPANE et al., 2010), e o ZAC é uma ferramenta para identificar essas áreas, entretanto são poucos os trabalhos para todo o Brasil.

Dessa forma esse trabalho tem como objetivo realizar o zoneamento agroclimático do urucum (*Bixa orellana* L.) para o Brasil no cenário atual e os cenários de mudanças climáticas do CMIP6.

Metodologia

O trabalho foi realizado para todo o Brasil, que possui uma extensão territorial de 8.516.000 km², dividido em cinco regiões: Centro-Oeste, Nordeste, Norte, Sul e Sudeste. O Brasil apresenta doze (12) classes de clima de

Köppen (1948), em que a zona tropical “A” é a mais predominante neste país (ALVARES et al., 2013a).

As variáveis climáticas (temperatura do ar e precipitação acumulada) foram coletadas por meio da plataforma WorldClim 2.1 (FICK; HIJMANS, 2017). Os dados se apresentavam em formato GeoTiff (.tif), com resolução de 30’’x30’’ (1 km²). Cada imagem consistia em 12 bandas (meses), para todo o globo. Os dados coletados foram da última normal climatológica disponível.

As variáveis climáticas futuras foram obtidas pela plataforma WorldClim 2.11, para o modelo IPSL-CM6A-LR (Boucher, 2020) do Institute Pierre-Simon Laplace Climate Modelling Centre (IPSL CMC) da França, com resolução de 30 segundos (1 km²). O modelo IPSL-CM6A-LR Esse modelo faz parte da fase seis do Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6) do IPCC, com grandes contribuições para esse projeto (LURTON et al., 2020).

Os modelos do CMIP6 demonstram ser mais precisos que a versão anterior (CMIP5) (LUO et al., 2022). O modelo disponibiliza dados para todos os cenários do sexto relatório do IPCC, SSPs. Foi utilizado os cenários Shared Socioeconomic Pathways (SSP-5 8.5), SSP-1 2.6, SSP-2 4.5, SSP-3 7.0 e SSP-5 8.5, disponíveis para 4 períodos (2021-2040, 2041-2060, 2061-2081 e 2081-2100) na plataforma WorldClim (RIAHI et al., 2017).

As classes de aptidão climática para o cultivo foram estabelecidas combinando as duas variáveis climáticas, temperatura média do ar e precipitação média anual (APARECIDO et al., 2017; LOPES; LIMA; MACEDO, 2008). A chave de aptidão climática para *Bixa orellana* pode ser observada na Figura 2.

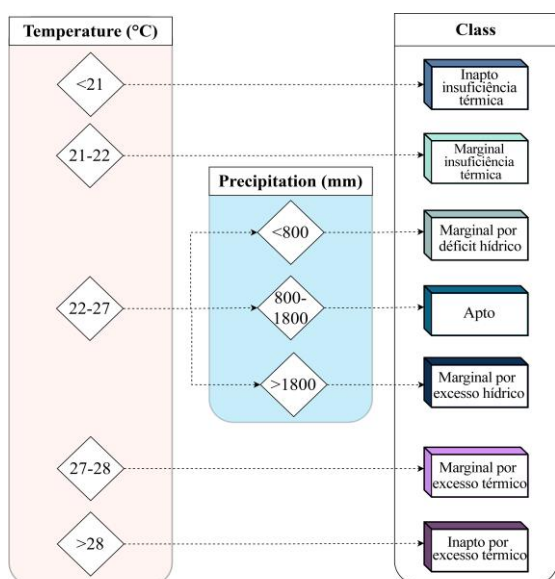


Figura 2. Chave de aptidão climática para *Bixa orellana*. Adaptado de (APARECIDO et al., 2017; LOPES; LIMA; MACEDO, 2008).

Assim para a realização do ZAC, as imagens de temperatura do ar e precipitação acumulada foram abertas em um software de sistema de informações geográficas QGIS. Primeiramente, as imagens foram recortadas apenas para o território brasileiro. Em seguida, foi realizado a média das imagens de temperatura do ar mensais e a soma das imagens de precipitação acumulada mensais. Assim, as imagens foram reclassificadas em função da chave de aptidão climática.

A reclassificação possibilitou combinar as imagens anuais de cada variável, assim obtendo uma imagem com as classes de aptidão. Essa imagem foi convertida em polígono, para assim calcular a área de cada classe. Foi utilizado a linguagem de programação Python 3.8, para automatizar a elaboração do zoneamento de favorabilidade da *Phoma spp*. No total foram elaboradas 5 mapas (1 atual + 4 períodos futuros).

Para visualização da variação da temperatura do ar e da precipitação acumulada em função das mudanças climáticas, foram elaborados gráficos de Box-plots. Gráficos são ferramentas para disponibilizar informações de maneira clara (GRANT, 2018), os Boxplots se destacam por descreverem muito bem grandes bancos de dados (BABURA et al., 2018).

Resultados e Discussão

A precipitação (Prec) e temperatura do ar (Tair) demonstraram alta variação sazonal e espacial (Figura 3). A Tair apresentou média variou de 7,90 a 29,50°C durante o ano, com média de 24,32°C (Figura 3 A B). O mês de novembro foi o mês mais quente (25,0°C), seguido por dezembro (25,11°C) (Figura 3 A). Por outro lado, junho e julho foram os meses mais frios do ano, 22,73 e 22,58°C, respectivamente. Alvares et al. (2013b) estudaram as condições climáticas médias de todos o país, encontrando resultados sazonais semelhantes.

Os estados da região norte foram os mais quentes, com média de 25,91°C, com destaque para Roraima (26,28°C), Amazonas (26,22°C) e Amapá (26,00°C), os estados mais quentes do Brasil (Figura 3 B). De maneira contrária, a região sul foi a mais fria (18,47°C), sendo Santa Catarina o estado mais frio do país (17,03°C). Regiões mais próximas da linha do equador possuem maior incidência de radiação solar, acarretando maior temperaturas, já localidades com maiores latitudes ocorre o inverso (KITAYAMA; USHIO; AIBA, 2021; PRAMANIK et al., 2019). As demais regiões, como Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste apresentaram médias de 21,21; 24,25 e 24,71°C, respectivamente.

A Precipitação acumulada média anual demonstrou alta variação tanto sazonal como espacial. A média mensal foi de 146 mm, porém variando de 0 a 593 mm em apenas um mês. O verão foi o período mais chuvoso (671 mm acumulados), representando 50% de toda a precipitação anual. As médias para o mês de janeiro e março foram de

227 e 229 mm, respectivamente. O inverno por outro lado, foi o período mais seco (205 mm acumulados), concentrando 11,69% do volume anual de chuvas (Figura 2 D). Julho e agosto obtiveram média de apenas 64 e 58 mm acumulados, respectivamente. Períodos como esse

apresentam alto risco para culturas perenes, devido ao estresse hídrico.

A precipitação acumulada anual variou de 377 a 3858 mm, com média de 1748 mm. A região norte além da maior média Tair, também apresentou a média anual de precipitação (2227,55 mm). Amazonas e Amapá foram os estados mais chuvosos, com médias de 2522,58 e 2467,80 mm, respectivamente. A região Nordeste foi a mais seca, com apenas 1024,06 mm, com destaque para Pernambuco e Rio Grande do Norte que apresentaram menos de 760 mm anuais acumulados (Figura 3 C). Em regiões com alto estresse hídrico são necessárias técnicas como irrigação localizada, para suprir a necessidade hídrica com maior eficiência.

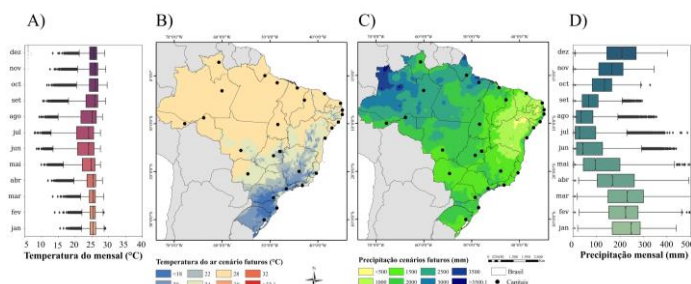


Figura 3. Distribuição sazonal (A e D) e espacial (B e C) da temperatura do ar média e precipitação acumulada para todo o Brasil.

O zoneamento do urucum para o Brasil no cenário atual apresentou 5 classes (Figura 4). A classe predominante foi marginal por excesso hídrico (42,99%), concentrada principalmente na região norte do país. Em localidades como Rurópolis – PA o cultivo do Urucum é possível e pode sofrer problemas com doenças que se beneficiam de alta umidade, como podridão. A classe de completa aptidão representou 32,47% do território nacional, com destaque para a região central do país: Mato Grosso do Sul, Goiás e Tocantins (Tabela 1). Esses estados apresentaram 91,61; 80,80 e 92,6% do território classificado como apto, respectivamente. Desses estados apenas Mato Grosso do Sul possui produção de Urucum, sendo uma cultura com alto potencial possuindo alto potencial produtivo, porém pouco explorada (Figura 4 B).

A classe inapta por insuficiência foi a terceira classe com maior área (Figura 4). Os estados do sul apresentaram mais de 78,9% do território inapta, o restante classificado como marginal por insuficiência térmica. Já a classe marginal por déficit hídrico representou apenas 5,53%, concentrados apenas na região Nordeste. Cerca de 68,37% do estado do Pernambuco foi classificado como

marginal por déficit hídrico. Nessa região é necessário a utilização de irrigação para o cultivo do Urucum, possibilitando alto rendimento

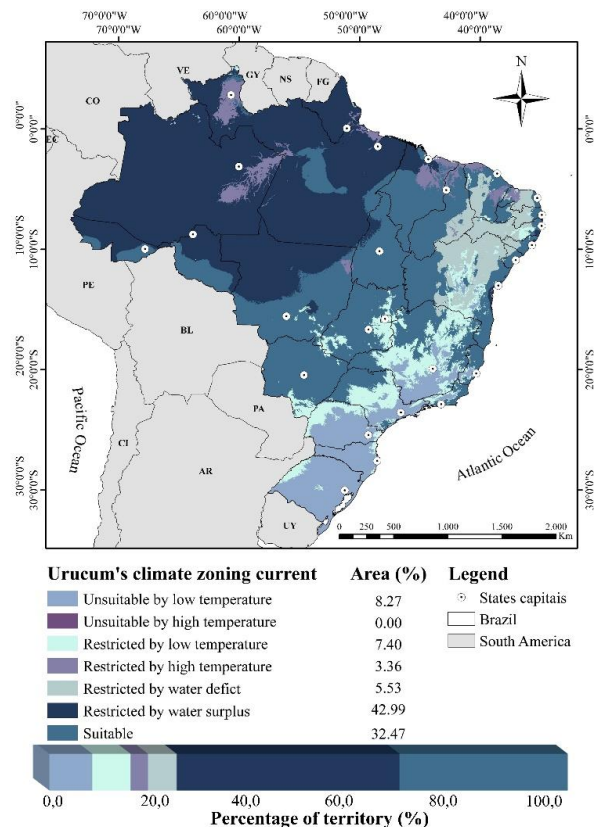


Figura 4. Zoneamento climático para o Urucum (*Bixa orellana*) no cenário atual em todo o território brasileiro.

Durante o período 2021-2040 o Brasil demonstrou 6 classes de aptidão para o cultivo de Urucum, com baixa variação entre os cenários (Figura 9). A classe mais predominante foi marginal por altas temperaturas, com média de 40,93 (SSP-1 2.6), 42,21 (SSP-2 4.5), 43,34 (SSP-3 7.0), e 44,24% (SSP-5 8.5). Porém, grande parte do território brasileiro foi classificado como apto, média de 28,40%. As regiões centrais do Brasil concentraram as melhores condições para a cultura, com destaque para GO, MS e TO, apresentaram 97.3%, 82.7%, 73.6% do território apto, respectivamente.

A região do Sul do país, além de parte de SP e MG apresentaram limitações térmicas em todos os cenários, devido as baixas temperaturas da região. Invernos muito intensos prejudicam o Urucum, tendo em vista ser uma cultura perene adaptada para climas tropicais, não tolerando geadas (DEQUIGIOVANNI et al., 2018). A região nordeste por outro lado obteve condições térmicas ideais, porém a escassez hídrica foi um empecilho para a aptidão completa da cultura (Figura 9). Em regiões como o estado de Pernambuco é necessário a utilização de irrigação para

suplementar a exigência hídrica do urucum, podendo alcançar altas produções (KORWAR; PRATIBHA, 2005).

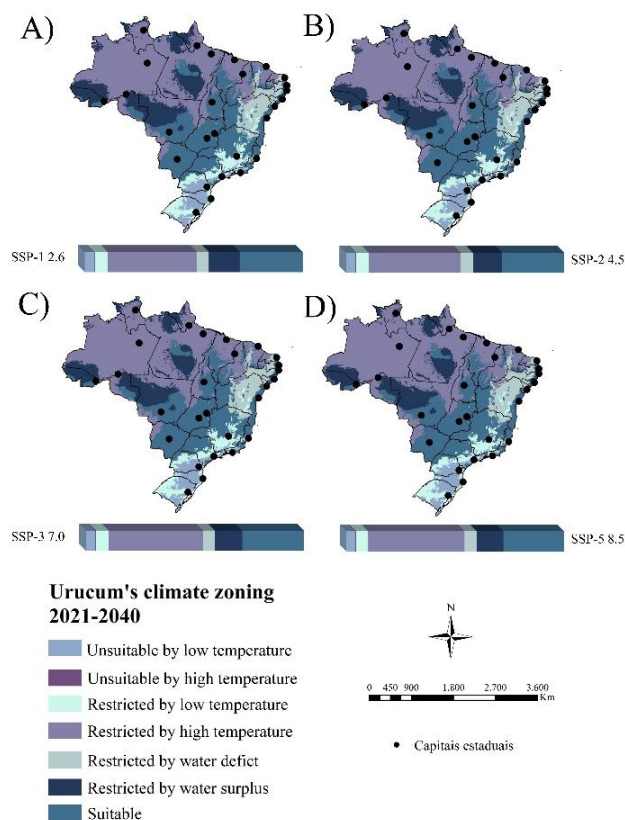


Figura 5. Zoneamento climático para o Urucum (*Bixa orellana*) para o Brasil, em cenários de mudanças climáticas, SSP-1 2.6 (A), SSP-2 4.5 (B), SSP-3 7.0 (C) e SSP-5 8.5 (D) do modelo IPSL-CM6A-LR, no período 2021-2040.

Para o período de 2081-2100 o zoneamento de aptidão apresentou seis classes, com predominância da classe inapta (Figure 6). O cenário SSP-1 2.6 demonstrou a maior área apta (24.72%) no período, porém a classe marginal por alta temperatura representou 50.51% de todo território nacional. Os cenários SSP-2 4.5, SSP-3 7.0 e SSP-5 8.5 obtiveram 18.35%, 9.89% e 6.50% da área do Brasil apta a urucum. O SSP-5 8.5 apresentou 79.95 do território inapto devido ao excesso térmico. Esse cenário é o mais preocupante devido o aumento da Tair ser muito acelerado é possível que não ocorra a adaptação da espécie *Bixa orellana*.

Em 2081-2100 o estado de MS apresentou 82.7% de aptidão no cenário SSP-1 2.6, porém reduzindo para 0% no SSP-5 8.5. De forma semelhante os estados de RO, GO e MT que não apresentaram nenhuma área apta ao cultivo do urucum no cenário SSP-5 8.5. No mesmo cenário, 31.7% da região Sul do País demonstrou aptidão a cultura, regiões atualmente inaptas.

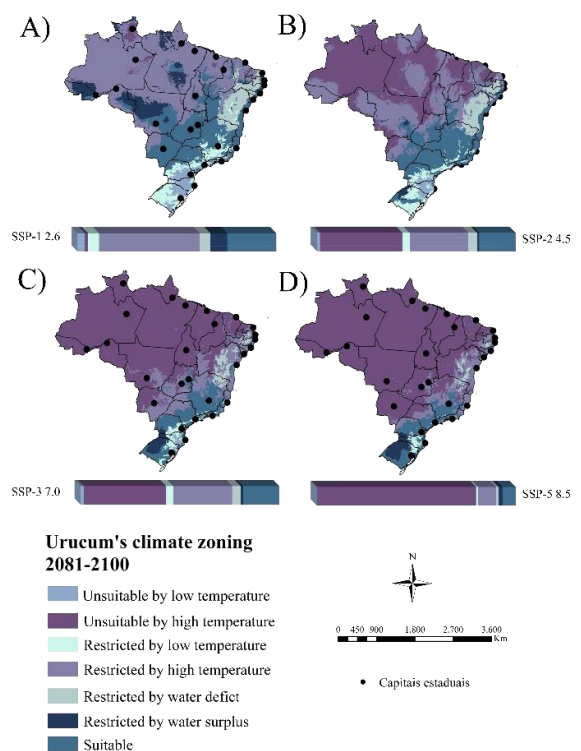


Figura 6. Zoneamento climático para o Urucum (*Bixa orellana*) para o Brasil, em cenários de mudanças climáticas, SSP-1 2.6 (A), SSP-2 4.5 (B), SSP-3 7.0 (C) e SSP-5 8.5 (D) do modelo IPSL-CM6A-LR, no período 2021-2040.

O cenário SSP-5 8.5 alterou o zoneamento climático para o Urucum em todos os períodos (Figura 7). A classe de completa aptidão reduziu em todos os períodos, com média para os períodos de 27,91%, 20,16%, 12,11%, 6,50%. Durante 2021-2040 o zoneamento manteve muito das suas áreas aptas, porém ocorreu o acréscimo de áreas marginais e inaptas por excesso térmico na região Norte do país (Figura 7 A). Em 2041-2060 as classes mais comuns no país foram marginais por excesso térmico (3 620 052,57 km²) e marginal por insuficiência térmica (2 054 854,58 km²). Já durante 2061-2080 a maior parte de país foi classificada como inapta por excesso térmico (5 395 590,00 km²), todos os estados do norte apresentaram mais de 98% (8 345 451,70 km²) do território inapto.

A partir do ano 2081 a situação ficou grave, mais de 90% (7 664 190,34 km²) do território das regiões produtoras apresentou condições inaptas por excesso térmico. 80,08% (6 880 739,77 km²) do país foi classificado como inapto (79,95% inapto por excesso térmico), um aumento de 71,71% em relação ao cenário atual. As regiões aptas se concentraram exclusivamente na região sudeste do país: leste de São Paulo e Sul de Minas Gerais e sul do país (Figura 7 D).

São Paulo apresentou uma redução de apenas 0,2% da classe Apto, porém no futuro a região leste apresentou

maios potencial para o cultivo do Urucum, podendo impactar na economia das localidades como Dracena - SP. Durante esse período ocorreu uma conversão das áreas inaptas por insuficiência térmica (atual) para completamente apta (2081-2100). Os estados do Sul apresentaram aptidão ao cultivo da cultura, média de 44,19%, com destaque para o norte do Paraná (60,88%).

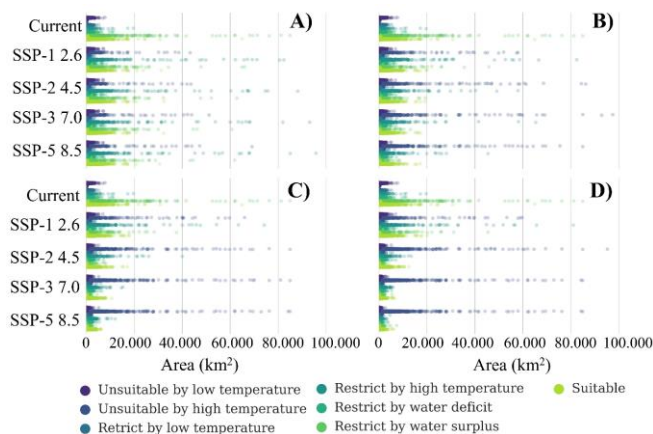


Figura 7. Distribuição da área (km²) do território brasileiro para cada classe do zoneamento climático para o Urucum (*Bixa orellana*), para os cenários de mudanças climáticas em diferentes períodos futuros. 2021-2040 (A), 2041-2060 (B), 2061-2080 (C) e 2081-2100 (D).

Considerações Finais

A temperatura do ar apresenta maiores valores durante novembro e menores durante junho e julho. A região norte é a mais quente do país, já o sul a mais fria. Em relação a precipitação, o verão concentra metade de todo o volume anual acumulado, por outro lado o inverno representa apenas 11,69%. No cenário SSP-5 8.5 ocorre um aumento crescente para a temperatura do ar, e uma leve redução no volume de precipitações pluviais.

O zoneamento climático do Urucum para o cenário atual possui 5 classes. A classe que mais predomina é marginal por excesso hídrico (42,99%), seguida pela classe Apto (32,47%), com destaque para a região central do país: Mato Grosso do Sul (91,61), Goiás (80,80) e Tocantins (92,6%).

As mudanças climáticas alteram o zoneamento agroclimático do urucum. Em todos os períodos futuros ocorre uma redução nas áreas aptas, principalmente no Centro-Oeste do país e em Rondônia. A maior inaptidão no futuro será devido ao excesso térmico, sendo necessário estudos mais sobre a capacidade de adaptação da cultura do Urucum as mudanças climáticas.

Agradecimentos

Agradecemos ao IFMS e o CNPq pelo auxílio financeiro e apoio para execução desse trabalho.

Referências

- ABABAEI, B.; NAJEEB, U. Detection of major weather patterns reduces number of simulations in climate impact studies. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 206, n. 3, p. 376–389, jun. 2020.
- ADEFISAN, E. Climate Change Impact on Rainfall and Temperature Distributions Over West Africa from Three IPCC Scenarios. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, v. 09, n. 06, 2018.
- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.
- ALMEIDA, H. DE. Climatologia aplicada à Geografia. *Universidade Estadual da*, 2016.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013a.
- ALVARES, C. A. et al. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. *Theoretical and applied climatology*, v. 113, n. 3, p. 407–427, 2013b.
- APARECIDO, L. E. DE O. et al. Agroclimatic zoning for urucum crops in the state of Minas Gerais, Brazil. *Bragantia*, v. 77, n. 1, p. 193–200, 18 dez. 2017.
- BAETHGEN, W. E.; MEINKE, H.; GIMENE, A. **Adaptation of agricultural production systems to climate variability and climate change: lessons learned and proposed research approach.** Climate Adaptation. net conference “Insights and Tools for Adaptation: Learning from Climate Variability. *Anais...2003*.
- BRAGA, F. G. et al. Antileishmanial and antifungal activity of plants used in traditional medicine in Brazil. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 111, n. 2, p. 396–402, maio 2007.
- BRITO, J. G. DE et al. Armazenamento de grãos residuais de urucum sob atmosfera controlada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 12, p. 1185–1191, dez. 2015.
- CASTRO, C. DE et al. A cultura do urucum. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental. Brasília: Embrapa*, 1994.
- DE SÁ JÚNIOR, A. et al. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 108, n. 1, p. 1–7, 2012.
- FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, out. 2017.

AGROCLIMATIC ZONING OF URUCUM (*Bixa orellana* L.) FOR BRAZIL UNDER THE CLIMATE CHANGE SCENARIOS OF CMIP6

Abstract: *The objective of this work was to perform the agroclimatic zoning of Urucum (*Bixa orellana* L.) for Brazil under the current scenario and climate change scenarios of CMIP6. Air temperature and daily precipitation data for the current scenario were collected using the WorldClim platform version 2.1 for the latest climatological normal in GeoTiff format. Future climate variables were obtained by the WorldClim 2.1 platform for the IPSL-CM6A-LR model for the periods 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, and 2081-2100 and for the scenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP4-6.0, and SSP5-8.5. The climate zoning of Urucum for the current scenario demonstrated 5 classes. The class that predominated the most was marginal for water surplus (42.99%), followed by the Fit class (32.47%). Climate change negatively impacted the climatic zonation of Urucum in all scenarios.*

Keywords: *Air temperature, rainfall, CMIP6, IPCC.*