

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO RISCO CLIMÁTICO DA SOJA A PARTIR DOS CENÁRIOS DO CMIP6

Vânia Rosa Pereira ¹; Daniel de Castro Victoria ²; Aryeverton Fortes de Oliveira ²; Santiago Vianna Cuadra ²; José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro ²; Alan Massaru Nakai ³; Renato José Santos Maciel ³

¹Bolsista. Campinas, SP. Embrapa Agricultura Digital; ²Pesquisador. Campinas, SP. Embrapa Agricultura Digital; ³Analista. Campinas, SP. Embrapa Agricultura Digital

RESUMO

Entender como as mudanças no risco hídrico podem interferir nos sistemas agrícolas, em especial nas culturas de sequeiro, frente às mudanças climáticas, é fundamental para subsidiar planos e ações de adaptação assertivas. Apresentamos aqui resultados iniciais do projeto da Embrapa no tema de mudanças climáticas: "Cenários, vulnerabilidade e adaptação da agricultura brasileira às mudanças climáticas: culturas anuais". Este contempla diferentes culturas anuais e irá avaliar diferentes modelos de circulação geral (MCG), cenários e níveis de aquecimento. Atualmente o projeto encontra-se na etapa de definição do fluxo de trabalho e preparo das bases de dados. Uma primeira avaliação foi realizada para a cultura da soja, com ciclo de 100 dias, sob a perspectiva de deficiência hídrica, considerando três cenários de emissões (ssps 1-2.6, 2-4.5 e 5-8.5) do AR6 e três níveis globais de aquecimento (GWL 1.5, 2.0 e 4.0) para o modelo ACCESS-CM2. Resultados preliminares obtidos para um único MCG e agregados em nível estadual, indicam que, em diferentes proporções e intensidades, há três tipologias de mudanças do risco hídrico em relação ao histórico: 1) redução no número de decêndios com baixo risco (janela de plantio); 2) aumento do risco nos decêndios com baixo risco; 3) deslocamento da janela de baixo risco. Este último implica em impactos em cascata nos sistemas de sequeiro safra/safrinha, como por exemplo, o caso do milho. Os estados do Centro-Sul seriam os mais impactados. O cenário mais extremo, o SSP5-8.5/ GWL 4.0, indicou as mudanças mais significativas.

PALAVRAS-CHAVE: Riscos agrícolas; mudanças climáticas; adaptação; soja;

INTRODUÇÃO

O clima desempenha um papel crítico nos sistemas de produção agrícola, pois interfere não só na produção e na produtividade das culturas, mas, também, em decisões sobre práticas agrícolas, investimentos, gastos com sementes, fertilizantes e aquisição de seguros, gestão de safras, entre outros. No contexto das mudanças climáticas, torna-se essencial contribuir para a sustentabilidade da produção agrícola nacional por meio da proposição de ações de planejamento e adaptação de seus sistemas produtivos sistema. Para isso, a avaliação e a quantificação dos riscos da produção frente às tendências observadas de mudanças climáticas, considerando a nova geração de modelos globais e de cenários futuros, é essencial.

É consenso que as mudanças climáticas e o aumento das temperaturas médias globais em curso trazem inúmeras consequências para os sistemas naturais e antrópicos, e são consideradas as principais ameaças para a segurança hídrica, alimentar, energética e social (IPCC-WG I, 2021; IPCC-WGII, 2022). Estima-se que os mais diversos setores sociais serão impactados, com efeitos em cascata, como transportes, infraestrutura urbana e costeira, geração de energia, recursos hídricos, agricultura e biodiversidade. O mais recente relatório sobre as mudanças climáticas (AR6) indica que as mudanças no uso das terras e o aquecimento global estão causando uma cascata de condições de secas persistentes no globo. Por exemplo, perdas de produtividade relacionadas a episódios de secas ocorreram em 75% da área global destinada à agricultura e os efeitos combinados de stress térmico e hídrico reduziram a produtividade média global de milho, soja e trigo em 11.6%, 12.4% e 9.2% respectivamente (IPCC-WGII, 2022). Os cenários mais extremos, porém não improváveis, de

mudanças climáticas sugerem que a parte central da América do Sul terá ocorrência de estação seca mais prolongadas, amplificando ainda mais os impactos (IPCC-WGII, 2022).

Estudos com dados observados e simulados indicam aumentos na intensidade e frequência de secas e inundações em todo o globo, (HIRABAYASHI et al., 2013; MILLY et al., 2002; SPINONI et al., 2019) com a região central do Brasil considerada um *hotspot* de seca a partir dos anos 2000 (SPINONI et al., 2019). Culturas como arroz, milho e café podem ter aumentos na incidência de doenças devido à aumento de temperatura e de umidade no ar e no solo (ASSAD, 2021; POZZA; ALVES, 2008; PRABHU; SILVA; FILLIPI, 2008). Agentes polinizadores também poderão ser afetados, impactando a produtividade (GIANNINI et al., 2017; SETTELE; BISHOP; POTTS, 2016). Estudos recentes têm enfatizado que as perdas de safras agrícolas e os riscos à segurança alimentar e hídrica deverão se intensificar devido ao aumento das variações interanuais das condições climáticas em razão da ocorrência de eventos extremos (ALEXANDER et al., 2006; STEVANOVI? et al., 2016). Os estudos de Pinto e Assad (2007) mostraram que os cenários de mudanças climáticas do quarto relatório do IPCC, o AR4, indicaram aumentos das áreas de riscos climáticos na agricultura brasileira, delineando uma nova geografia agrícola para o país. Nestes cenários, as culturas seriam penalizadas por aumentos de deficiência hídrica ou nas temperaturas. O estudo indicou reduções das áreas aptas e de baixo risco climático para as principais culturas (arroz, algodão, café, feijão, girassol, milho e soja) e redução de áreas em regiões tradicionais. As perdas econômicas estimadas relacionadas ao aumento do risco climático foram de até R\$ 7,4 bilhões/ano nas principais commodities brasileiras a partir de 2020 (PINTO; ASSAD, 2008).

Em 2015, estimativas do Banco Mundial indicavam perdas de R\$ 11 bilhões/ano devido a riscos diversos, principalmente climáticos (ARIAS; MENDES; ABEL, 2015). Em 2021, um ano caracterizado por extremos climáticos com ocorrência de secas e geadas recordes, foram registradas perdas de R\$ 60 bilhões, nos diversos setores, especialmente na agricultura (VIECELI, 2021). O clima seco na região central da América do Sul resultou em uma escassez de 267 km³ de água retida em rios, lagos, solo e aquíferos em comparação com a média sazonal dos últimos 20 anos (GETIRANA; LIBONATI; CATALDI, 2021). Importantes reservatórios de água na região atingiram menos de 20% de sua capacidade, afetando a agricultura e a geração de energia. Em 2022, novamente um ano de extremos climáticos, com ocorrência de seca no sul do Brasil, as graves perdas nas diversas culturas resultaram em prejuízos estimados em até R\$ 70 bilhões, de acordo com levantamentos da CNA (OLIVEIRA, 2022). As perdas econômicas registradas entre os anos de 2021 e 2022 superaram consideravelmente as estimativas apresentadas por Pinto e Assad (2008). Historicamente, Embrapa e parceiros já vêm atuando para modificar o quadro resultante das mudanças climáticas na produção agrícola. Dentre as ações realizadas destacam-se a avaliação dos impactos e da vulnerabilidade desse setor, bem como o planejamento de estratégias de mitigação das emissões de gases de efeito estufa e adaptação. A esse respeito podemos citar a promoção das tecnologias preconizadas no PlanoABC e PlanoABC+ (ex.: plantio direto, recuperação de pastagens degradadas, fixação biológica de nitrogênio), bem como os trabalhos voltados para a busca de cultivares mais tolerantes às intempéries climáticas.

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) contribui para a adaptação, sendo base da Política Agrícola que promove a redução de riscos e a adaptação dos sistemas produtivos às condições climáticas. O Zarc especifica a melhor época de plantio para diferentes culturas agrícolas e locais do País. Para tal, além de informações de solo e da cultura, são necessários dados meteorológicos da região, compreendendo um longo período de tempo. Alterações nos padrões climáticos podem afetar o risco e as épocas ótimas para a implantação dos cultivos.

O referencial metodológico utilizado no Zarc tem sido base para avaliação de riscos e elaboração dos cenários futuros. Com o avanço do conhecimento, novos modelos de avaliação da produção, inclusive com medidas adaptativas, podem viabilizar uma nova geração de resultados. Há significativa oportunidade de contribuir para o conhecimento com assimilação de projeções e de novos cenários

climáticos futuros que estão sendo disponibilizados pela 6a fase do Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6) que fundamentam o atual relatório do IPCC (AR6). O planejamento diante da rápida mudança climática antropogênica é fundamentalmente desafiador devido às incertezas nas projeções climáticas e nas respostas dos sistemas ecológicos e sociais. Diante das incertezas, a lógica é dada para minimizar o fracasso, em vez de maximizar o sucesso e evitar resultados catastróficos e extremos (TERANDO et al., 2020). Os modelos climáticos globais são ferramentas importantes para entender os mecanismos entre o clima do passado e sua evolução e, a partir dessa relação, projetar cenários de mudanças globais para o futuro. Tais modelos estão em constante evolução e melhorias, tais como refinamento da resolução espacial, melhorias nos parâmetros de processos de microfísica de nuvens, adição de outros processos do sistema terrestre e componentes tais como os ciclos biogeoquímicos (EYRING et al., 2019). A nova geração de modelos climáticos globais do CMIP6, que subsidiaram o AR6, apresentou maior acurácia nas estimativas de magnitude dos extremos de temperaturas globais quando comparados com a sua versão anterior, o CMIP5 (NIE et al., 2020), com maior habilidade em simular declínios na precipitação e secas no sudoeste da América do Sul (RIVERA; ARNOULD, 2020).

Além das melhorias na performance em representar o clima, o CMIP6 utiliza uma nova geração de cenários de mudanças climáticas, baseados na junção das premissas de trajetórias de concentração do CMIP5 com trajetórias socioeconômicas (SSPs). Uma melhoria nos cenários foi a ampliação dos possíveis resultados da linha de base "sem política climática". As trajetórias de emissão e a mistura de emissões de CO₂ e outros gases são diferentes nessa nova versão e são consideradas mais realistas (SONG et al., 2021). Por exemplo, o cenário de baixa emissão SSP1-2.6 mostra um declínio mais gradual nas emissões do que o RCP2.6 e um ponto de partida mais alto, refletindo, em parte, que as emissões de 2007-2014 observadas foi notavelmente maior do que o esperado no cenário RCP2.6 original (HAUSFATHER, 2019). Face às elevadas perdas agrícolas devido a eventos climáticos adversos ocorridas nos últimos anos, aos estudos enfatizando a intensificação dos riscos climáticos e, dado os avanços apresentados pela nova geração de modelos climáticos, bem como os avanços nas metodologias do Zoneamento Agrícola de Risco Climático, faz-se necessário reavaliar os riscos agroclimáticos e traçar estratégias de adaptação da agricultura brasileira aos desafios futuros.

OBJETIVOS

Avaliar as tipologias de impacto das mudanças climáticas no risco agrícola, sob a perspectiva de déficit hídrico, para a cultura da soja, considerando um modelo de clima futuro; Desenvolver as rotinas computacionais e a capacidade de processamento de um grande conjunto de dados para em breve realizar a avaliação de risco para um maior conjunto de modelos futuros, cenários de emissões e culturas agrícolas anuais.

MATERIAL E MÉTODOS

Base de dados: Para gerar a base de dados agroclimáticos com viés corrigido foram utilizados dados históricos observados (1986-2005) e dados simulados para o período histórico (1986-2005) e futuro (2015-2100) para as variáveis meteorológicas: precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima. Como referência foi utilizada a base de dados Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD) desenvolvida por Xavier et al. (2022), que consiste em séries históricas diárias, interpoladas com resolução espacial de 10km, para o período de 1961 a 2020. Esta base utilizou um total de 11473 estações pluviométricas e 1252 estações meteorológicas advindas da Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e incorpora informações de topografia na interpolação de dados de temperatura.

O sexto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), o CMIP6 (Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados - Fase 6), disponibiliza resultados de 46 modelos

climáticos globais (MCG) com resolução diária. Para o estudo dos impactos das mudanças climáticas no zoneamento são desejáveis dados de precipitação e temperaturas máxima e mínima diárias. Também é desejável avaliar os resultados de pelo menos 3 combinações de trajetórias socioeconômicas compartilhadas e forçantes radiativas, os SSPs 1-2.6, 2-4.5 e 5-8.5. Desta forma, foram selecionados 17 modelos a serem avaliados (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos do CMIP6 selecionados por apresentar todas as variáveis, resolução temporal e disponibilidade de trajetórias socioeconômicas para análise do impacto das mudanças climáticas no Zarc.

Modelos CMIP6	Instituição	País
ACCESS-CM2	CSIRO-ARCCSS (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australian Research Council Centre of Excellence for Climate System Science)	Australia
BCC-CSM2-MR	BCC (Beijing Climate Center)	China
CanESM5	CCCMA (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis)	Canadá
CMCC-ESM2	CMCC (Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici)	Italia
CNRM-CM6-1	CNRM-CERFACS (National Center for Meteorological Research, Météo-France and CNRS laboratory, Climate Modeling and Global change)	França
CNRM-ESM2-1	CNRM-CERFACS (National Center for Meteorological Research, Météo-France and CNRS laboratory, Climate Modeling and Global change)	França
GFDL-ESM4	NOAA-GFDL (National Oceanic and Atmospheric Administration, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory)	Estados Unidos
INM-CM4-8	INM (Institute of Numerical Mathematics)	Rússia
INM-CM5-0	INM (Institute of Numerical Mathematics)	Rússia
KIOST-ESM	KIOST (Korea Institute of Ocean Science and Technology)	Coreia do Sul
MIROC-ES2L	MIROC (Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI), Centre for Climate System Research - National Institute for Environmental Studies (CCSR-NIES) and Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI))	Japão
MIROC6	MIROC (Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI), Centre for Climate System Research - National Institute for Environmental Studies (CCSR-NIES) and Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI))	Japão
MPI-ESM1-2-HR	MPI-M DWD DKRZ (Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M), German Meteorological Service (DWD), German Climate Computing Center (DKRZ))	Alemanha
MPI-ESM1-2-LRM	MPI-M AWI (Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M), AWI (Alfred Wegener Institute))	Alemanha
MRI-ESM2-0	MRI (Meteorological Research Institute, Japan)	Japão
NESM3	NUIST (Nanjing University of Information Science and Technology)	China
NorESM2-MM	NCC (Norwegian Climate Centre)	Noruega

Nessa primeira etapa do trabalho um grande esforço vem sendo empregado no desenvolvimento das rotinas de processamento e análise dos dados. Assim, apenas um primeiro modelo foi avaliado, o

desenvolvido pela instituição *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization and Bureau of Meteorology - Australia*, o *ACCESS-CM2*. Futuramente serão analisados os resultados dos outros modelos disponibilizados pelo CMIP6, em três trajetórias socioeconômicas (SSPs 1-2.6, 2-4.5 e 5-8.5).

O SSP1 inclui um pico e declínio na população (~7 bilhões em 2100), alta renda e desigualdades reduzidas, regulamentação efetiva do uso da terra, consumo menos intensivo de recursos, incluindo alimentos produzidos em sistemas de baixa emissão de GEE e menor desperdício de alimentos, livre comércio e tecnologias e estilos de vida sustentáveis. Em relação a outros caminhos, o SSP1 tem alta capacidade adaptativa;

O SSP2 inclui crescimento populacional médio (~9 bilhões em 2100), renda média, progresso tecnológico, padrões de produção e consumo são uma continuação de tendências passadas e ocorre apenas uma redução gradual da desigualdade. Em relação a outros caminhos, o SSP2 tem capacidade adaptativa média;

O SSP5 inclui um pico e declínio na população (~ 7 bilhões em 2100), alta renda, desigualdades reduzidas e livre comércio. Este caminho inclui produção, consumo e estilos de vida com uso intensivo de recursos. Em relação a outros caminhos, o SSP5 apresenta maiores desafios de mitigação, porém, menores desafios de adaptação (ou seja, alta capacidade adaptativa).

Utilizamos o nível de aquecimento médio global (GWL) como critério de recorte temporal para os cenários. Os níveis de aquecimento foram definidos com base no acordo de Paris, no qual o limiar para o aquecimento, em relação aos níveis pré-industriais, seria de 1.5 °C para que a sociedade consiga minimizar os impactos e ser assertiva em suas ações de adaptação. Analisamos cada cenário em três recortes de GWL. A linha de base abrange o período de 1986-2005 e comparamos a mudança em faixas de tempo de 20 anos centradas no ano em que a temperatura média global do MCG atinge 1,5; 2,0; e 4,0°C acima da temperatura pré-industrial. A Tabela 2 sintetiza os anos centrais em que o modelo ACCESS-CM2 atinge cada um dos 3 níveis de aquecimento, em cada um dos 3 cenários de emissões.

Tabela 2: Ano central em que o modelo ACCESS-CM2 atinge cada nível de aquecimento, em cada cenário. O cenário SSP1-2.6 e SSP2-4.5 não atingem 4.0 °C de aquecimento.

MCG	SSP1-2.6			SSP2-4.5			SSP5-8.5		
	GWL	GWL	GWL	GWL	GWL	GWL	GWL	GWL	GWL
	1.5	2.0	4.0	1.5	2.0	4.0	1.5	2.0	4.0
ACCESS-CM2	2027	2042	-	2028	2040	-	2025	2038	2071

A correção dos erros sistemáticos dos modelos climáticos é etapa fundamental para reduzir as incertezas dos cenários nos estudos de impactos, vulnerabilidade e adaptação aplicados. Essa etapa contempla: i) padronização da resolução espacial do modelo em relação a base referência, todas reamostradas para 25 km de resolução e ii) correção dos dados diários de Temperatura máxima, mínima e precipitação pelo método do Mapeamento Empírico de Quantis (CANNON; SOBIE; MURDOCK, 2015; DÉQUÉ, 2007; ITURBIDE et al., 2019; PIANI; HAERTER; COPPOLA, 2010). Este consiste em calibrar uma função de transferência sobre o período de controle, na escala temporal mensal, para mapear os quantis da função de distribuição cumulativa empírica da saída do modelo na distribuição observada correspondente.

Zarc soja: O risco climático para a cultura da soja seguiu os parâmetros descritos na nota técnica da PORTARIA SPA/MAPA Nº 75, DE 24 DE ABRIL DE 2023. A análise considerou apenas um tipo de solo, com média capacidade de armazenamento hídrico (CAD = 55 mm) e 100 dias de comprimento de ciclo. A análise contemplou somente o risco hídrico, decorrente do incremento da temperatura e alteração no regime de chuvas, conseqüentemente, da necessidade de água, através da análise de frequência de atingimento do ISNA (Índice de Satisfação das Necessidades de Água).

Foi avaliado o risco em 36 datas de plantio distintas (decêndios), com nove níveis de probabilidade (10% a 90%) de não atingir limiares críticos de ISNA nas fases 1 e 3 do desenvolvimento da planta. Essa análise foi conduzida para os cenários climáticos histórico e futuro, com viés corrigido. O processamento utilizou a mesma infraestrutura de simulação, Galaxy Project (BARBOSA; MACIEL, 2017), atualmente utilizada para os estudos de ZARC conduzidos pela Embrapa.

De posse dos mapas do risco hídrico nos diferentes decêndios de plantio, calculou-se um valor de risco agregado estadual. Este procedimento, executado para os 10 estados com maior área plantada de soja, consistiu em i) extrair o menor valor de risco que cobre pelo menos 25% da área municipal e ii) calcular o risco estadual a partir da média ponderada do risco municipal em razão da área plantada de soja nos anos de 2012 e 2021 (Produção Agrícola Municipal, PAM/IBGE).

Por fim, os riscos para cada um dos decêndios de plantio foram comparados, considerando o período histórico, os 3 cenários futuros (SSPs) e 3 níveis de aquecimento. Foram consideradas alterações no risco médio em cada um dos decêndios, no número de decêndios de baixo risco (janela de plantio) e no deslocamento da época de plantio (deslocamento de janela).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a média da área plantada de soja durante os anos de 2012 a 2021 nos municípios brasileiros. Durante esse período, os estados do RS, PR, SP, MG, MT, MS, GO, TO, BA, MA, foram os destaques de produção de soja no país. Os estados de Mato Grosso, Bahia e Goiás possuem municípios com as maiores áreas plantadas, acima de 400 000 hectares.

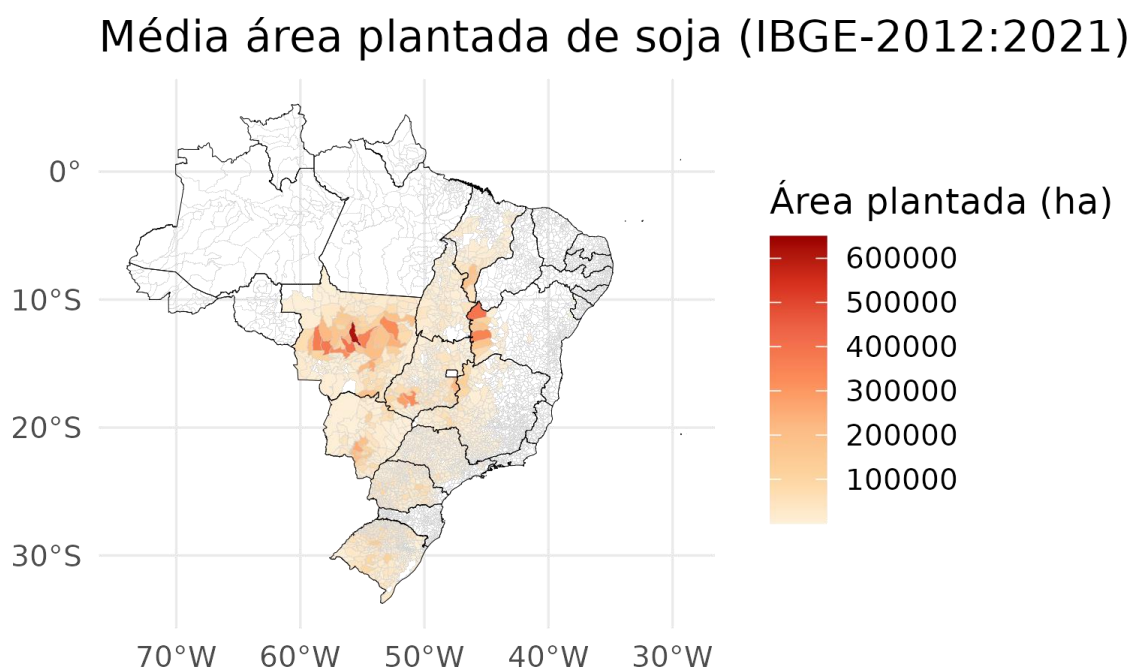


Figura 1: Média da área plantada de soja entre 2012-2021. Fonte: Produção Agrícola Municipal - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (PAM/IBGE-SIDRA).

A Figura 2 apresenta a série histórica de temperatura máxima para o histórico e cenários futuros para os estados de MT e PR.

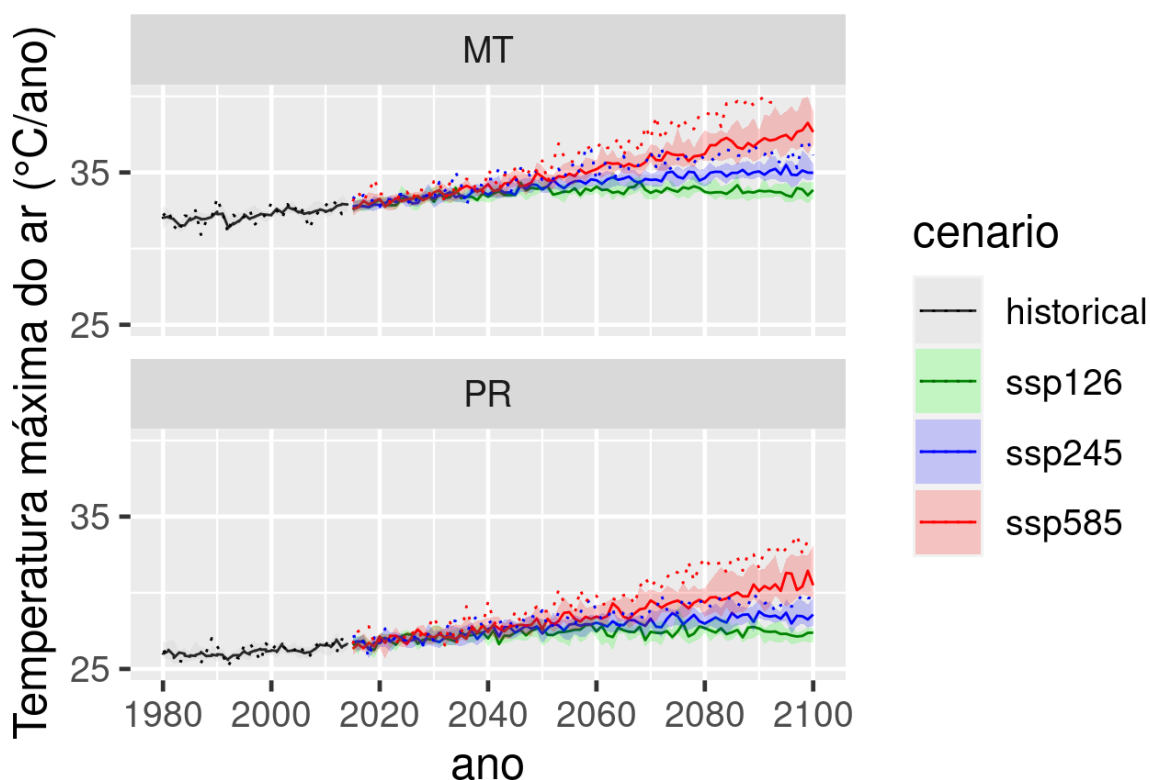


Figura 2: Série temporal dos dados de temperatura máxima, das médias anuais, para o período de 1980 a 2100 dos modelos climáticos do CMIP6, com disponibilidade de dados diários. Os gráficos indicam a mediana das séries temporais nos estados do MT e PR. A linha tracejada representa o modelo ACCESS-CM2 utilizado neste trabalho. A área sombreada representa a faixa de valores nos percentis 25% a 75% dos valores dos modelos climáticos. A linha contínua representa a mediana de todos os modelos.

Todos os cenários avaliados indicam aumentos na temperatura máxima até o ano de 2100. No entanto, o aumento mais expressivo ocorre no cenário SSP 5-8.5, em ambos os estados avaliados. O modelo ACCESS-CM2 encontra-se no percentil acima de 75% em relação aos outros modelos do CMIP6 avaliados. Trata-se de um modelo que indica um cenário de temperaturas máximas mais altas em relação aos demais modelos do CMIP6, até o ano de 2100, nos SSPs 2-4.5 e 5-8.5.

A Figura 3 apresenta o risco climático médio por estado, para os 36 decêndios, considerando os cenários e níveis de aquecimento.

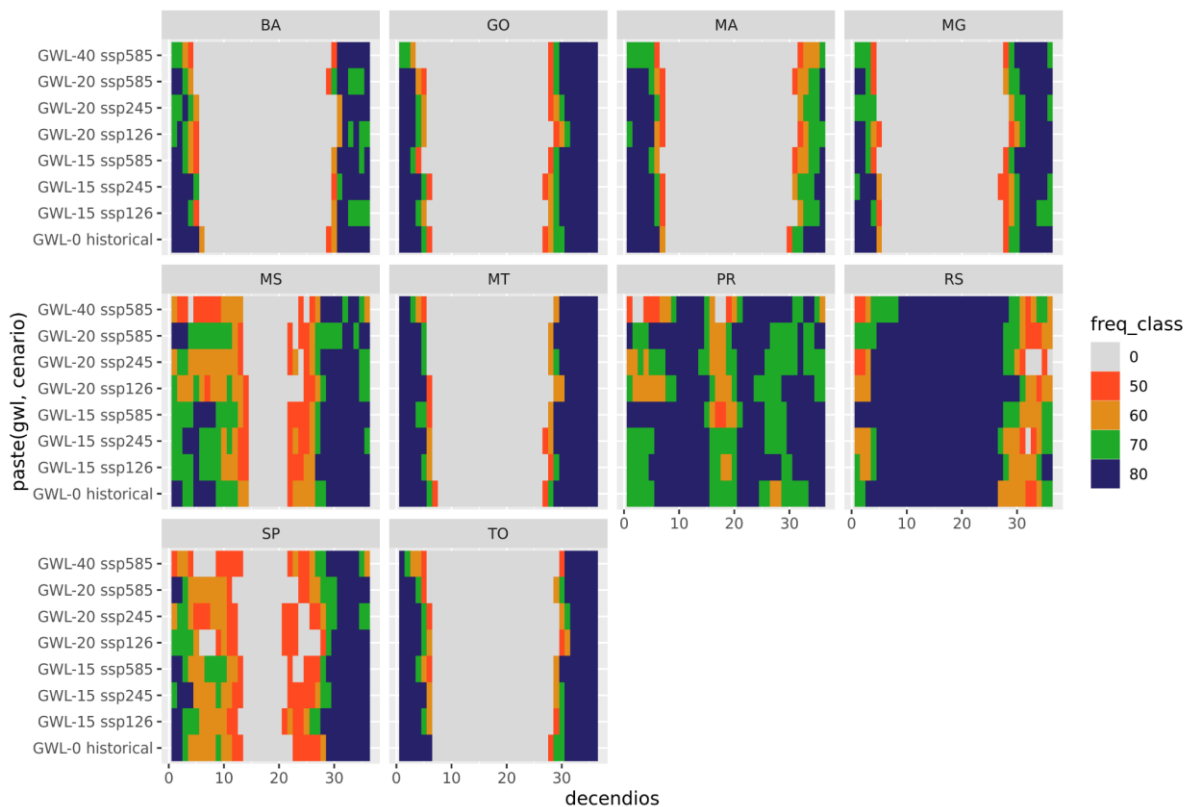


Figura 3: Resultados do Zarc soja-100 dias para o modelo ACCESS-CM2. Risco médio para os 36 decêndios, nos diferentes cenários e níveis de aquecimento, avaliado para os 10 estados que se destacam em relação à produção de soja no Brasil.

Considerando esse resultado, com o modelo ACCESS-CM2, podemos identificar três tipologias de mudanças em relação ao histórico: 1- No sentido de reduções no número de decêndios com baixo risco (janela de plantio); 2- Aumento do risco nos decêndios com baixo risco; 3 - Deslocamento na janela de baixo risco.

Para o estado da Bahia, notamos que há um aumento do risco nos primeiros decêndios do ano. Enquanto o período histórico apresenta frequência de 80% de sucesso, os cenários futuros, independentemente de níveis de aquecimento e emissões, apresentam frequência de sucesso reduzida. A redução da frequência de sucesso está associada à diminuição da janela de plantio.

No Brasil central, na área que contempla os estados de GO, MT, TO, os resultados são semelhantes. Nessa região, identificamos redução das janelas em todos os cenários, porém com mudança acentuada no mais extremo (SSP5-8.5/ GWL 4.0).

Para o estado do MA as alterações concentram-se nos decêndios finais do ano, com redução da frequência de sucesso. Enquanto o histórico apresenta decêndios com pelo menos 80% de frequência de sucesso, no futuro apresentam frequências inferiores, o que resulta em reduções na janela de plantio. Já para Minas Gerais, as maiores alterações ocorrem nos decêndios iniciais do ano.

Para os estados de MG e SP as alterações estão mais evidentes no cenário mais extremo (SSP5-8.5/GWL4.0), marcada por redução no número de decêndios aptos.

No Paraná e Rio Grande do Sul as alterações deram-se na forma de deslocamento e aumento de janela. Cabe ressaltar que esse estudo preliminar não contempla o risco térmico, fator relevante para a cultura da soja nos estados da região sul.

CONCLUSÃO

Os resultados referentes aos cenários, apesar de iniciais, indicaram mudanças coerentes com os já citados na literatura, isto é, aumento do risco climático nas áreas que atualmente contemplam a cultura da soja. Tais resultados sugerem uma demanda de ações de adaptação específicas para o atual sistema produtivo que contempla a segunda safra. Embora essencial para a remoção dos erros sistemáticos, a correção de viés não reduz a incerteza sobre as projeções climáticas. A técnica apropriada para reduzir a incerteza sobre as projeções é aumentar o número de modelos e cenários nas análises de impacto, que é a proposta do projeto de pesquisa em andamento. Além disso, o projeto também irá contemplar os riscos térmicos, como o aumento na frequência de dias muito quentes. Estas serão incluídas nas próximas análises a serem realizadas

AGRADECIMENTOS

Projeto 576 - FAPED/CNPTIA/BCB/ZARC n. 10200.19/0059-2

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, L. et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, v. 111, n. D5, p. D05109, 2006.

ARIAS, D.; MENDES, P.; ABEL, P. **Revisão Rápida e Integrada Da Gestão de Riscos Agropecuários No Brasil: Caminhos Para Uma Visão Integrada. Riscos Agropecuários No Brasil**. Brasília: [s.n.].

ASSAD, E. Sistemas agrícolas adaptados às mudanças climáticas. *Ciência e Cultura*, v. 73, n. 1, p. 35-40, jan. 2021.

BARBOSA, D.; MACIEL, R. **Automatização do processo de geração dos resultados do projeto Zarc**. . Resumos Expandidos: XIII Mostra de Estagiários e Bolsistas. Embrapa Agricultura Digital. **Anais...Campinas-SP-Brasil: EMBRAPA, 2017.**

BREKKE, L. et al. **Climate change and water resources management-a federal perspective**. [s.l: s.n.].

CANNON, A.; SOBIE, S.; MURDOCK, T. Bias Correction of GCM Precipitation by Quantile Mapping: How Well Do Methods Preserve Changes in Quantiles and Extremes? *Journal of Climate*, v. 28, n. 17, p. 6938-6959, 2015.

CARBONE, G. Managing climate change scenarios for societal impact studies. *Physical Geography*, v. 35, n. 1, p. 22-49, 2 jan. 2014.

DÉQUÉ, M. Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change*, v. 57, n. 1, p. 16-26, 2007.

DESSAI, S. et al. Climate prediction: a limit to adaptation? Em: LORENZONI, I.; O'BRIEN, K. L.; ADGER, W. N. (Eds.). **Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. p. 64-78.

EYRING, V. et al. Taking climate model evaluation to the next level. *Nature Climate Change*, v. 9, n. 2, p. 102-110, 2019.

GETIRANA, A.; LIBONATI, R.; CATALDI, M. Brazil is in water crisis - it needs a drought plan. **Nature** **2021** **600:7888**, v. 600, n. 7888, p. 218-220, 8 dez. 2021.

GHINI, R. et al. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 2, p. 187-194, fev. 2008.

GIANNINI, T. et al. Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. **PLOS ONE**, v. 12, n. 8, p. e0182274, 9 ago. 2017.

HAUSFATHER, Z. **CMIP6: The next generation of climate models explained 2019** .

HIRABAYASHI, Y. et al. Global flood risk under climate change. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 9, p. 816-821, 2013.

IPCC-WG I. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. (H.-O. Pörtner et al., Eds.) **Summary for Policymakers**. Cambridge, UK and New York, NY, USA: [s.n.].

IPCC-WGII. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Em: PÖRTNER, H.-O. et al. (Eds.). **Summary for Policymakers**. Cambridge, UK and New York, NY, USA: [s.n.].

ITURBIDE, M. et al. The R-based climate4R open framework for reproducible climate data access and post-processing. **Environmental Modelling & Software**, v. 111, p. 42-54, 2019.

MILLY, P. C. D. et al. Increasing risk of great floods in a changing climate. **Nature**, v. 415, n. 6871, p. 514-517, 2002.

NIE, S. et al. Comparison of monthly air and land surface temperature extremes simulated using CMIP5 and CMIP6 versions of the Beijing Climate Center climate model. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 140, n. 1, p. 487-502, 2020.

OLIVEIRA, E. Seca provoca perdas de R\$ 70 bilhões com redução da colheita de grãos. **O Globo-Economia**, 23 fev. 2022.

O'NEILL, B. C. et al. The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. **Geoscientific Model Development**, v. 9, n. 9, p. 3461-3482, 2016.

PIANI, C.; HAERTER, J. O.; COPPOLA, E. Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 99, n. 1, p. 187-192, 2010.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JUNIOR, J.; EVANGELISTA, S. R. M.; OTAVIAN, A. F.; ÁVILA, A. M. H. de; EVANGELISTA, B. A.; MARIN, F. R.; MACEDO JUNIOR, C.; PELLEGRINO, G. Q.; COLTRI, P. P.; CORAL, G. A nova geografia da produção agrícola no Brasil. In: DECONTO, J. G. (Coord.). **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária: Unicamp, 2008. p. 24-71.

POZZA, E.; ALVES, M. Impacto do potencial das mudanças climáticas sobre as doenças fúngicas do cafeeiro no Brasil. Em: GHINI, R.; HAMADA, E. (Eds.). **Mudanças climáticas: impactos**

- sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 213-233.
- PRABHU, A.; SILVA, S.; FILLIPI, M. Impacto do potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do arroz no Brasil. Em: GHINI, R.; HAMADA, E. (Eds.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 141-158.
- RIVERA, J.; ARNOULD, G. Evaluation of the ability of CMIP6 models to simulate precipitation over Southwestern South America: Climatic features and long-term trends (1901-2014). **Atmospheric Research**, v. 241, p. 104953, 2020.
- ROWLAND, E.; CROSS, M.; HARTMANN, H. **Considering Multiple Futures: Scenario Planning To Address Uncertainty in Natural Resource Conservation**. Washington, DC: [s.n.].
- SETTELE, J.; BISHOP, J.; POTTS, S. Climate change impacts on pollination. **Nature Plants**, v. 2, n. 7, p. 16092, 2016.
- SONG, Y. et al. Advances in CMIP6 INM-CM5 over CMIP5 INM-CM4 for precipitation simulation in South Korea. **Atmospheric Research**, v. 247, p. 105261, jan. 2021.
- SPINONI, J. et al. A new global database of meteorological drought events from 1951 to 2016. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 22, p. 100593, 2019.
- STEVANOVIĆ, M. et al. The impact of high-end climate change on agricultural welfare. **Science Advances**, v. 2, n. 8, 5 ago. 2016.
- TERANDO, A. et al. **Using information from global climate models to inform policymaking-The role of the U.S. Geological Survey Open-File Report**. Reston, VA: [s.n.]. Disponível em: <<http://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20201058>>.
- VIECELI, L. Seca e geadas devem tirar ao menos R\$ 60 bi do PIB deste ano, indica consultoria. **Folha de S. Paulo**, Acesso em: 27 de ago. de 2022, 21 ago. 2021.
- XAVIER, A. et al. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961-2020). **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 16, p. 8390-8404, 30 dez. 2022.