



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RAFAEL ESTEVES DOHLER

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA IRRIGAÇÃO, ÉPOCA DE
PLANTIO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA EM DIFERENTES
REGIÕES BRASILEIRAS**

ALEGRE-ES

2021

RAFAEL ESTEVES DOHLER

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA IRRIGAÇÃO, ÉPOCA DE
PLANTIO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA EM DIFERENTES
REGIÕES BRASILEIRAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

Orientador: Prof. *D. Sc.* Alexandre Cândido Xavier

ALEGRE-ES

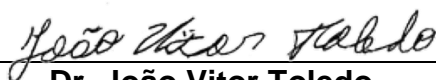
2021

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA IRRIGAÇÃO, ÉPOCA DE PLANTIO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA EM DIFERENTES REGIÕES BRASILEIRAS

Rafael Esteves Dohler

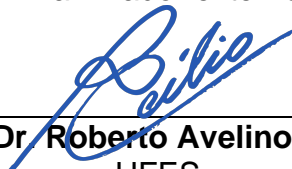
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

Aprovada em 14 de dezembro de 2021.



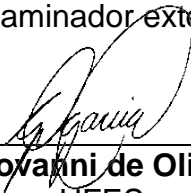
Dr. João Vitor Toledo

Instituto de Estudos Climáticos do Espírito Santo
Examinador externo



Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio

UFES
Examinador externo



Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia

UFES
Examinador interno



Prof. Dr. Alexandre Cândido Xavier

UFES
Orientador

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

D655i Dohler, Rafael Esteves, 1991-
Impactos das mudanças climáticas na irrigação, época de plantio e produtividade da cultura da soja em diferentes regiões brasileiras / Rafael Esteves Dohler. - 2021.
125 f. : il.

Orientador: Alexandre Cândido Xavier.
Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Soja. 2. Mudanças climáticas. 3. Irrigação. I. Xavier, Alexandre Cândido. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. III. Título.

CDU: 63

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Sérgio Dohler Ferreira e Maria do Socorro Esteves Dohler, por tudo que significam para mim.

“Entrega o teu caminho ao Senhor; confia nele, e ele tudo fará.”

(Salmos 37:5)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela vida concedida, bondade e fidelidade em todas as situações enfrentadas.

Aos meus amados pais, Maria do Socorro Esteves Dohler e Sérgio Dohler Ferreira, pelo exemplo de vida, dignidade, simplicidade, dedicação e valiosos ensinamentos concedidos ao longo da vida.

Aos meus irmãos, Saulo Esteves Dohler e Lucas Esteves Dohler, pelo apoio incondicional em todas as horas que precisei, pela confiança e convivência durante todos esses anos, os meus sinceros agradecimentos.

À minha namorada, Ana Carolina Durann, pelo companheirismo e compreensão.

Aos meus avôs e avós, tios e tias, primos e primas, pelo apoio e motivação ao longo desses anos de estudos.

Aos meus colegas de trabalho do destacamento de Ponto dos Volantes-MG, em especial Delmer Lucas, Edilene Felix, José Jarbas, Belizário Lott, Clayton Raimundo, Agnaldo Lima, Evaldo Xavier e Fellipe Ribeiro pela amizade, companheirismo e momentos de alegria.

Ao meu orientador Alexandre Cândido Xavier, exemplo de simplicidade e humildade, que sempre me socorreu durante os momentos que precisei e me incentivou a nunca desistir, meu muito obrigado pelos valiosos ensinamentos transmitidos e pela amizade construída durante todo este período.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES), pela oportunidade concedida.

BIOGRAFIA

RAFAEL ESTEVES DOHLER, filho de Sérgio Dohler Ferreira e Maria do Socorro Esteves Dohler, nasceu em 17 de julho de 1991 na cidade de Teófilo Otoni, estado de Minas Gerais.

Concluiu o segundo grau no colégio Cristo Redentor, na cidade de Juiz de Fora, estado de Minas Gerais.

Ingressou no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES/Alegre-ES) em 2009, graduando-se Engenheiro Florestal no mês de julho do ano de 2014.

Ingressou, em 2014, no mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais-PPGCF, área de concentração Meio ambiente e Recursos Hídricos no Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM/Jerônimo Monteiro-ES) do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES), concluindo em julho de 2016.

Em agosto de 2017 iniciou o curso de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), na área de concentração de Solo e Água e Interação com plantas do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES), submetendo-se a defesa em dezembro de 2021.

RESUMO

A produção agrícola é afetada por fatores climáticos, dentre eles estão as concentrações de gases de efeito estufa, precipitação e a temperatura. As mudanças climáticas na agricultura poderão trazer danos irreversíveis, portanto, a adoção de estratégias para mitigar tais mudanças é fundamental para garantir a produção de soja no mundo. Objetivou-se neste trabalho avaliar o impacto das mudanças climáticas sobre a demanda de água para irrigação, produtividade da soja e época de plantio em diferentes regiões brasileiras por meio do modelo AquaCrop-OS. Aplicou-se o modelo AquaCrop-OS, devidamente calibrado, para a determinação da demanda de água para irrigação, produtividade da soja e época de plantio no futuro, com base no *ensemble* de seis modelos climáticos globais do CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*), para os cenários de emissão intermediária (RCP 4.5) e de alta emissão (RCP 8.5), com referência ao período presente (1980-2015), em quatro municípios no estado da Bahia, três em Goiás, 19 no Mato Grosso e quatro em Mato Grosso do Sul. Avaliou-se o desempenho do modelo AquaCrop-OS para a determinação da produtividade da soja sob condições climáticas atuais. Foram realizadas simulações para determinar a melhor época de semeadura da soja para o futuro pelo *ensemble* dos MCGs de mudança climática do CMIP5. Para a avaliação dos resultados do impacto do clima na produtividade da soja no futuro e na produtividade da melhor época de semeadura, foi realizada a comparação com a produtividade atual (1980-2015), de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS, em termos da alteração relativa percentual da produtividade. O desempenho médio do AquaCrop-OS para todos os municípios, em regime de sequeiro, pelo erro absoluto médio (EAM) e raiz do quadrado médio do erro (RMSE), foi de 0,72 ton.ha⁻¹ e 0,81 ton.ha⁻¹, respectivamente. No regime irrigado, o desempenho médio do AquaCrop-OS para o EAM e RMSE foi de 0,49 ton.ha⁻¹ e 0,52 ton.ha⁻¹, respectivamente. As mudanças climáticas afetarão positivamente a produtividade da cultura da soja nos municípios avaliados, principalmente no plantio em regime irrigado do RCP 8.5, com aumento médio na produtividade de 18% até o fim do século XXI. Segundo as projeções, haverá, em média, nos municípios dos estados da Bahia, Goiás e Mato Grosso do Sul, uma redução da demanda hídrica para irrigação até o fim do século XXI. Entretanto, para os municípios do estado do Mato Grosso, ocorrerá o aumento na demanda hídrica. A época de semeadura tardia, em relação à adotada como padrão

nesse estudo, mostrou-se mais viável para atenuar os efeitos das alterações do clima.

Palavras-chave: Fatores climáticos; *Ensemble*; AquaCrop-OS; CMIP5.

ABSTRACT

Agricultural production is affected by climatic factors, including concentrations of greenhouse gases, precipitation and temperature. Climate change in agriculture may bring irreversible damage, therefore, the adoption of strategies to mitigate such changes is essential to guarantee the production of soy in the world. The objective of this work was to evaluate the impact of climate change on the demand for irrigation water, soybean yield and planting time in different Brazilian regions using the AquaCrop-OS model. The AquaCrop-OS model, duly calibrated, was applied to determine the water demand for irrigation, soybean yield and future planting time, based on the ensemble of six global climate models from CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5), for the intermediate emission (RCP 4.5) and high emission (RCP 8.5) scenarios, with reference to the present period (1980-2015), in four municipalities in the state of Bahia, three in Goiás, nineteen in Mato Grosso and four in Mato Grosso do Sul. The performance of the AquaCrop-OS model for the determination of soybean yield under current climatic conditions was evaluated. Simulations were performed to determine the best soybean sowing time for the future by the CMIP5 climate change GCM ensemble. To evaluate the results of the impact of climate on future soybean yield and on the yield of the best sowing time, a comparison was made with the current yield (1980-2015), according to simulations of the AquaCrop-OS model, in terms percentage relative change in productivity. The average performance of AquaCrop-OS for all municipalities, under rainfed conditions, by mean absolute error (EAM) and root mean square error (RMSE), was 0.72 ton.ha⁻¹ and 0.81 ton .ha⁻¹, respectively. In the irrigated regime, the average performance of AquaCrop-OS for EAM and RMSE was 0.49 ton.ha⁻¹ and 0.52 ton.ha⁻¹, respectively. Climate change will positively affect soybean crop productivity in the evaluated municipalities, mainly in irrigated planting under RCP 8.5, with an average increase in productivity of 18% by the end of the 21st century. According to projections, there will be, on average, in the municipalities of the states of Bahia, Goiás and Mato Grosso do Sul, a reduction in water demand for irrigation by the end of the 21st century. However, for municipalities in the state of Mato Grosso, there will be an increase in water demand. The late sowing time, compared to that adopted as the standard in this study, proved to be more viable to mitigate the effects of climate change.

Keywords: Climatic factors; Ensemble; AquaCrop-OS; CMIP5.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da produção agrícola de soja no Brasil.	20
Figura 2 – Cenários do IPCC-AR5 e forçante radiativa antropogênica global para cada um deles.	25
Figura 3 – Distribuição geográfica dos locais, os quais foram realizadas as simulações com o AquaCrop-OS para a estimar a demanda de água para irrigação e a produtividade da cultura da soja no cenário atual e futuro.	40
Figura 4 – Representação dos cenários climáticos futuros considerados nas simulações do modelo AquaCrop-OS, para avaliação dos impactos das mudanças climáticas na demanda de água para irrigação e na produtividade da cultura da soja.	43
Figura 5 – Esquema da metodologia utilizada no estudo.	47
Figura 6 – Variação percentual na temperatura média de ar a partir do <i>ensemble</i> dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 4.5, em comparação com o período atual para os 30 municípios.	54
Figura 7 – Variação percentual na temperatura média de ar a partir do <i>ensemble</i> dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 8.5, em comparação com o período atual para os 30 municípios.	56
Figura 8 – Variação percentual da precipitação pluvial a partir do <i>ensemble</i> dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 4.5, em comparação com o período atual para os 30 municípios.	58
Figura 9 – Variação percentual da precipitação pluvial a partir do <i>ensemble</i> dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 8.5, em comparação com o período atual para os 30 municípios.	60
Figura 10 – Variação percentual da evapotranspiração de referência a partir do <i>ensemble</i> dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 4.5, em comparação com o período atual para os 30 municípios.	62
Figura 11 – Variação percentual da evapotranspiração de referência a partir do <i>ensemble</i> dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 8.5, em comparação com o período atual para os 30 municípios.	64
Figura 12 – Variação percentual da produtividade da soja em regime de sequeiro, a partir do <i>ensemble</i> dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 4.5, em comparação com a produtividade atual, de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS para os 30 municípios.	70

Figura 13 – Variação percentual da produtividade da soja em regime de sequeiro, a partir do <i>ensemble</i> dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 8.5, em comparação com a produtividade atual, de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS para os 30 municípios.....	73
Figura 14 – Variação percentual da produtividade da soja em regime irrigado, a partir do <i>ensemble</i> dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 4.5, em comparação com a produtividade atual, de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS para os 30 municípios.	76
Figura 15 – Variação percentual da produtividade da soja em regime irrigado, a partir do <i>ensemble</i> dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 8.5, em comparação com a produtividade atual, de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS para os 30 municípios.	78
Figura 16 – Variação percentual da demanda hídrica para irrigação, a partir do <i>ensemble</i> dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 4.5 em comparação com a demanda hídrica atual, de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS para os 30 municípios.	80
Figura 17 – Variação percentual da demanda hídrica para irrigação, a partir do <i>ensemble</i> dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 8.5 em comparação com a demanda hídrica atual, de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS para os 30 municípios.	82
Figura 18 – Variação da produtividade da soja na data de semeadura recomendada no regime de sequeiro, a partir do <i>ensemble</i> dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 4.5, em comparação com a produtividade atual semeada na data de 21/10 para os 30 municípios.	86
Figura 19 – Variação da produtividade da soja na data de semeadura recomendada no regime de sequeiro, a partir do <i>ensemble</i> dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 8.5, em comparação com a produtividade atual semeada na data de 21/10 para os 30 municípios.	88
Figura 20 – Variação da produtividade da soja na data de semeadura recomendada no regime irrigado, a partir do <i>ensemble</i> dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 4.5, em comparação com a produtividade atual semeada na data de 21/10 para os 30 municípios.	90
Figura 21 – Variação da produtividade da soja na data de semeadura recomendada no regime irrigado, a partir do <i>ensemble</i> dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do	

RCP 8.5, em comparação com a produtividade atual semeada na data de 21/10 para os 30 municípios.92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros calibrados da cultura da soja BRS 284 utilizados no AquaCrop-OS.....	36
Tabela 2 – Municípios avaliados sob os cenários atual e futuro, com as suas siglas, coordenadas geográficas, altitude, clima (ALVARES et al., 2013), tipo e textura do solo.....	38
Tabela 3 – Modelos Climáticos Globais do conjunto CMIP5 utilizados, contendo os institutos nos quais esses foram desenvolvidos, resolução horizontal aproximada (latitude/longitude) e referências.	42
Tabela 4 – Cenários de emissão de gases de efeito estufa e períodos considerados, com a concentração de dióxido de carbono referente ao valor que este assume no ano central do período.	45
Tabela 5 – Municípios avaliados com clima (ALVARES et al., 2013), média da precipitação pluvial e temperatura do ar do período entre setembro e março para dos dados atuais, e o tipo de solo.....	52
Tabela 6 – Desempenho do modelo AquaCrop-OS para cada município no período entre 2010 e 2015 em regime de sequeiro, com data de semeadura no dia 21/10...66	66
Tabela 7 – Desempenho do modelo AquaCrop-OS para cada município no período entre 2010 e 2015 em regime irrigado, com data de semeadura no dia 21/10.	68
Tabela 8 – Data de semeadura de soja recomendada a curto (2020-2039), médio (2040-2069) e longo (2070-2099) prazo, sob emissão intermediária (RCP 4.5) e alta (RCP 8.5), em regime de sequeiro e irrigado para os 30 municípios.....	84

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo geral	18
2.2 Objetivos específicos	18
3. REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 A cultura de soja no Brasil	19
3.2 O modelo AquaCrop: utilização e avaliação	21
3.3 Cenários climáticos futuros	24
3.4 Modelos Climáticos Globais (MCGs)	25
3.4.1 CNRM-CM5	26
3.4.2 CSIRO-MK3.6.0	27
3.4.3 GISS-E2-R.....	29
3.4.4 HadGEM2-ES	30
3.4.5 inmCM4	31
3.4.6 MIROC-ESM.....	32
3.4.7 Multimodelo <i>Ensemble</i>	33
4. METODOLOGIA	36
4.1 Modelo de simulação	36
4.2 Cultura em estudo.....	36
4.3 Dados do solo	37
4.4 Locais de estudo	39
4.5 Dados meteorológicos do cenário atual	41
4.6 Dados meteorológicos do clima futuro	41
4.7 Simulações dos impactos do clima futuro na demanda de água para irrigação e na produtividade da soja	45
4.8 Simulações das melhores épocas para semeadura da soja no futuro	46
4.9 Avaliação dos resultados	47
4.9.1 Avaliação da produtividade de soja pelo modelo AquaCrop-OS sob condições climáticas atuais.	47
4.9.2 Avaliação geral dos resultados	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1 Clima atual	51
5.2 Projeções Climáticas.....	52
5.3 Desempenho do modelo AquaCrop-OS para os dados atuais	65

5.4 Produtividade da soja para o futuro	68
5.5 Demanda de água para irrigação da soja no futuro	78
5.6 Época de semeadura para a soja no futuro	83
6. CONCLUSÕES	93
REFERÊNCIAS	94
APÊNDICE A – Valores da temperatura média do ar, precipitação pluvial e evapotranspiração de referência para o período atual e futuro, em cada município nos cenários de RCP 4.5, RCP 8.5 e histórico.....	106
APÊNDICE B – Valores das produtividades da soja e das lâminas de irrigação em cada período, no regime de sequeiro e irrigado, para cada município nos cenários de RCP 4.5 e RCP 8.5.	110
APÊNDICE C – Melhores datas de semeadura no regime sequeiro para cada município e período futuro, bem como a produtividade estimada na data.	118
APÊNDICE D – Melhores datas de semeadura no regime irrigado para cada município e período futuro, bem como a produtividade estimada na data.	122

1. INTRODUÇÃO

A produção agrícola é afetada por fatores climáticos, como mudanças nas concentrações de gases de efeito estufa, precipitação, temperatura, radiação e escassez de água (DUBEY; SHARMA, 2018). Os impactos das mudanças climáticas na agricultura poderão ser irreversíveis, portanto, a adoção de estratégias para mitigar tais impactos é fundamental para garantir a segurança alimentar e energética nos países agrícolas (MARENGO et al., 2011).

Conforme o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as emissões recentes de gases de efeito estufa são as mais elevadas da história (IPCC, 2014). Segundo as projeções de concentrações representativas (RCP) do Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5), ocorrerá o aumento da temperatura média global da superfície do planeta em torno de 1,4 a 4,4°C até o ano de 2100, o que pode comprometer o abastecimento de água e a produtividade alimentar em várias partes do mundo (IPCC, 2021).

Modelos de simulação de culturas têm sido amplamente utilizados para simular a produção de biomassa e rendimento de culturas (BATTISTI; SENTELHAS; BOOTE, 2017; BIRD et al., 2016; CHALLINOR et al., 2010). Uma das vantagens do uso de modelos de simulação de culturas é a possibilidade de extrapolação das simulações de um único período ou de um único local experimental para diferentes locais e condições climáticas (JONES et al., 2003). Pesquisas sobre os possíveis impactos das mudanças climáticas na agricultura utilizando as projeções climáticas são realizadas por meio desses modelos (PIRTTIOJA et al., 2015; WHITE et al., 2011).

Estudos têm utilizado os modelos de cultivo para avaliar o efeito das mudanças climáticas em diferentes culturas, como para o trigo (ASSENG et al., 2013; MARTRE et al., 2015; PIRTTIOJA et al., 2015), milho (ARAYA et al., 2015; BASSU et al., 2014; BENDER, 2017), arroz (LI et al., 2015), cana-de-açúcar (MARIN et al., 2015), cevada (DUBEY; SHARMA, 2018), girassol (TODOROVIC et al., 2009) e soja (BATTISTI, 2016). No entanto, existem poucos estudos sobre os efeitos das alterações do clima na demanda de água para irrigação e na produtividade da soja nos principais municípios agrícolas do Brasil.

A maioria dos modelos de simulação de cultura requer muitas variáveis de entrada e informações sobre as culturas que não estão disponíveis (FOSTER et al., 2017). Assim, em 2009, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e

Alimentação (FAO) desenvolveu o modelo AquaCrop, que requer um número relativamente pequeno de parâmetros em comparação com outros modelos de culturas, e que foi validado e aplicado para vários tipos de culturas em diferentes condições ambientais e manejo (ABEDINPOUR et al., 2012; FARAHANI; IZZI; OWEIS, 2009; KUMAR et al., 2014; MKHABELA; BULLOCK, 2012; SAAD; MOHAMED; EL-SANAT, 2014; SIMBA et al., 2013).

O modelo AquaCrop simula a produtividade das culturas em relação ao fornecimento de água e o manejo agrônômico (HSIAO et al., 2009; RAES et al., 2009; STEDUTO et al., 2009). Além disso, o AquaCrop leva em consideração os impactos das concentrações de dióxido de carbono na produtividade da cultura, bem como os efeitos da temperatura no crescimento das plantas (MARTINS; TOMASELLA; DIAS, 2019).

A soja (*Glycine max* (L) Merrill) é uma planta oleaginosa que se destaca por ser a principal fonte de proteína alimentar do planeta (SILVA et al., 2018; CONAB, 2018). A soja é uma *commodity* global e o Brasil configura como o segundo maior produtor do mundo, representando parcela significativa das exportações brasileiras (FAOSTAT, 2018). A maior parte de soja do Brasil é produzida nas regiões Centro-Oeste (45,2%), Nordeste (32,4%) e Sul (10%) (CONAB, 2018). Entretanto, há um aumento significativo da pressão sobre o uso sustentável de água doce no mundo devido à expansão agrícola e o desmatamento (NEJADHASHEMI; WARDYNSKI; MUNOZ, 2012). Neste sentido, vários estudos tentam compreender os efeitos das mudanças climáticas na demanda e no uso da água para irrigação na agricultura em cenários futuros (GONDIM et al., 2012; SCHALDACH et al., 2012; SILVA et al., 2018b; WOZNICKI; NEJADHASHEMI; PARSINEJAD, 2015).

Alguns autores afirmam que planos de adaptação às alterações do clima podem ser tomados para amenizar os impactos na agricultura (KUCHARIK; SERBIN, 2008; PIRES et al., 2016; TRAVASSO et al., 2009). Desta forma, a adoção da estratégia de mudança na data de semeadura das culturas pode ser um importante procedimento para garantir a produtividade para o futuro nos países onde a agricultura é a principal atividade econômica (RIO et al., 2016).

Tendo em vista a importância da cultura da soja no cenário mundial e a contribuição do Brasil no mercado global, é essencial avaliar o efeito das mudanças climáticas sobre a produtividade e a demanda de água para irrigação dessa cultura, bem como avaliar a adoção da estratégia de mudança na data de semeadura, para

mitigar os impactos negativos nos principais municípios produtores do Brasil, a fim de melhorar o rendimento da cultura.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo avaliar o impacto das mudanças climáticas sobre a demanda de água para irrigação e a produtividade da soja em diferentes regiões brasileiras por meio do modelo AquaCrop-OS.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o desempenho do modelo AquaCrop-OS, devidamente calibrado, para a determinação da produtividade da soja sob condições climáticas atuais (2010-2015);
- Determinar a demanda de água para irrigação e a produtividade da soja para o futuro, por meio do *ensemble* dos MCGs do CMIP5, sob cenário de emissão intermediário (RCP 4.5) e de alta emissão (RCP 8.5) de gases de efeito estufa, a curto (2020-2039), médio (2040-2069) e longo (2070-2099) prazo.
- Determinar a melhor época de semeadura da soja, pelo *ensemble* dos MCGs e cenário de mudanças climáticas do CMIP5, a curto (2020-2039), médio (2040-2069) e longo (2070-2099) prazo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

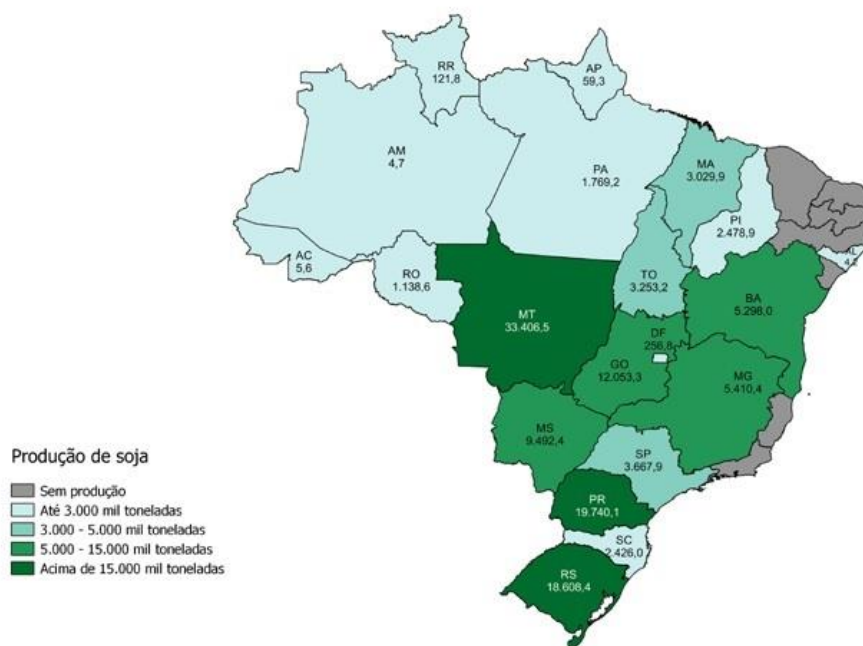
3.1 A cultura de soja no Brasil

A produção dos Estados Unidos, Brasil e Argentina representa cerca de 78% da soja mundial (FAOSTAT, 2018). Na safra 2019/2020, a produção nacional de soja teve um aumento de 7.220 toneladas em relação à safra anterior, representando um acréscimo da produção de 6% (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2020).

A introdução da soja no Brasil ocorreu no estado da Bahia no ano de 1882, porém sem sucesso. Em 1891, novos genótipos foram descobertos e testados em São Paulo, com melhor adaptação. Na década de 1980, houve a expansão da cultura para todos os estados da região do Centro-Oeste brasileiro (FARIAS; NEUMAIER; NEPOMUCENO, 2009; ZANCOPE; NASSER, 2005).

Nos últimos anos, os estados do Mato Grosso, Goiás, Mato Grosso do Sul e Bahia vem vêm recebendo destaque na produção de soja no país. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (2020), o cultivo da soja nesses estados relativo à safra 2019/2020 apresentou as maiores produtividades do país, com média de 3.320 toneladas por hectare. Na mesma safra, o estado do Mato Grosso se destacou-se como o maior produtor de soja do Brasil, com uma produção de 33.406 toneladas, seguido dos estados do Paraná, com 19.740 toneladas, e Rio Grande do Sul, com 18.608 toneladas (Figura 1).

Figura 1 – Mapa da produção agrícola de soja no Brasil.



Fonte: Companhia Nacional de Abastecimento (2020).

A soja cultivada atualmente (*Glycine max* (L) Merrill) é uma planta herbácea, incluída na classe Dicotyledoneae, ordem Rosales, família Leguminosae, e possui mecanismo de fixação de carbono do tipo C3 (BORÉM, 2005; GAVA, 2014). Segundo Doorenbos e Kassam (1979) e Franke e Dorfman (2000), a demanda hídrica para a soja varia entre 450 e 850 mm, levando em consideração as variações do clima durante o crescimento da cultura. Conforme Farias, Nepomuceno e Neumaier (2007), para o maior rendimento de grãos de soja são necessários 650 a 750 mm de água, bem distribuídos em todo o ciclo da cultura. Já em relação à temperatura, a soja adapta-se melhor às regiões onde as temperaturas oscilam entre 20°C e 30°C, sendo a temperatura ideal para seu desenvolvimento em torno de 30°C.

Dentre os fatores climáticos, o fotoperíodo, a temperatura e a disponibilidade hídrica são os que mais afetam o desenvolvimento e a produtividade da soja (FARIAS; NEUMAIER; NEPOMUCENO, 2009). Assim, modelos de simulação de culturas podem ser utilizados para avaliar os efeitos dos fatores climáticos na produtividade das culturas, auxiliando na escolha de melhores estratégias de manejo sob diversas condições ambientais (WHITE et al., 2011).

3.2 O modelo AquaCrop: utilização e avaliação

Os modelos de simulação de culturas são ferramentas valiosas para quantificar a resposta do rendimento das culturas à água e para conceber estratégias para melhorar a gestão da água na agricultura (FOSTER et al., 2017). Entretanto, a maioria dos modelos requer muitas variáveis de entrada e informações sobre as culturas que não estão disponíveis. O AquaCrop (RAES et al., 2018) é um modelo multicultural que simula o rendimento limitado por água em diversos tipos de culturas sob diferentes condições ambientais, combinando precisão, robustez e simplicidade (RAES et al., 2009; STEDUTO et al., 2009).

O AquaCrop foi projetado como uma evolução do documento de Irrigação e Drenagem FAO 33 (DOORENBOS; KASSAM, 1979), que representa a produtividade das culturas em relação ao fornecimento de água, utilizando a relação entre a evapotranspiração real e potencial durante as estações de crescimento. Esse modelo simula o balanço hídrico do solo e os processos de crescimento da cultura em função dos dados de entrada da cultura, solo, clima e manejo (FOSTER et al., 2017).

Os dados de entrada do modelo AquaCrop consistem nas características de determinada cultura calibrada para o local de estudo, nos dados meteorológicos do local, nas características do solo e nas práticas de manejo utilizadas no plantio da cultura. O AquaCrop leva em consideração os impactos do estresse hídrico causado não apenas pelo fechamento estomático, mas também pela redução na expansão foliar e na senescência prematura do dossel. Além disso, o modelo contabiliza os efeitos da temperatura no crescimento das culturas, os impactos de elevadas concentrações de dióxido de carbono na atmosfera e na produtividade das culturas, o que o torna adequado para este estudo (RAES et al., 2018).

O modelo AquaCrop é capaz de estimar a produtividade das culturas com base na duração do ciclo de colheita fixo (dias corridos-CAD) ou nos graus-dia de crescimento (GDD). As simulações do modelo produzem saídas diárias de várias variáveis, como a produtividade da cultura ($t \cdot ha^{-1}$), biomassa ($t \cdot ha^{-1}$), transpiração (mm), produtividade da água de biomassa ($kg \cdot m^{-3}$), data de plantio, ciclo da cultura (dias) e irrigação (mm) (RAES et al., 2018).

Para a realização das simulações, o AquaCrop separa a evapotranspiração real (ET) em evaporação do solo (E) e transpiração da cultura (Tr) (Equação 1). A

produtividade da cultura (Y) é obtida multiplicando a biomassa acima do solo (B) pelo índice de colheita de referência ajustado (HI) (Equação 2) (RAES et al., 2018).

$$ET = E + Tr \quad (1)$$

$$Y = HI \cdot B \quad (2)$$

A separação de ET em Tr evita o efeito confuso do uso improdutivo da água, que é importante principalmente durante a cobertura incompleta do solo. Portanto, o modelo estima a produção direta de biomassa a partir da transpiração real da cultura e de um parâmetro de produtividade da água (Equação 3) (RAES et al., 2018).

$$B = WP \cdot \sum Tr \quad (3)$$

Em que B é a biomassa produzida cumulativamente (kg por m²), $\sum Tr$ é o somatório ao longo do período da transpiração da cultura (mm ou m³ por unidade de superfície), e WP é o parâmetro de produtividade da água (kg de biomassa por m² e por mm de água acumulada transpirada ao longo do período em que a biomassa é produzida). A produtividade da água de biomassa é fundamental para o funcionamento do AquaCrop, pois o seu mecanismo de funcionamento é acionado pela água (RAES et al., 2018).

Para gerar resultados mais próximos da realidade é inserido um conjunto completo de componentes adicionais junto à Equação 3, incluindo: o solo, com seu balanço hídrico; a cultura, com seus processos de desenvolvimento, crescimento e produtividade; e a atmosfera, com seu regime térmico, precipitação, demanda evaporativa e concentração de dióxido de carbono. Além disso, alguns aspectos do manejo são considerados, por exemplo, irrigação, fertilização, cobertura morta, ervas daninhas, pois afetam o balanço hídrico do solo, o desenvolvimento das culturas e, portanto, a produtividade final. Entretanto, o modelo não considera o efeito de pragas e doenças nas culturas (RAES et al., 2018).

Farahani, Izzi e Oweis (2009) usaram o modelo AquaCrop para entender o comportamento de regimes de irrigação em pleno (100%) e deficitário (40, 60 e 80% do total) para o algodão, na estação de verão do ambiente mediterrâneo no norte da Síria. O AquaCrop apresentou desempenho preciso na previsão da

evapotranspiração e do rendimento nos regimes de irrigação de 40 e 100%, com erros em até 10%.

Simba et al. (2013) utilizaram o modelo AquaCrop para investigar as características climáticas responsáveis pelo rendimento nas variedades de milho, sorgo e milheto e calibraram o modelo usando o parâmetro balanço hídrico, para a produção de biomassa e rendimento. O modelo apresentou índices de colheita altos, porém dentro da faixa dos índices observados. O modelo ainda forneceu taxas ótimas de transpiração e necessidades de água, que ajudam nos locais onde a irrigação automatizada é implementada.

Saad, Mohamed e El-Sanat (2014) empregaram o modelo AquaCrop no Egito para avaliarem a produtividade na colheita de plantas sob condições de solo não salino e salino. Segundo os autores, o AquaCrop foi capaz de simular a produtividade do milho sob diferentes regimes de irrigação, níveis de adubação nitrogenada e aplicação de cobertura morta.

Alguns autores realizaram a calibração e validação do modelo AquaCrop para um determinado local e cultura antes de realizar as simulações. Abedinpour et al. (2012) simularam a produtividade do cultivo de milho no modelo AquaCrop para um ambiente semiárido da Índia, utilizando dados experimentais de dois anos (2009 e 2010) para a calibração e validação de modelos. O modelo previu que a produtividade varia de 2,35% a 27,5% para diferentes níveis de irrigação e nitrogênio.

Mkhabela e Bullock (2012) calibraram e validaram o modelo AquaCrop para produção de trigo e teor total de água no solo nas praias canadenses, e observaram que a simulação do rendimento de grãos de trigo e do teor de água no solo estão dentro de limites aceitáveis. Kumar et al. (2014) simularam a produtividade sob os diferentes módulos de salinidade de quatro variedades de trigo, e descobriram que o modelo AquaCrop fornece boa previsão no rendimento do trigo em relação à produtividade de biomassa e água para todas as variedades e níveis de salinidade.

Todorovic et al. (2009) avaliaram três modelos de cultura para o girassol, e concluíram que o modelo AquaCrop obteve melhor desempenho para a simulação da biomassa e do rendimento na colheita do que os outros dois modelos. Battisti, Sentelhas e Boote (2017) avaliaram cinco modelos de culturas para estimar a produtividade da soja no sul do Brasil, e o modelo AquaCrop apresentou um dos melhores resultados, com RMSE de 536 kg.ha⁻¹.

Em 2017, Foster et al. (2017) desenvolveram um código aberto do modelo AquaCrop, chamado AquaCrop-OpenSource (AquaCrop-OS). O AquaCrop-OS é implementado no software Matlab e pode ser executado nos sistemas operacionais Windows, Macintosh e Linux. Além disso, o modelo inclui a capacidade de execução de simulações em lotes, para reduzir os tempos de execução ao realizar simulações em grandes áreas, condições e períodos de tempo (FOSTER et al., 2017).

Assim, o uso de modelos de culturas, como o AquaCrop, pode servir como uma ferramenta na avaliação dos efeitos das mudanças climáticas na produtividade (ASSENG et al., 2013; WHITE et al., 2011), e determinar as melhores épocas de semeadura no futuro (BATTISTI; SENTELHAS, 2014).

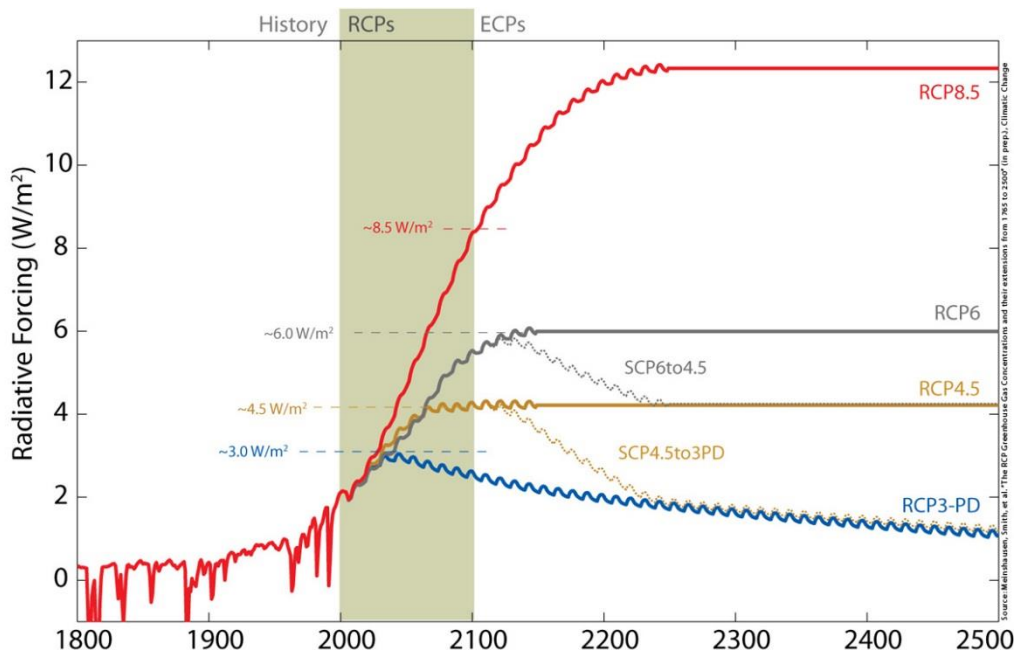
3.3 Cenários climáticos futuros

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC*) da ONU, por meio de suas instituições integrantes, realiza o estudo e proposição dos modelos de mudanças climáticas (PINHEIRO et al., 2014). Em 2008, 20 grupos de modelagem climática de todo o mundo concordaram em promover um novo conjunto de experimentos coordenados de modelo climático. Esses experimentos compõem a quinta fase do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP5) (TAYLOR et al., 2012).

Como parte da fase preparatória para o desenvolvimento dos novos cenários para o Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC, criou-se os chamados RCPs (*Representative Concentration Pathways*). Os RCPs são nomeados pelos níveis das forçantes radiativas e servem como parâmetros de entrada para modelagem do clima nos experimentos do CMIP5 (SILVEIRA et al., 2013).

As simulações dos modelos do CMIP5 consideram quatro tipos de cenários com base nos valores da forçante radiativa: i) cenário de baixa emissão de gases de efeito estufa, RCP 2.6, em que a forçante radiativa atinge um pico de 3 Wm^{-2} e decai para valores de $2,6 \text{ Wm}^{-2}$ em 2100; ii) cenários de emissão intermediária, RCP 4.5 e RCP 6.0, em que a forçante radiativa estabiliza em valores próximos de $4,5$ e $6,0 \text{ Wm}^{-2}$, respectivamente; iii) cenário de alta emissão, no qual a forçante radiativa cresce ao longo do século 21 atingindo valores da ordem de $8,5 \text{ Wm}^{-2}$ em 2100 (TAYLOR et al., 2012). Na Figura 2 é apresentado o comportamento dos principais cenários do IPCC-AR5: RCP 8.5, RCP 6, RCP 4.5 e RCP 3-PD.

Figura 2 – Cenários do IPCC-AR5 e forçante radiativa antropogênica global para cada um deles.



Fonte: <http://www.pik-potsdam.de/~mmalte/rcps/>.

3.4 Modelos Climáticos Globais (MCGs)

Os Modelos Climáticos Globais Atmosfera-Oceano (AOMCGs) são ferramentas úteis para melhorar a compreensão do sistema climático, como os mecanismos de funcionamento, a variabilidade espaço-temporal, níveis de previsibilidade, e realizar as projeções climáticas futuras (IPCC, 2014).

As projeções climáticas fornecidas pelos MCGs do CMIP5 são realizadas utilizando a nova geração de cenários forçantes. Os cenários do CMIP5 fornecem uma gama de dados climáticos futuros simulados, que podem ser usados como base para explorar os impactos das mudanças climáticas e questões políticas de considerável interesse e relevância para a sociedade. O CMIP5 baseia-se nos sucessos de fases anteriores do CMIP (TAYLOR et al., 2012).

Na fase preparatória para o desenvolvimento dos novos cenários para o Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC, foram criados os chamados RCPs (Caminhos Representativos de Concentração), que funcionam como entrada para modelagem climática e química atmosférica nos experimentos numéricos do CMIP5. Os RCPs recebem seus nomes a partir dos níveis das forçantes radiativas, conforme relatado

por cada equipe de modelagem elaboradora de cada RCP (SILVEIRA et al., 2013). Os conjuntos de dados CMIP5 são disponibilizados ao público por meio da federação de serviços Earth System Grid (ESG) (COLLIER et al., 2011).

No experimento do CMIP5, os conjuntos de modelos possuem a nomenclatura “rip”, em que “r” significa realização, ou seja, números de rodadas com a mesma física e condições iniciais diferentes; “i” representa inicialização, isto é, os diferentes estados de inicialização utilizados; e “p” quer dizer perturbação física, ou seja, as várias parametrizações físicas usadas no modelo (TAYLOR et al., 2012).

Nos próximos tópicos são apresentados os MCGs utilizados neste trabalho, os quais foram escolhidos conforme Silveira et al. (2013) e Pinheiro et al. (2014), que descreveram esses modelos entre aqueles de melhor desempenho na representação da precipitação em diferentes regiões brasileiras.

3.4.1 CNRM-CM5

O modelo de circulação global CNRM-CM5 foi desenvolvido em conjunto pelo CNRM-GAME (Centro Nacional de Pesquisas Meteorológicas-Grupo de Estudos da Atmosfera Meteorológica) e CERFACS (Centro Europeu de Pesquisa e Formação Avançada) da França, a fim de contribuir para a fase 5 do CMIP. A versão denominada CNRM-CM5 foi desenvolvida para tratar das principais deficiências encontradas no modelo CNRM-CM3 (VOLDOIRE et al., 2013).

Uma das principais melhorias do modelo CNRM-CM5 foi a resolução horizontal que aumentou tanto na atmosfera (de 2,8° para 1,4°) quanto no oceano (de 2° para 1°). O CNRM-CM5 possui uma representação mais realista do clima e a uma redução de desvios no período pré-industrial. Assim, a dinâmica em larga escala foi aprimorada tanto na atmosfera quanto no oceano e o viés na temperatura média da superfície foi reduzido. No entanto, algumas falhas permanecem, como vieses significativos da precipitação e da radiação em muitas regiões (VOLDOIRE et al., 2013).

Estudos têm utilizado o modelo CNRM-CM5 para avaliar os diferentes impactos do clima. Akurut, Willems e Niwagaba (2014) analisaram diversos modelos do projeto CMIP5 com o objetivo de estudar o impacto das mudanças climáticas na quantidade e qualidade da água no lago Victoria na África Oriental, e o modelo

CNRM-CM5 apresentou um dos melhores desempenhos, com eficientes estimativas para precipitação mensal e anual.

Corrêa et al. (2017) realizaram modelagem climática com três modelos climáticos, para fornecer a previsão do comportamento médio do vento em níveis próximos à superfície. O melhor resultado qualitativo foi gerado para o modelo HadGEM2, e os modelos CNRM-CM5 e CSIRO-Mk3.6.0 obtiveram um resultado intermediário.

No Brasil, Valverde e Paiva Junior (2018) investigaram a relação entre a temperatura do ar e as emissões veiculares de CO² na área urbana do ABC Paulista, utilizando dois modelos climáticos do IPCC. No cenário RCP 8.5, o modelo CNRM-CM5 simulou as maiores anomalias, com um aumento na temperatura máxima anual de 3,49°C para o período 2041-2070 e de 6,34°C para o período de 2071-2100. O modelo CNRM-CM5 demonstrou o menor erro sistemático tendo como referência os dados da Reanálise - ERA Interim.

Kamworapan e Surussavadee (2019) avaliaram o desempenho de todos os 40 diferentes modelos climáticos globais do CMIP5, para simular os dados climatológicos de temperatura e precipitação no Sudeste da Ásia. O CNRM-CM5 apresentou melhor desempenho entre os 40 MCGs, no qual seu erro total foi 3,25 vezes menor que o MCG com o pior desempenho, e o modelo apresentou o melhor desempenho para terra. Conforme os autores, os resultados mostraram que o 6-GCM-*Ensemble* tem melhor desempenho e é seguido pelo CNRM-CM5, com erros totais de 11,84 e 13,69, respectivamente. Os autores sugerem o uso do 6-GCM-*Ensemble* e CNRM-CM5 para estudos e projeções climáticas para o Sudeste Asiático.

Viegas et al. (2019) avaliaram o impacto de dois tipos de El Niño na precipitação da América do Sul, utilizando dados observados e de três modelos climáticos do CMIP5: CNRM-CM5, HadGEM2-ES e MPI-ESM-LR. O modelo CNRM-CM5 apresentou o melhor desempenho para reproduzir os padrões anômalos de temperatura na superfície do mar, nos tipos de El Niño do Pacífico Central e do Pacífico Oriental.

3.4.2 CSIRO-MK3.6.0

A parceria entre a Organização de Pesquisa Científica e Industrial da Commonwealth (CSIRO) e o Centro de Excelência em Mudanças Climáticas de Queensland (QCCCE) criaram o modelo CSIRO-Mk3.6.0 na Austrália. O modelo CSIRO-Mk3.6.0 é uma atualização do MCG CSIRO-Mk3.5. O componente atmosférico do CSIRO-Mk3.6.0 possui resolução horizontal de aproximadamente $1,9^\circ \times 1,9^\circ$ de latitude e longitude (COLLIER et al., 2011). A melhoria mais importante do modelo CSIRO-Mk3.6.0 em relação ao seu antecessor é a inclusão de um esquema de aerossol interativo e um esquema de radiação atualizado (ROTSTAYN et al., 2010).

Segundo Rotstayn et al. (2010), o modelo CSIRO-Mk3.6.0 possui várias melhorias, especialmente em relação às chuvas de inverno. O modelo consegue capturar melhor o padrão espacial do principal modo de chuva relacionado a El Niño-Oscilação Sul que está centrado no leste da Austrália, enquanto as versões anteriores não capturavam corretamente, considerado um viés típico encontrado nos MCG. Pinheiro et al. (2014) pesquisaram 13 modelos do CMIP5 que melhor expressam a atuação dos Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis no nordeste brasileiro. Para os autores, o modelo CSIRO-MK3.6.0 apresentou o menor viés entre os modelos estudados.

No Paquistão, Khan et al. (2018) avaliaram o desempenho de 31 MCGs do CMIP5 para identificar um conjunto adequado para temperatura máxima, média e mínima do ar diária, e para precipitação, usando vários conjuntos de dados observados. Conforme os autores, o modelo CSIRO-Mk3.6.0 mostrou o melhor resultado em termos de simulação da temperatura máxima e mínima. Também no Paquistão, Ahmed et al. (2019) avaliaram o desempenho de 20 MCGs do CMIP5 com o objetivo de simular a precipitação média anual, de monção e inverno. O modelo CSIRO-Mk3.6.0 foi identificado como o MCG com menor desempenho na simulação de precipitação anual.

Na Indonésia, Aflahah et al. (2019) avaliaram a eficiência dos dados dos MCGs do CMIP5, comparando quantitativamente o padrão espacial da média da precipitação e o desvio padrão dos dados do CMIP5 em relação aos dados GPCP, GPCC e CRU no período de 1980 a 2005. Segundo os autores, os modelos NorESM1-M, NorESM1-ME, GFDL-ESM2M e CSIRO-MK3.6.0 representam melhor a precipitação média do que outros.

3.4.3 GISS-E2-R

O modelo GISS-E2-R foi desenvolvido pela NASA no Instituto Goddard de Estudos Espaciais (GISS) dos Estados Unidos e possui resolução horizontal de 2° x 2,5° de latitude e longitude. O “R” no nome do modelo denota o tipo do modelo oceânico utilizado, neste modelo, chamado de Russell. O acesso aos dados e outras informações sobre o modelo podem ser obtidos em <http://www.giss.nasa.gov> (SCHMIDT et al., 2014).

Chen, Pryor e Li (2012) simularam com nove MCGs do CMIP5 o clima eólico na China e avaliaram comparando com um conjunto de dados observados. Segundo os autores, o modelo GISS-E2-R exibiu um alto grau de concordância com relação às tendências temporais, velocidade média do vento, variabilidade interanual e intra-anual, e sazonalidade da velocidade do vento.

Silveira et al. (2013) avaliaram alguns modelos do CMIP5 para a região nordeste do Brasil, região Amazônica e bacia do Prata quanto à representação da precipitação. De acordo com os autores, para a Amazônia, o modelo GISS-E2-R destacou-se, sendo considerado como uma boa opção para investigação dos efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos na região.

No norte da Eurásia, Miao et al. (2014) avaliaram o desempenho de modelos do CMIP5 na simulação da temperatura do ar intra-anual, anual e na década. Conforme os autores, a maioria dos MCGs forneceram previsões razoavelmente precisas da temperatura média do ar. Entre os 24 MCGs utilizados, os modelos BCC-CSM 1.1 e GISS-E2-R manifestaram o melhor desempenho com um viés mínimo de 0,10°C.

Na China, Ouyang et al. (2015) utilizaram seis modelos climáticos globais do CMIP5 sob três vias de concentração específica (RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 8.5) para avaliar o impacto da mudança climática no escoamento de água nos canais da bacia hidrográfica de Huangnizhuang. Conforme os autores, para as variáveis de temperatura máxima e mínima anual, o modelo GISS-E2-R apontou os aumentos mais baixos para o futuro nas três RCPs.

Nos Estados Unidos, Fant et al. (2017) usaram cinco modelos climáticos para avaliar a qualidade futura da água até 2100, considerando quatro parâmetros de qualidade da água: temperatura da água, oxigênio dissolvido, nitrogênio total e fósforo total. Segundo os autores, o modelo climático GISS-E2-R projetou menores

aumentos na temperatura do ar que os outros modelos e apresentou condições mais úmidas na região Leste.

3.4.4 HadGEM2-ES

A família do Modelo Ambiental Global Hadley Center versão 2 (HadGEM2) foi projetada no Reino Unido com o objetivo de simular e entender a evolução do clima em escala central, incluindo feedbacks biogeoquímicos. O modelo do sistema Terra do HadGEM2 (HadGEM2-ES) compõe a atmosfera física subjacente e os componentes oceânicos, com a adição de esquemas para caracterizar aspectos do sistema terrestre. O modelo possui resolução horizontal de 1,25° x 1,875° de latitude e longitude (COLLINS et al., 2011).

Su et al. (2013) avaliaram o desempenho de 24 MCGs do CMIP5 no platô tibetano oriental, comparando as saídas do modelo com as observações históricas no período de 1961 a 2005. Os autores afirmam que, para a temperatura do ar, os modelos capturam razoavelmente os padrões climatológicos e as variações espaciais do clima observado, sendo que o HadGEM2-ES apresentou um dos melhores coeficiente de correlação para essa variável.

Guimarães et al. (2016) analisaram as projeções climáticas dos modelos do CMIP5 e dos dados do CORDEX sobre o nordeste do Brasil. Os autores verificaram as mudanças que os modelos climáticos apontam na região, abordando as variáveis de precipitação, temperatura do ar próximo à superfície, evapotranspiração potencial (ET_o) e o índice de aridez. De acordo com os autores, o modelo HadGEM2-ES apresentou um dos melhores resultados para a média histórica de ET_o, que se aproxima dos dados do CRU, com a raiz do erro quadrático médio menor que 1 (cerca de 165,8 mm/ano).

Corrêa et al. (2017) realizaram a modelagem climática com três modelos climáticos para fornecer a previsão do comportamento médio do vento em níveis baixos, próximos à superfície. O modelo climático criado obteve melhores resultados com o HadGEM2-ES, quando comparado qualitativamente com dados observados do período e dados de reanálise.

Viegas et al. (2019) avaliaram o impacto de dois tipos de El Niño na precipitação pluvial da América do Sul, utilizando dados observados e dos modelos climáticos CNRM-CM5, HadGEM2-ES e MPI-ESM-LR. Entre os modelos avaliados,

o modelo HadGEM2-ES mostrou índices pluviométricos no nordeste do Brasil menores do que os observados.

Brito et al. (2019) quantificaram e avaliaram a destreza dos modelos HadGEM2-ES e Eta na representação de oito indicadores climáticos. Segundo os autores, o modelo HadGEM2-ES possui boa precisão em simular o número de dias consecutivos secos, principalmente ao norte do Estado do Amazonas, onde os valores de RMSE são próximos de zero. Por outro lado, o modelo apresenta baixa previsibilidade na região próxima ao nordeste do Brasil. Em relação ao erro médio quadrático, o modelo Eta apresentou melhor performance em relação ao HadGEM2-ES.

3.4.5 inmCM4

Na Rússia, os modelos climáticos foram desenvolvidos no Instituto Numérico de Matemática (INM) da Academia Russa de Ciências e no Observatório Geofísico Principal (MGO). O modelo INMCM4 (Instituto Numérico de Matemática de Modelo Climático) tem a resolução espacial de $1,5^{\circ} \times 2^{\circ}$ em latitude e longitude (VOLODIN; DIANSKII; GUSEV, 2010).

Landerer, Gleckler e Lee (2014) avaliaram a representação da altura da superfície do mar em 33 modelos climáticos globais do CMIP5. Segundo os autores, na avaliação dos campos de altura dinâmica da superfície do mar, o modelo INMCM4 apresentou o maior erro, com a diferença média da raiz quadrada global de 36 mm. No Brasil, Barreto (2015) avaliou e comparou a precipitação pluvial na escala semanal com simulações climáticas de 16 modelos do CMIP5. De acordo com o autor, os modelos EC-EARTH, MIROC, GFDL-ESM e INMCM4 foram os que melhor representaram o regime de chuvas no sudoeste da Amazônia.

Silveira et al. (2016) analisaram as projeções de precipitação e temperatura do ar dos modelos globais do CMIP5 na bacia do rio São Francisco, para o período de 2011 a 2100, nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. Conforme os autores, o INMCM4 foi o modelo que apresentou as menores anomalias de temperatura. O modelo sugeriu reduções de precipitação em aproximadamente 5%, e aumento de temperatura de 3°C para a RCP 8.5 e $1,5^{\circ}\text{C}$ para a RCP 4.5 nesse período.

Guimarães et al. (2016) analisaram o desempenho e as projeções de simulações climáticas de Modelos Climáticos Globais do CMIP5 e de Modelos

Climáticos Regionais do CORDEX para o nordeste do Brasil (NEB). De acordo com os autores, os modelos mostraram boa representação das médias climatológicas sobre o NEB. Dentre os modelos avaliados, os modelos com maiores erros foram: o GISS-E2-R-CC (0,6), GISSE2-R (0,64), GISS-E2-H-CC (0,89), GISS-E2-H (0,89) e INMCM4 (0,9).

Volodin et al. (2018) simularam o clima atual com o uso do modelo climático INMCM4.8 em comparação com o modelo INMCM4. Os autores concluíram que o modelo INMCM4 subestima a temperatura do ar de 2 a 8°C na metade sul da Eurásia, na maior parte da África, nos trópicos e subtropicos da América do Norte e do Sul.

3.4.6 MIROC-ESM

O modelo MIROC-ESM baseia-se no modelo climático global MIROC (Modelo de Pesquisa Interdisciplinar em Clima), desenvolvido cooperativamente pela Universidade de Tóquio, NIES e JAMSTEC no Japão. O modelo MIROC-ESM possui resolução horizontal de 2,8° x 2,8° de latitude e longitude e possui 29 bandas de absorção (WATANABE et al., 2011).

Pinheiro et al. (2014) utilizaram 13 modelos de mudanças climáticas do CMIP5 para avaliar os melhores que expressam a atuação dos Vórtices Ciclônicos em altos níveis no nordeste brasileiro. Segundo os autores, o modelo MIROC4h foi o que apresentou os melhores índices estatísticos, seguido pelo modelo MIROC-ESM.

Na China, Ouyang et al. (2015) avaliaram seis modelos climáticos globais do CMIP5, sob três RCPs (RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 8.5), no impacto da mudança climática no escoamento de água dos canais da bacia hidrográfica de Huangnizhuang. De acordo com os autores, para as variáveis de temperatura máxima e temperatura mínima anual, o modelo MIROC-ESM apresentou os maiores aumentos para o futuro nas três RCPs.

No Nepal, Shrestha, Bajracharya e Babel (2016) examinaram o impacto das mudanças climáticas e os riscos associados na produção de energia do Projeto Hidrelétrico Upper Tamakoshi. Foram utilizados três MCGs, MIROC-ESM, MRI-CGCM3 e MPI-ESM-M para avaliar as projeções da precipitação e temperatura do ar no futuro. Conforme os autores, as projeções dos modelos MIROC-ESM e MRI-

CGCM3 mostraram um aumento na precipitação, e o modelo MIROC-ESM revelou os maiores aumentos nas temperaturas mínima e máxima.

Guimarães et al. (2016) verificaram os efeitos das mudanças climáticas projetados pelos MCGs para o nordeste do Brasil, avaliando as variáveis de precipitação, temperatura do ar próximo à superfície, evapotranspiração potencial e o índice de aridez. De acordo com os autores, o modelo MIROC-ESM foi um dos modelos que melhor representou o Índice de Aridez, com médias mais próximas do CRU, dentro do intervalo de $\pm 0,05$.

Kessler e Tjiputra (2016) analisaram nove MCGs do CMIP5 para o século XXI, no cenário da RCP 8.5 do Oceano Antártico. Segundo os autores, os modelos GFDL-ESM2G, MIROC-ESM e HadGEM2-ES apresentaram, para os dados históricos, os fluxos de CO² no Oceano Antártico mais próximo dos dados observados, portanto, esses modelos possuem maior credibilidade para as projeções futuras.

3.4.7 Multimodelo *Ensemble*

A habilidade de prever o tempo e o clima aumentou muito nos últimos anos, devido ao avanço no entendimento dos processos que controlam a evolução do estado da atmosfera e dos componentes do sistema climático (SAMPAIO; DIAS, 2014). Uma forma de maximizar o desempenho da previsão climática é utilizar a técnica de previsão por conjunto (*ensemble forecasting*), também conhecida como técnica de conjunto de multimodelos (SIVILLO; AHLQUIST; TOTH, 1997).

Um dos principais objetivos da previsão por conjunto de modelos é prever a probabilidade de eventos futuros com uma maior confiabilidade que uma previsão determinística de apenas um modelo (MULLEN; BAUMHEFNER, 1994). Um modelo pode ter habilidade em modelar um aspecto do clima e não ter habilidade em modelar outro. Para uma variável ou localização específica, um único modelo pode ter um bom desempenho, mas ao considerar todos os aspectos climáticos e incertezas, uma combinação de vários modelos diferentes, conhecidos como *ensemble*, pode fornecer melhores habilidades e confiabilidade em geral (TEBALDI; KNUTTI, 2007).

Os conjuntos de multimodelos são definidos como uma combinação de simulações de modelos de mesma física, iniciados ao mesmo tempo, apenas com

diferentes condições iniciais (GRIMIT et al., 2006; SIVILLO; AHLQUIST; TOTH, 1997; TEBALDI; KNUTTI, 2007). A previsão por conjunto fornece múltiplas soluções possíveis, cuja média é geralmente mais precisa do que a previsão individual (KALNAY et al., 2006). O *ensemble* representa a variedade em tentativas de melhor esforço para simular o sistema climático fornecendo uma considerável medida de confiança (TAYLOR et al., 2012).

As técnicas de *ensemble* são amplamente utilizadas na comunidade de modelagem climática e foram usadas para caracterizar a disseminação das respostas climáticas em diversas variáveis, impactos e regiões (FOLEY, 2010). Os métodos do *ensemble* são utilizados para explorar a incerteza nas simulações de modelos climáticos que surgem da variabilidade interna, condições de contorno, valores de parâmetros para uma dada estrutura de modelo ou incerteza estrutural devido a diferentes formulações de modelos (HAWKINS; SUTTON, 2009; KNUTTI et al., 2010; TEBALDI; KNUTTI, 2007).

Várias aplicações, não apenas limitadas aos problemas de previsão do tempo e do clima, demonstraram que combinações de modelos geralmente aumentam a habilidade, a confiabilidade e a consistência das previsões (TEBALDI; KNUTTI, 2007). Os exemplos incluem previsões com modelos nos setores da saúde pública (THOMSON et al., 2006) e na agricultura para a produção agrícola (CANTELAUBE; TERRES, 2005), onde as informações combinadas de vários modelos são relatadas como superiores à previsão de um único modelo. Da mesma forma, para aplicações relacionadas ao clima, às previsões para o El Niño-Oscilação Sul e às previsões sazonais, os conjuntos de multimodelos geralmente são melhores do que as previsões de modelo único (PALMER et al., 2005). As previsões sazonais mostram melhor habilidade, maior confiabilidade e consistência quando vários modelos independentes são combinados (DOBLAS-REYES; PAVAN; STEPHENSON, 2003; YUN et al., 2003).

Os conjuntos multimodelos permitem que uma variedade de diferentes modelos contribua para a projeção geral, de modo que a variabilidade intermodelo seja representada na propagação das projeções. Os conjuntos também levam em conta a variabilidade intramodelo, pois, é amostrada uma gama mais completa de possíveis cenários climáticos futuros (FOLEY, 2010). Assim, o maior benefício é visto no desempenho do multimodelo ao considerar todos os aspectos das previsões (HAGEDORN; DOBLAS-REYES; PALMER, 2005).

No entanto, uma das desvantagens do uso conjunto multimodelos é que às vezes o tamanho da amostra de modelos é pequeno, tornando o conjunto confuso, porque alguns modelos climáticos foram desenvolvidos por meio de componentes semelhantes, que levam a vieses compartilhados. Deste modo, o objetivo de um conjunto deve ser a maximização da diversidade de modelos, garantindo um bom desempenho e minimizando a dependência dos modelos (MASSON; KNUTTI, 2011).

Segundo Masson e Knutti (2011), uma outra desvantagem é a geração do *ensemble*, pois são utilizadas grandes quantidades de informações a serem processadas, que exigem alto custo computacional. Além disso, é difícil verificar se os modelos abrangem toda a faixa de incerteza.

4. METODOLOGIA

4.1 Modelo de simulação

Neste estudo utilizou-se o modelo AquaCrop-OpenSource (AquaCrop-OS) (FOSTER et al., 2017), para compreender como a produtividade da soja e a demanda de água para irrigação deverão responder aos diferentes cenários futuros do clima. O modelo AquaCrop relaciona os componentes solo-planta-atmosfera por meio de dados referentes ao solo, atmosfera, características da cultura e o manejo da cultura (RAES et al., 2009; STEDUTO et al., 2009). Foram inseridas no modelo AquaCrop-OS as informações sobre as condições do solo, condições meteorológicas, cultura (soja) e manejo cultural.

4.2 Cultura em estudo

A cultura utilizada foi a soja (*Glycine max* (L) Merrill), devido à sua importante relação com o setor econômico nacional. A cultivar de soja utilizada foi a BRS 284, com hábito de crescimento indeterminado e não transgênico. Essa cultivar foi escolhida por ser recomendada para a região deste estudo e por apresentar alto potencial de produção, semelhante à maioria das cultivares. A cultivar BRS 284 é classificada como precoce e com ciclo médio de 110 dias (COMUNELLO, 2016).

No AquaCrop-OS, foram inseridos os parâmetros calibrados para a soja propostos por Battisti, Sentelhas e Boote (2017), que calibraram e avaliaram os parâmetros (Tabela 1) por meio de experimentos em campo para a soja BRS 284 nos municípios do estado do Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul.

Tabela 1 – Parâmetros calibrados da cultura da soja BRS 284 utilizados no AquaCrop-OS.

Parâmetros	Valor
Temperatura base abaixo da qual o desenvolvimento da cultura não progride (°C)	10
Temperatura superior acima da qual o desenvolvimento da cultura não aumenta mais com o aumento da temperatura (°C)	35
Coefficiente de cultura quando a copa está completa, mas antes da senescência	1,15

Profundidade máxima efetiva de enraizamento (m)	0,5
Fator de forma que descreve a expansão da zona raiz	20
Extração máxima da água da raiz no quarto superior da zona radicular (m ³ água / m ³ solo.dia)	0,024
Extração máxima da água da raiz no quarto inferior da zona radicular (m ³ água / m ³ solo.dia)	0,004
Determinação da cultura ligada à floração	0
Índice de referência de colheita (%)	45
Possível aumento do Índice de Colheita devido ao estresse hídrico antes do florescimento (%)	4
Coeficiente que descreve impacto positivo no Índice de Colheita de crescimento vegetativo restrito durante a formação de rendimento	2
Coeficiente que descreve impacto negativo no Índice de Colheita de fechamento estomático durante a formação de rendimento	5
Tempo da semeadura à emergência (graus-dia)	85
Tempo da semeadura até a profundidade máxima de enraizamento (graus-dia)	998
Tempo da semeadura para iniciar a senescência (graus-dia)	1580
Tempo da semeadura até a maturidade (graus-dia)	1800
Tempo da semeadura à floração (graus-dia)	570
Comprimento do estágio de florescimento (graus-dia)	356
Aumento na cobertura do dossel (em fração de cobertura do solo por graus-dia)	0,01
Redução na cobertura do dossel (em fração por graus-dia)	0,0142
Construção do Índice de Colheita durante a formação de rendimento (graus-dia)	1225

Fonte: Battisti, Sentelhas e Boote (2017).

Foram consideradas neste estudo, as informações da cultura e do manejo cultural propostas por Comunello (2016), que realizou experimento em campo para a soja BRS 284 em Dourados-MS. Segundo Comunello (2016), a semeadura foi realizada em linhas, com espaçamento de 50 cm e com sistema de irrigação por aspersão, acionado sempre que o balanço hídrico sequencial acusava reserva de água em níveis inferiores a 50% da capacidade de água disponível (CAD). Ainda segundo o autor, após a emergência da soja, determinou-se a população de plantas como sendo equivalente a 340 mil plantas por hectare.

4.3 Dados do solo

Os solos das localidades estudadas são classificados como Argissolo, Cambissolo, Latossolo e Plintossolo, com texturas variando entre argilosa e média

(Tabela 2) (EMBRAPA, 2006). Os dados do SoilGrids (HENGL et al., 2017) foram utilizados para obter informações sobre os teores de areia, argila e silte, densidade, drenagem, pH e carbono orgânico. Essas informações foram inseridas no AquaCrop-OS, que construiu o perfil do solo com base nas características. Esses dados foram obtidos na plataforma do *World Inventory of Soil Emission (WISE)* da *International Soil Reference and Information Center (ISRIC - <https://www.isric.org/>)*.

O SoilGrids fornece previsões globais para propriedades do solo em sete profundidades (0, 5, 15, 30, 60, 100 e 200 cm), além de previsões de profundidade para o alicerce e distribuição de classes de solo com base na Base de Referência Mundial (WRB) (HENGL et al., 2017). A quantificação da matéria orgânica (MO) do solo normalmente é feita a partir da determinação do conteúdo de carbono orgânico (C) do solo, visto que o teor de carbono na matéria orgânica do solo é igual a 58%. Assim, foi empregada a Equação 4 para obter o teor de matéria orgânica do solo (CONCEIÇÃO et al., 1999; MACHADO; BERNARDI; SANTOS, 2003).

$$MO \text{ (g.Kg)} = 1,724 \times C \quad (4)$$

Tabela 2 – Municípios avaliados sob os cenários atual e futuro, com as suas siglas, coordenadas geográficas, altitude, clima (ALVARES et al., 2013), tipo e textura do solo.

Nº	Local	Sigla	Lat. (°)	Long. (°)	Alt. (m)	Clima	Tipo de Solo	Textura
1	Barreiras-BA	BABA	-12,15	-44,99	725	Aw	Argissolo	Argilosa
2	Brasnorte-MT	MTBR	-12,16	-57,98	338	Am	Latossolo	Média
3	Campo Novo do Parecis-MT	MTCP	-13,68	-57,89	529	Aw	Latossolo	Média
4	Campo Verde-MT	MTCV	-15,57	-55,17	697	Aw	Latossolo	Argilosa
5	Campos de Júlio-MT	MTCJ	-13,90	-59,15	539	Am	Latossolo	Muito argilosa
6	Canarana-MT	MTCA	-13,55	-52,27	354	Aw	Latossolo	Média
7	Cristalina-GO	GOCR	-16,77	-47,61	922	Aw	Cambissolo	Média
8	Diamantino-MT	MTDI	-14,41	-56,45	476	Aw	Cambissolo	Argilosa
9	Dourados-MS	MSDO	-22,22	-54,81	378	Am	Latossolo	Argilosa
10	Formosa do Rio Preto-BA	BAFP	-11,05	-45,19	721	Aw	Latossolo	Argilosa
11	Ipiranga do Norte-MT	MTIN	-15,59	-56,10	369	Am	Plintossolo	Média
12	Jataí-GO	GOJA	-17,88	-51,71	759	Aw	Latossolo	Muito argilosa
13	Lucas do Rio Verde-MT	MTLV	-13,03	-55,94	391	Aw	Latossolo	Argilosa
14	Luís Eduardo Magalhães-BA	BALM	-12,09	-45,81	811	Aw	Latossolo	Média
15	Maracaju-MS	MSMA	-21,61	-55,17	469	Am	Latossolo	Argilosa
16	Nova Maringá-MT	MTNMA	-13,03	-57,07	347	Aw	Latossolo	Média
17	Nova Mutum-MT	MTNMU	-13,84	-56,08	410	Aw	Latossolo	Média
18	Nova Ubiratã-MT	MTNU	-12,99	-55,26	399	Aw	Latossolo	Argilosa
19	Paranatinga-MT	MTPA	-14,43	-54,05	443	Aw	Cambissolo	Média

20	Ponta Porã-MS	MSP	-22,54	-55,73	541	Cfa	Latossolo	Média
21	Porto dos Gaúchos-MT	MTPG	-11,54	-57,41	338	Am	Latossolo	Média
22	Primavera do Leste-MT	MTPL	-15,53	-54,35	647	Aw	Latossolo	Argilosa
23	Querência-MT	MTQU	-12,60	-52,20	324	Am	Latossolo	Argilosa
24	Rio Verde-GO	GORV	-17,80	-50,93	765	Aw	Latossolo	Média
25	São Desidério-BA	BASD	-12,36	-44,97	777	Aw	Cambissolo	Argilosa
26	São Félix do Araguaia-MT	MTSF	-11,62	-50,67	276	Aw	Argissolo	Argilosa
27	Sapezal-MT	MTSA	-13,54	-58,81	457	Am	Latossolo	Média
28	Sidrolândia-MS	MSSI	-20,93	-54,96	439	Am	Latossolo	Média
29	Sorriso-MT	MTSO	-12,55	-55,72	387	Aw	Latossolo	Média
30	Tapurah-MT	MTTA	-12,77	-56,55	340	Aw	Latossolo	Média

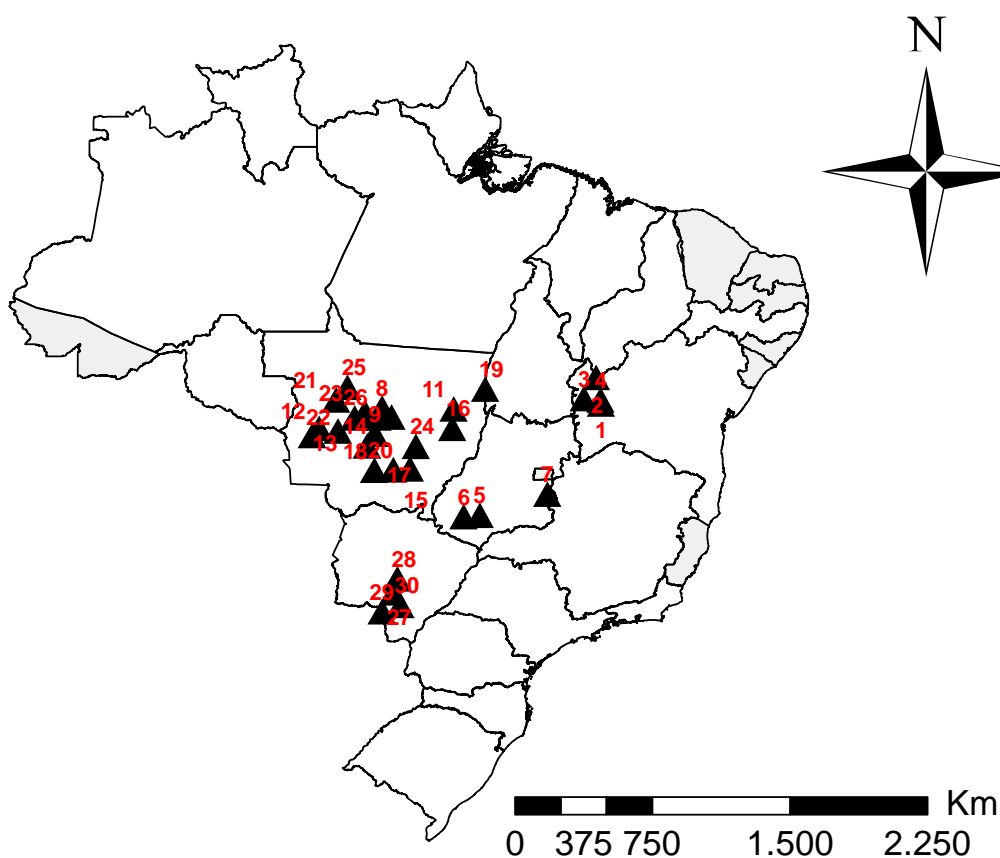
*Lat. - latitude; Lon. - longitude; Alt. - altitude.

Fonte: o autor.

4.4 Locais de estudo

O trabalho foi desenvolvido para trinta municípios distribuídos ao longo do território brasileiro identificados na Figura 3. Devido à importância do Brasil no contexto mundial de produção de soja, foram selecionados os 30 municípios brasileiros com a maior produtividade da cultura considerado o cenário atual (IBGE, 2017).

Figura 3 – Distribuição geográfica dos locais, nos quais foram realizadas as simulações com o AquaCrop-OS para a estimar a demanda de água para irrigação e a produtividade da cultura da soja no cenário atual e futuro.



Nº	Local	Nº	Local
1	São Desidério - BA	16	Canarana - MT
2	Formosa do Rio Preto - BA	17	Campo Verde - MT
3	Luís Eduardo Magalhães - BA	18	Lucas do Rio Verde - MT
4	Barreiras - BA	19	São Félix do Araguaia - MT
5	Rio Verde - GO	20	Ipiranga do Norte - MT
6	Jataí - GO	21	Brasnorte - MT
7	Cristalina - GO	22	Campos de Júlio - MT
8	Sorriso - MT	23	Tapurah - MT
9	Nova Mutum - MT	24	Paranatinga - MT
10	Nova Ubiratã - MT	25	Porto dos Gaúchos - MT
11	Querência - MT	26	Nova Maringá - MT
12	Campo Novo do Parecis - MT	27	Maracaju - MS
13	Sapezal - MT	28	Sidrolândia - MS
14	Diamantino - MT	29	Ponta Porã - MS
15	Primavera do Leste - MT	30	Dourados - MS

Fonte: o autor.

4.5 Dados meteorológicos do cenário atual

Para as simulações no cenário atual de 1980 a 2015 (36 anos), foram utilizados os dados meteorológicos da base de dados em grade de Xavier, King e Scanlon (2015), nos quais os autores realizaram o teste qualitativo de homogeneidade. Os dados utilizados de Xavier, King e Scanlon (2015) são provenientes da Agência Nacional de Águas (ANA), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE), disponibilizados em espaçamento de grade de $0,25^\circ$ de resolução horizontal. Para o cenário atual, foram utilizados os dados com informações diárias de temperatura máxima e mínima, precipitação e evapotranspiração de referência. Foram obtidos dados meteorológicos de quatro municípios no estado da Bahia, três em Goiás, 19 no Mato Grosso e quatro em Mato Grosso do Sul, totalizando 30 municípios (Tabela 2). Para as simulações no AquaCrop-OS considerou-se a data padrão de semeadura no dia 21/10 de cada ano conforme sugerido pela Embrapa Soja (2018).

4.6 Dados meteorológicos do clima futuro

Para as simulações no clima futuro, utilizou-se seis Modelos Climáticos Globais (MCGs) do Projeto de Intercomparação de Modelos (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5-CMIP5*) (TAYLOR et al., 2012), e avaliadas no quinto relatório de avaliação (*Fifth Assessment Report - AR5, IPCC-AR5*) do IPCC (2014).

Foram utilizados os seguintes MCGs: CNRM-CM5 (França), CSIRO-MK3-6-0 (Austrália), GISS-E2-R (EUA), HadGEM2-ES (Reino Unido), InmCM4 (Rússia) e MIROC-ESM (Japão). A descrição desses modelos encontra-se na Tabela 3. A escolha dos modelos de escala global foi fundamentada em Silveira et al. (2013) e Pinheiro et al. (2014), que descreveram esses modelos entre aqueles de melhor desempenho na representação da precipitação em diferentes regiões brasileiras.

Os seis modelos climáticos globais foram utilizados, pois para um mesmo cenário de emissão, diferentes modelos produzem diferentes projeções de mudanças climáticas, e uma maneira de minimizar essas incertezas é por meio do uso de um conjunto de modelos globais e/ou regionais (BENDER, 2017). Deste modo, considerou-se a estimativa conjunta de todos dos modelos agrupados (*ensemble*), em que valores simulados foram determinados pelo valor médio dos

seis MCGs. A justificativa para o uso de conjuntos de modelos (*ensemble*) nas projeções de mudanças climáticas e na pesquisa dos impactos geralmente se baseia na expectativa de que diferentes modelos constituam estimativas independentes. Portanto, uma variedade de modelos permite uma melhor caracterização na representação das incertezas do sistema climático do que um único modelo (ABRAMOWITZ et al., 2019; BASSU et al., 2014; SALES et al., 2015).

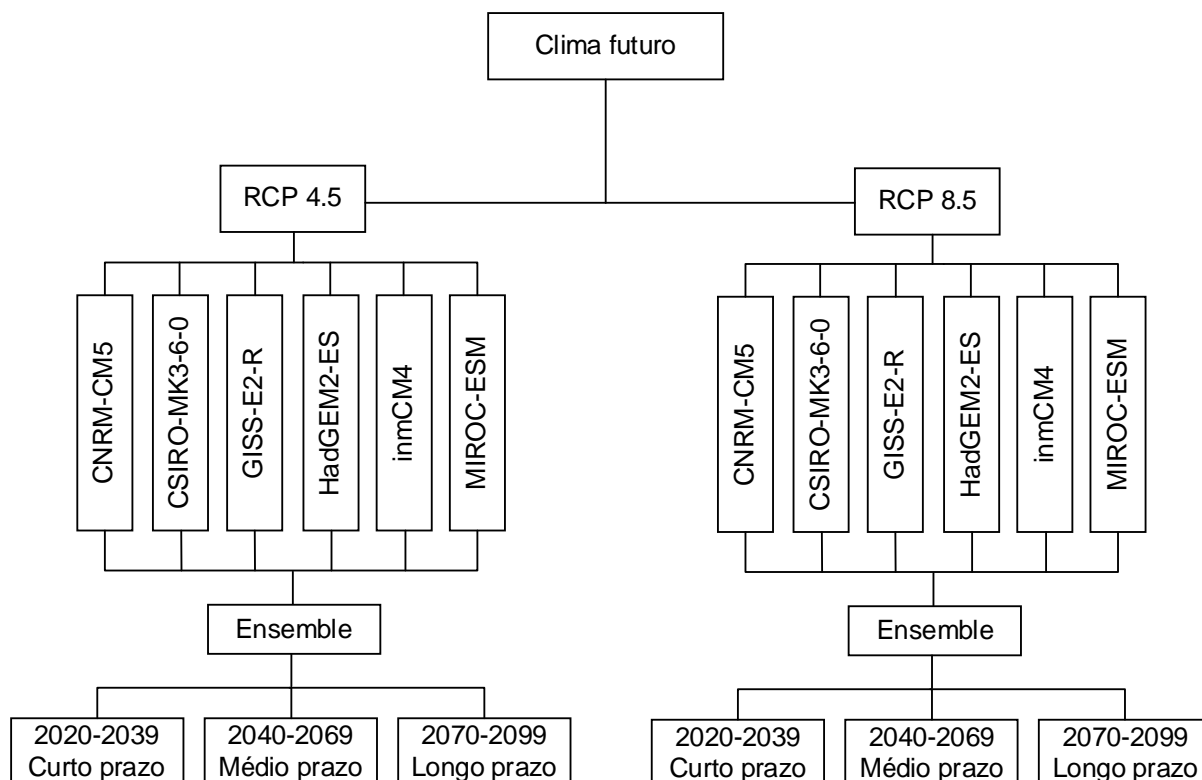
Tabela 3 – Modelos Climáticos Globais do conjunto CMIP5 utilizados, contendo os institutos nos quais esses foram desenvolvidos, resolução horizontal aproximada (latitude/longitude) e referências.

Modelo	Nome/Instituição/País	Resolução	Referências
CNRM-CM5	National Centre for Meteorological Research, França	1,5° x 1,5°	Voltaire et al. (2013)
CSIRO-MK3-6-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Austrália	1,8° x 1,8°	Collier et al. (2011)
GISS-E2-R	NASA Goddard Institute for Space Studies, Estados Unidos	2,0° X 2,5°	Schmidt et al. (2014)
HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre, Reino Unido	1,875° x 1,25°	Collins et al. (2011)
inmCM4	Institute of Numerical Mathematics, Rússia	2,0° x 1,5°	Volodin, Dianskii e Gusev (2010)
MIROC-ESM	Center for Climate System Research, Japão	2,8° x 2,8°	Watanabe et al. (2011)

Fonte: o autor.

As simulações climáticas futuras foram realizadas para dois cenários de emissão de gases de efeito estufa (GEEs): RCP 4.5 e RCP 8.5. Escolheu-se esses cenários pela possibilidade de trabalhar com projeções contrastantes. No primeiro cenário (RCP 4.5), são assumidas emissões de GEEs mais amenas, enquanto que no segundo cenário (RCP 8.5) essas emissões atingem os níveis mais elevados. Essas projeções foram avaliadas para três períodos distintos, a curto prazo (2020-2039), médio prazo (2040-2069) e longo prazo (2070-2099), conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Representação dos cenários climáticos futuros considerados nas simulações do modelo AquaCrop-OS, para avaliação dos impactos das mudanças climáticas na demanda de água para irrigação e na produtividade da cultura da soja.



Fonte: o autor.

Foram obtidos de cada MCG os dados meteorológicos diários de temperatura máxima e mínima do ar, precipitação, umidade relativa do ar máxima e mínima, e velocidade do vento.

Utilizou-se o método Delta para a correção de viés dos dados meteorológicos futuros dos MCGs. Esse método é utilizado para melhorar a qualidade dos dados de temperatura e precipitação dos cenários climáticos, antes de inserir no modelo AquaCrop-OS. O método Delta é usado para correção de viés adicionando ou multiplicando os dados observados da série histórica atual para temperatura e precipitação, respectivamente (Equações 5 e 6) (DUBEY; SHARMA, 2018; GRAHAM; ANDRÉASSON; CARLSSON, 2007; ROSENZWEIG et al., 2013; SPERNA WEILAND et al., 2010; WATANABE et al., 2012). Esse método é interessante, pois elimina os erros associados à modelagem climática das condições atuais, limitando-se apenas às incertezas associadas à previsão de mudanças climáticas para o futuro, inerentes ao MCG (OLIVEIRA; PEDROLLO; CASTRO, 2015). Para as demais variáveis meteorológicas não foram aplicadas correções.

$$T_{cor, a} = T_{obs, a} + (T_{fut} - T_{hist}) \quad (5)$$

$$P_{cor, a} = P_{obs, a} \times \left(\frac{P_{fut}}{P_{hist}} \right) \quad (6)$$

Em que:

a = ano-base (1980-2015);

$T_{cor, a}$ = temperatura do ar corrigida (°C);

$T_{obs, a}$ = temperatura do ar observada (°C);

T_{fut} = temperatura do ar futura do MCG (°C);

T_{hist} = temperatura do ar histórica do MCG (°C);

$P_{cor, a}$ = precipitação pluvial corrigida (mm);

$P_{obs, a}$ = precipitação pluvial observada (mm);

P_{fut} = precipitação pluvial futura do MCG (mm);

P_{hist} = precipitação pluvial histórica do MCG (mm);

A equação padrão de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) foi utilizada para estimar a evapotranspiração de referência diária (ET_0), calculada pela seguinte equação:

$$ET_0^{PM} = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{(T + 273)} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (7)$$

Em que:

ET_0^{PM} = evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith FAO-56 (mm dia^{-1});

Δ = inclinação da curva de saturação do vapor da água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

R_n = radiação solar líquida ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$);

G = fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$);

γ = constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

U_2 = velocidade média do vento a 2 m de altura (m s^{-1});

e_s = pressão de saturação do vapor d'água no ar (kPa); e

e_a = pressão real do vapor d'água no ar (kPa).

As variáveis da equação de Penman-Monteith (Δ , R_n , G , γ , e_s , e_a) foram calculadas conforme Allen et al. (1998), e foi considerado o albedo da grama (0,23).

Foram utilizados os dados de radiação da grade de Xavier, King e Scanlon (2015), e a velocidade do vento foi obtida de cada MCG.

Nas simulações de cada um dos períodos considerados, para as concentrações atmosféricas de CO², foram empregados os valores de 360 ppm para a série histórica atual. Para as simulações no futuro, empregou-se os valores de 423, 499 e 532 ppm, para o RCP 4.5, e 432, 571 e 801 ppm para o RCP 8.5, a curto, médio e longo prazo, respectivamente, representando a concentração referente ao ano central do período, conforme recomendado por Rosenzweig et al. (2015) e descritos na Tabela 4. Essa recomendação é adotada uma vez que os níveis de concentrações atmosféricas de CO² podem variar sazonalmente dentro de um mesmo ano, de modo que se caracteriza a concentração em termos de valor médio ao longo do período de 30 anos (BENDER, 2017).

Tabela 4 – Cenários de emissão de gases de efeito estufa e períodos considerados, com a concentração de dióxido de carbono referente ao valor que este assume no ano central do período.

Cenário e período	Anos de referência	Ano central	Concentração de CO² (ppm)
Atual	1980-2015	1995	360
RCP 4.5 Curto prazo	2020-2039	2025	423
RCP 8.5 Curto prazo	2020-2039	2025	432
RCP 4.5 Médio prazo	2040-2069	2055	499
RCP 8.5 Médio prazo	2040-2069	2055	571
RCP 4.5 Longo prazo	2070-2099	2085	532
RCP 8.5 Longo prazo	2070-2099	2085	801

Fonte: Rosenzweig et al. (2015).

4.7 Simulações dos impactos do clima futuro na demanda de água para irrigação e na produtividade da soja

Para a determinação dos impactos do clima futuro na demanda de água para irrigação e na produtividade da soja, em relação ao clima atual, foram realizadas simulações com o modelo AquaCrop-OS, sob condições de sequeiro, em que o fornecimento de água à cultura foi limitado à ocorrência de chuvas, e irrigado. Assim, o consumo hídrico da cultura da soja foi um dos fatores limitantes da produtividade sob condições de sequeiro, e na simulação sob irrigação foi possível avaliar a

demanda hídrica para irrigação da soja no futuro. Sob tais condições, foram avaliadas as influências das condições de clima futuro sobre a demanda de água na irrigação e na produtividade da soja em comparação ao clima atual, considerando-se os efeitos da temperatura, da precipitação, da concentração de CO² atmosférico e da evapotranspiração. Nas simulações do modelo AquaCrop-OS, considerou-se a data padrão de semeadura no dia 21/10 de cada ano conforme sugerido pela Embrapa Soja (2018).

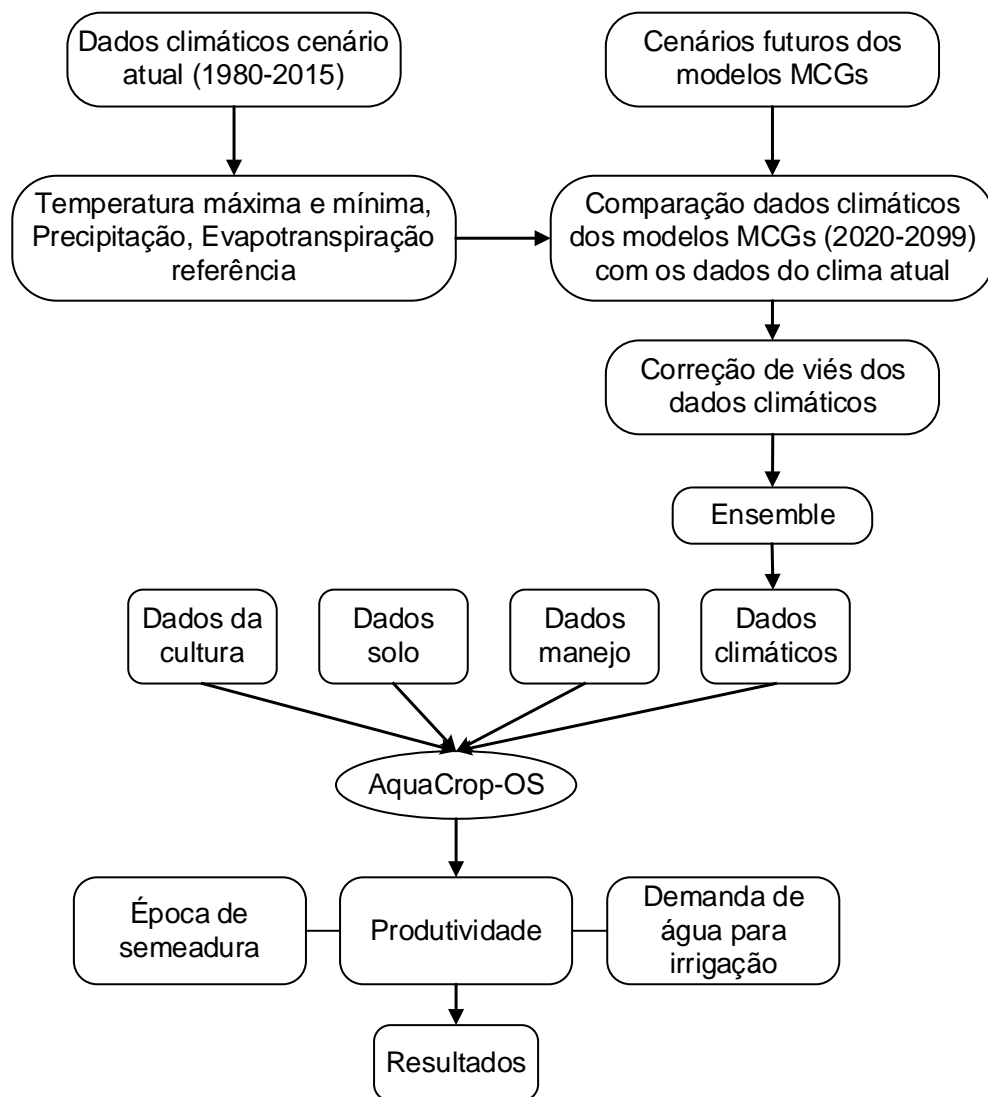
4.8 Simulações das melhores épocas para semeadura da soja no futuro

A época de semeadura é um fator importante na determinação da produtividade das culturas e está diretamente relacionada ao clima local e à variabilidade interanual. Desta forma, realizaram-se simulações para determinar a melhor época de semeadura da soja em cada município por meio do *ensemble* dos MCGs, sob cenário de emissão intermediário (RCP 4.5) e de alta emissão (RCP 8.5) de gases de efeito estufa, a curto (2020-2039), médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099).

Conforme a recomendação para época de semeadura da Embrapa Soja (2018), escolheu-se a data padrão de semeadura no dia 21/10, para servir de parâmetro na comparação dos resultados. Foram simuladas nove épocas de semeadura entre os meses de setembro e novembro, considerando o primeiro dia de cada decêndio (01/09, 11/09, 21/09, 01/10, 11/10, 21/10, 01/11, 11/11 e 21/11), para cada município e cenário. A determinação da melhor época para a semeadura deu-se com base no valor da maior produtividade entre as épocas simuladas.

O esquema detalhado da metodologia utilizada nesse estudo é mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Esquema da metodologia utilizada no estudo.



Fonte: o autor.

4.9 Avaliação dos resultados

4.9.1 Avaliação da produtividade de soja pelo modelo AquaCrop-OS sob condições climáticas atuais.

A produtividade da soja é influenciada pela interação entre o genótipo, as condições ambientais e as práticas de manejo (SANTOS et al., 2021). Quando o rendimento dos modelos de cultura são comparados com os rendimentos obtidos pelos agricultores, há uma quebra de produtividade (*yield gap*) associada ao manejo da cultura nas fazendas (LOBELL; CASSMAN; FIELD, 2009; TEIXEIRA et al., 2019; VAN ITTERSUM et al., 2013).

Nos últimos anos, o *yield gap* ou lacuna/quebra de produtividade das culturas vem sendo intensamente estudado com o objetivo de determinar as causas da redução das produtividades (SANTOS, 2021). De acordo com Sentelhas et al. (2016), o conceito de quebra de produtividade é a diferença entre distintos tipos de produtividade de uma cultura em determinada condição de cultivo, que pode auxiliar na identificação dos fatores que reduzem a produtividade, como o manejo agrícola, clima e genética da plantas.

Tendo em vista que as simulações pelo AquaCrop-OS não levam em considerações algumas limitações por manejo, foi realizado neste estudo o ajuste dos valores simulados dos dados atuais para cada município considerando a quebra de produtividade média para a soja de 44% conforme encontrado por Battisti et al. (2020).

Para a avaliação dos resultados da produtividade da soja gerados pelo modelo AquaCrop-OS sob condições climáticas atuais, considerou-se o período compreendido do ano de 2010 até 2015, visto que a cultivar BRS 284 foi desenvolvida no ano de 2009. Assim, realizou-se a comparação dos valores estimados do modelo, após serem corrigidos pelo *yield gap*, com os dados observados do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola-IBGE para o período entre 2010 e 2015, por meio dos seguintes índices estatísticos: índice de concordância de Willmott (d), erro médio (EM), erro absoluto médio (EAM) e raiz do quadrado médio do erro (RMSE) (WILLMOTT, 1982).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_{est} - P_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (|P_{est} - \bar{P}_{obs}| + |P_{obs} - \bar{P}_{obs}|)^2} \quad (8)$$

$$EM = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{est} - P_{obs})}{n} \quad (9)$$

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |P_{est} - P_{obs}|}{n} \quad (10)$$

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_{est} - P_{obs})^2}{n} \right)^{0,5} \quad (11)$$

Em que: P_{est} , P_{obs} são, respectivamente, as produtividades estimadas pelo AquaCrop-OS em ton.ha^{-1} , e as produtividades observadas por município conforme o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola-IBGE em ton.ha^{-1} ; \overline{P}_{est} , \overline{P}_{obs} são, respectivamente, as médias das produtividades da soja estimadas pelo AquaCrop-OS, e as médias das produtividades observadas segundo o IBGE; e n é o número total de dados.

4.9.2 Avaliação geral dos resultados

Todas as simulações efetuadas pelo modelo AquaCrop-OS, sob as condições climáticas futuras, foram conduzidas pela estimação conjunta de todos os seis MCGs agrupados, descritos no item 4.6. Porém os resultados foram apresentados em termos de valores médios do conjunto de saídas do modelo AquaCrop-OS.

Para a avaliação dos resultados do impacto do clima na produtividade da soja no futuro e na produtividade da melhor época de semeadura, foi realizada a comparação com a produtividade simulada atual (1980-2015), de acordo com o modelo AquaCrop-OS, em termos da alteração relativa percentual da produtividade (ΔP , em %), conforme a Equação 12.

$$\Delta P(\%) = \left[\left(\frac{P_{\text{Futuro}}}{P_{\text{Atual}}} \right) - 1 \right] * 100 \quad (12)$$

Em que: P_{Futuro} e P_{Atual} são as produtividades simuladas sob cenário futuro e atual, respectivamente.

Desta forma, cada período avaliado possui o conjunto de variações com 36 anos de dados, que se referem aos 36 anos dos dados observados adicionados aos respectivos deltas do período. A partir desses dados, foram construídos gráficos de boxplot (diagrama de caixa) para todos os municípios estudados, que permitiram a análise dos resultados. Por meio do gráfico de boxplot é possível identificar a mediana dos dados, o limite inferior e superior, bem como os outliers.

Para a avaliação das projeções da produtividade da soja e da demanda para irrigação no futuro, considerou-se neste estudo que não haverá mudanças na área de produção de soja dos municípios. Além disso, não foi levado em consideração o *yield gap* da soja causado pelo fator do manejo da cultura, fator tecnologia, bem

como pela incidência de pragas e doenças. Logo, considerou-se o clima como o principal fator limitante da produtividade da cultura e da demanda de irrigação no futuro.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Clima atual

Na Tabela 6 encontram-se os municípios avaliados com o respectivo clima, média da precipitação pluvial e temperatura do ar do período entre setembro e março para os dados atuais (1980-2015), e o tipo de solo. Os municípios dos estados da Bahia, Goiás, e a maioria do Mato Grosso são classificados com o clima Aw, que é denominado como clima tropical com inverno seco, com uma estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e uma estação seca no inverno, de maio a outubro (ALVARES et al., 2013). A temperatura média para o período analisado nesses municípios varia entre 22,3°C e 27,1°C, e a precipitação média está entre 1064 mm e 2114 mm.

Os municípios do estado do Mato Grosso do Sul, como Maracaju-MS, Sidrolândia-MS, Dourados-MS, e alguns no estado do Mato Grosso, como Querência-MT, Sapezal-MT, Ipiranga do Norte-MT, Brasnorte-MT, Campos de Júlio-MT e Porto dos Gaúchos-MT são classificados com o clima Am, que é denominado como clima tropical úmido. O clima Am caracteriza-se por apresentar uma estação seca de pequena duração e por possuir elevados totais de precipitação pluvial (ALVARES et al., 2013). A temperatura média para o período avaliado nesses municípios está entre 23,8°C e 26,8°C, e a precipitação média varia entre 1170 mm e 2298 mm.

O município de Ponta Porã-MS foi o único que apresentou o clima Cfa, que é nomeado como clima subtropical com verão quente. A temperatura média desse município, no período estudado, é de 23,2°C e a precipitação média é de 1157 mm (ALVARES et al., 2013).

A maior parte dos municípios estudados possui o tipo de solo denominado Latossolo, que é um solo formado pelo processo de latolização. As principais características do Latossolo são a baixa fertilidade, elevada intemperização, grande profundidade e alta drenagem. Entretanto, é possível obter altas produtividades nesse solo por meio do uso de corretivos e fertilizantes, aliadas ao período ideal para o plantio de cultivares (SOUSA; LOBATO, 2021).

Tabela 5 – Municípios avaliados com clima (ALVARES et al., 2013), média da precipitação pluvial e temperatura do ar do período entre setembro e março para dados atuais, e o tipo de solo.

Nº	Local	Clima	Precipitação pluvial média (mm)	Temperatura média do ar (°C)	Tipo de Solo
1	Barreiras - BA	Aw	1149	24,1	Argissolo
2	Brasnorte - MT	Am	2104	26,5	Latossolo
3	Campo Novo do Parecis - MT	Aw	1745	25,5	Latossolo
4	Campo Verde - MT	Aw	1505	24,5	Latossolo
5	Campos de Júlio - MT	Am	1847	25,4	Latossolo
6	Canarana - MT	Aw	1976	26,5	Latossolo
7	Cristalina - GO	Aw	1382	22,3	Cambissolo
8	Diamantino - MT	Aw	1582	25,8	Cambissolo
9	Dourados - MS	Am	1170	24,0	Latossolo
10	Formosa do Rio Preto - BA	Aw	1064	24,3	Latossolo
11	Ipiranga do Norte - MT	Am	2265	26,5	Plintossolo
12	Jataí - GO	Aw	1575	23,4	Latossolo
13	Lucas do Rio Verde - MT	Aw	2007	26,3	Latossolo
14	Luís Eduardo Magalhães - BA	Aw	1355	23,7	Latossolo
15	Maracaju - MS	Am	1206	23,8	Latossolo
16	Nova Maringá - MT	Aw	2009	26,5	Latossolo
17	Nova Mutum - MT	Aw	1816	26,2	Latossolo
18	Nova Ubiratã - MT	Aw	2103	26,3	Latossolo
19	Paranatinga - MT	Aw	1976	26,0	Cambissolo
20	Ponta Porã - MS	Cfa	1157	23,2	Latossolo
21	Porto dos Gaúchos - MT	Am	2298	26,7	Latossolo
22	Primavera do Leste - MT	Aw	1663	24,8	Latossolo
23	Querência - MT	Am	2065	26,8	Latossolo
24	Rio Verde - GO	Aw	1554	23,3	Latossolo
25	São Desidério - BA	Aw	1224	23,7	Cambissolo
26	São Félix do Araguaia - MT	Aw	1897	27,1	Argissolo
27	Sapezal - MT	Am	1927	25,9	Latossolo
28	Sidrolândia - MS	Am	1222	24,1	Latossolo
29	Sorriso - MT	Aw	2114	26,4	Latossolo
30	Tapurah - MT	Aw	2096	26,6	Latossolo

Fonte: o autor.

5.2 Projeções Climáticas

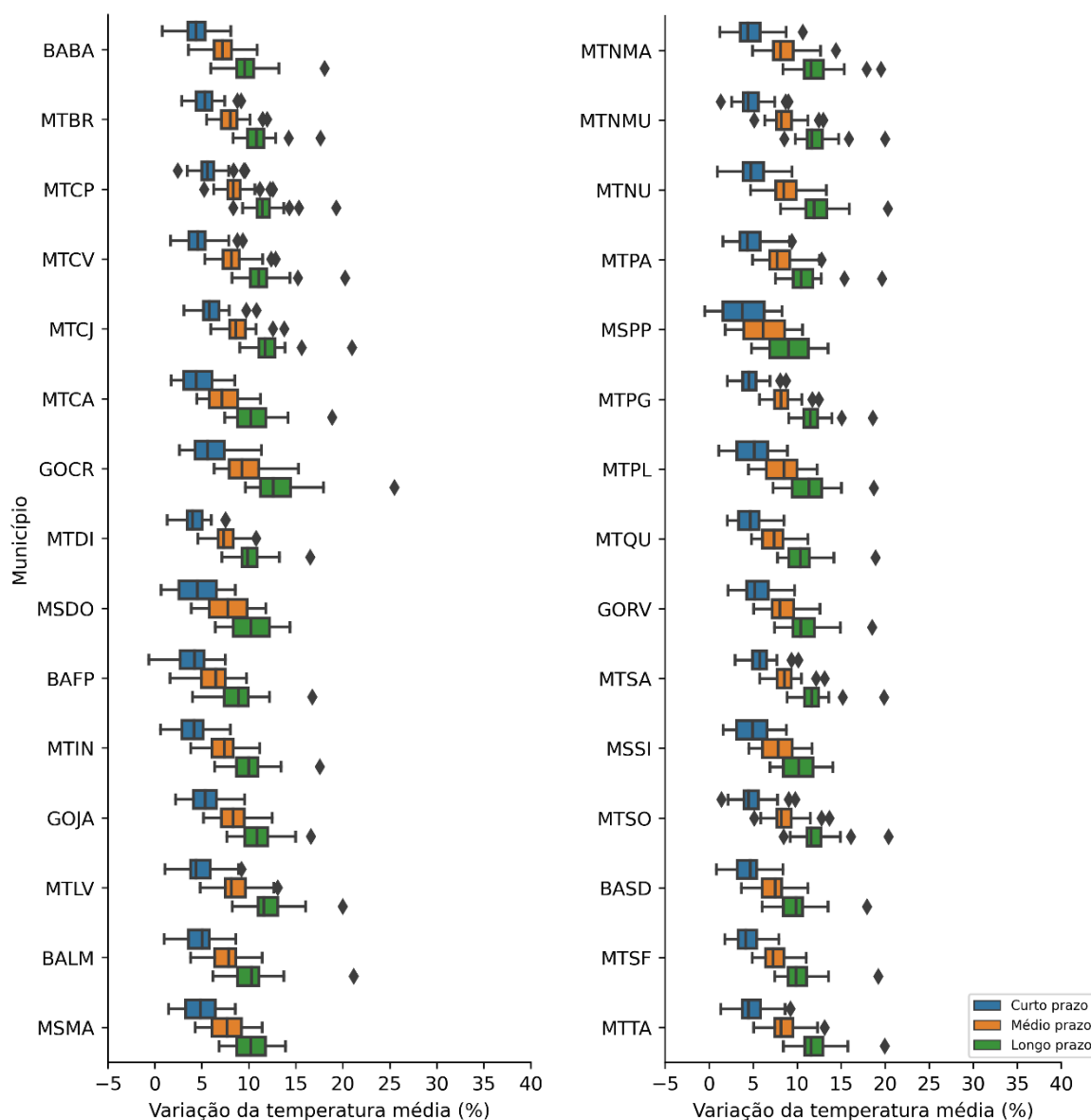
Realizou-se neste trabalho simulações para diferentes municípios, cenários e períodos, que forneceram uma massa extensa de dados. Os valores da temperatura média do ar, precipitação pluvial e evapotranspiração de referência, do período atual e das projeções, para cada município nos cenários de RCP 4.5 e RCP 8.5, são exibidos no Apêndice A.

Na Figura 6 são exibidas as variações percentuais da temperatura média do ar para a estação de crescimento da soja, no período de setembro a março, originado pelo *ensemble* dos MCGs no RCP 4.5, para os períodos de curto (2020-2039),

médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099), em comparação com a condição atual.

A alteração da temperatura média do ar para os municípios estudados variou entre -1 e 11%, 2 e 15% e 4 e 25%, para os períodos de curto, médio e longo prazo, respectivamente. Em média, haverá, para todos os municípios, um aumento médio na temperatura de 8% até o ano de 2099 (Figura 6). Em média, a alteração da temperatura foi de 5%, 8% e 11%, para os períodos de curto, médio e longo prazo, respectivamente. Silva (2018), utilizando MCGs, encontrou aumentos nas temperaturas semelhantes a esse trabalho nos estados da Bahia, Piauí, Maranhão e Tocantins. Os municípios estudados apresentaram média da temperatura variando entre 23,6°C, em Cristalina-GO no período de curto prazo, e 30,6°C, em São Félix do Araguaia-MT no período de longo prazo (Apêndice A).

Figura 6 – Variação percentual na temperatura média de ar a partir do *ensemble* dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 4.5, em comparação com o período atual para os 30 municípios.



Fonte: o autor.

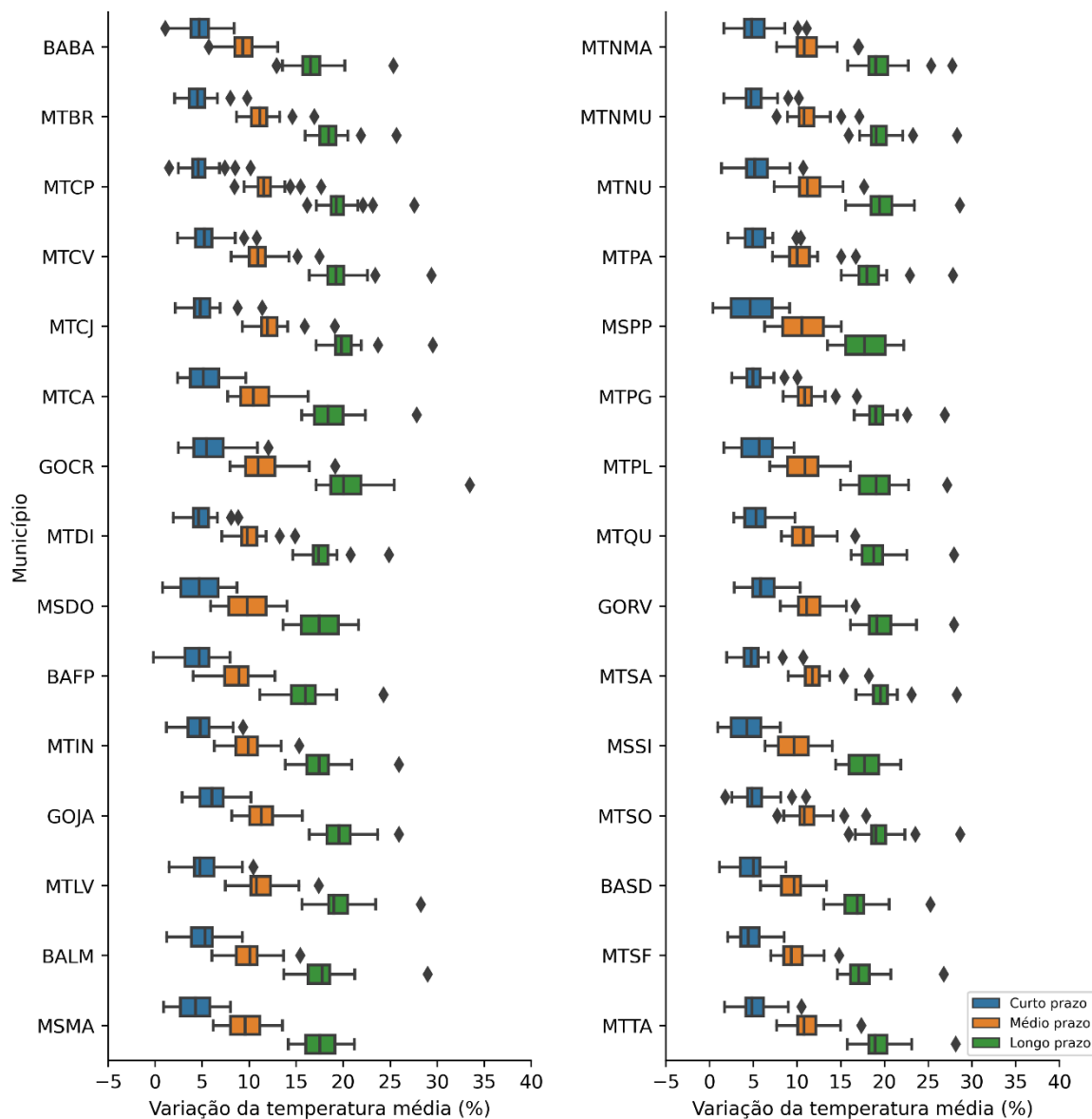
São apresentadas na Figura 7 as variações percentuais da temperatura média do ar para a estação de crescimento da soja, no período de setembro a março, originado pelo *ensemble* dos MCGs no RCP 8.5, para os períodos de curto (2020-2039), médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099), em comparação com a situação atual.

No RCP 8.5, conforme as projeções, haverá o acréscimo da temperatura média do ar em todos os municípios e períodos analisados, com incremento variando entre 1 e 12% no período de curto prazo, 4 e 19% no período de médio prazo, e 11 e 33%

no período de longo prazo (Figura 7). Em média, a alteração da temperatura foi de 5%, 11% e 19%, para os períodos de curto, médio e longo prazo, respectivamente. Desta forma, os maiores aumentos da temperatura são observados no período de longo prazo, que pode acarretar aumento na transpiração das plantas nesse período. Conforme Villani et al. (2011), o aumento da temperatura do ar pode gerar uma maior evapotranspiração, promovendo, assim, um aumento no déficit hídrico para as plantas e, conseqüentemente, uma diminuição na produtividade das culturas.

Os municípios estudados apresentaram média da temperatura variando entre 23,6°C, em Cristalina-GO no período de curto prazo, e 32,6°C, em São Félix do Araguaia-MT no período de longo prazo (Apêndice A). De acordo com Farias, Nepomuceno e Neumaier (2007), a temperatura ideal para o desenvolvimento da soja oscila entre 20°C e 30°C. Assim, observa-se que todos os municípios avaliados manifestaram boas condições de temperatura para o crescimento da soja, tanto na RCP 4.5 quanto na RCP 8.5.

Figura 7 – Variação percentual na temperatura média de ar a partir do *ensemble* dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 8.5, em comparação com o período atual para os 30 municípios.



Fonte: o autor.

As variações percentuais da precipitação pluvial durante o desenvolvimento da soja, no período de setembro a março, geradas pelo *ensemble* dos MCGs no RCP 4.5, são exibidas na Figura 8, para os períodos de curto (2020-2039), médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099), em comparação com a condição atual.

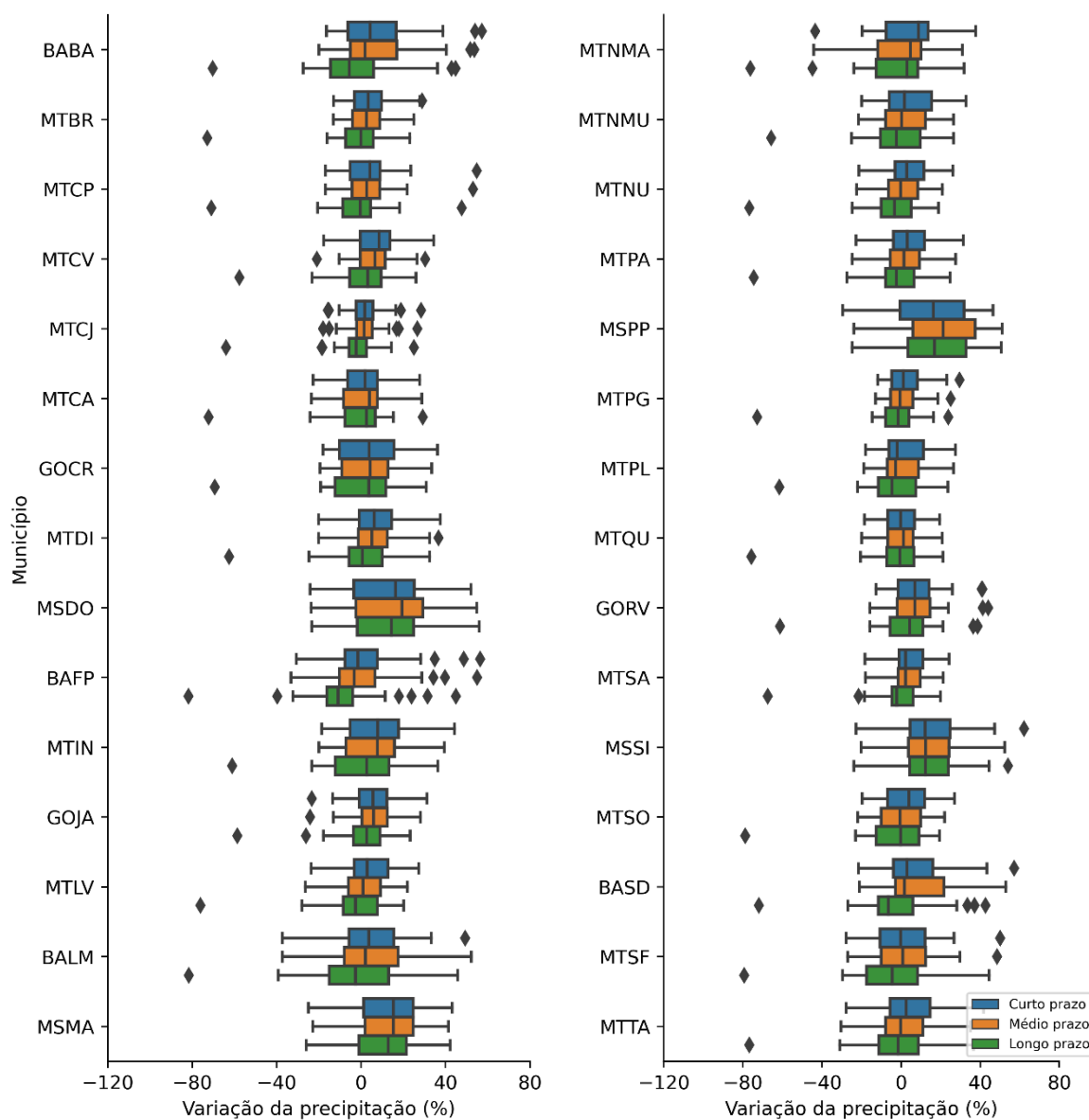
Segundo as projeções, no RCP 4.5, haverá, em média, o aumento da precipitação pluvial em todos municípios nos períodos de curto e médio prazo, com acréscimos médios de 6% e 5%, respectivamente (Figura 8). Neuhaus (2017) e

Buchir (2013), em estudos realizados no Rio Grande do Sul e no Paraná, respectivamente, também encontraram aumentos nas precipitações no decorrer do século XXI conforme as mudanças climáticas.

Para o período de longo prazo do RCP 4.5, as projeções sugerem, para a maioria dos municípios, o decréscimo médio da precipitação de 1% (Figura 8). As maiores reduções na precipitação são observadas nos municípios do estado da Bahia, com decréscimo médio de 5%, seguido pelos municípios do estado do Mato Grosso, com reduções de 2%.

Os municípios estudados apresentaram média da precipitação pluvial variando entre 791 mm, em Formosa do Rio Preto-BA no período de longo prazo, e 1761 mm, em Porto dos Gaúchos-MT no período de curto prazo (Apêndice A). A redução da precipitação e a má distribuição de chuvas dentro do período de plantio podem sugerir a utilização da irrigação suplementar, inclusive no período chuvoso, para evitar perdas na produtividade da soja (JUSTINO et al., 2019).

Figura 8 – Variação percentual da precipitação pluvial a partir do *ensemble* dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 4.5, em comparação com o período atual para os 30 municípios.



Fonte: o autor.

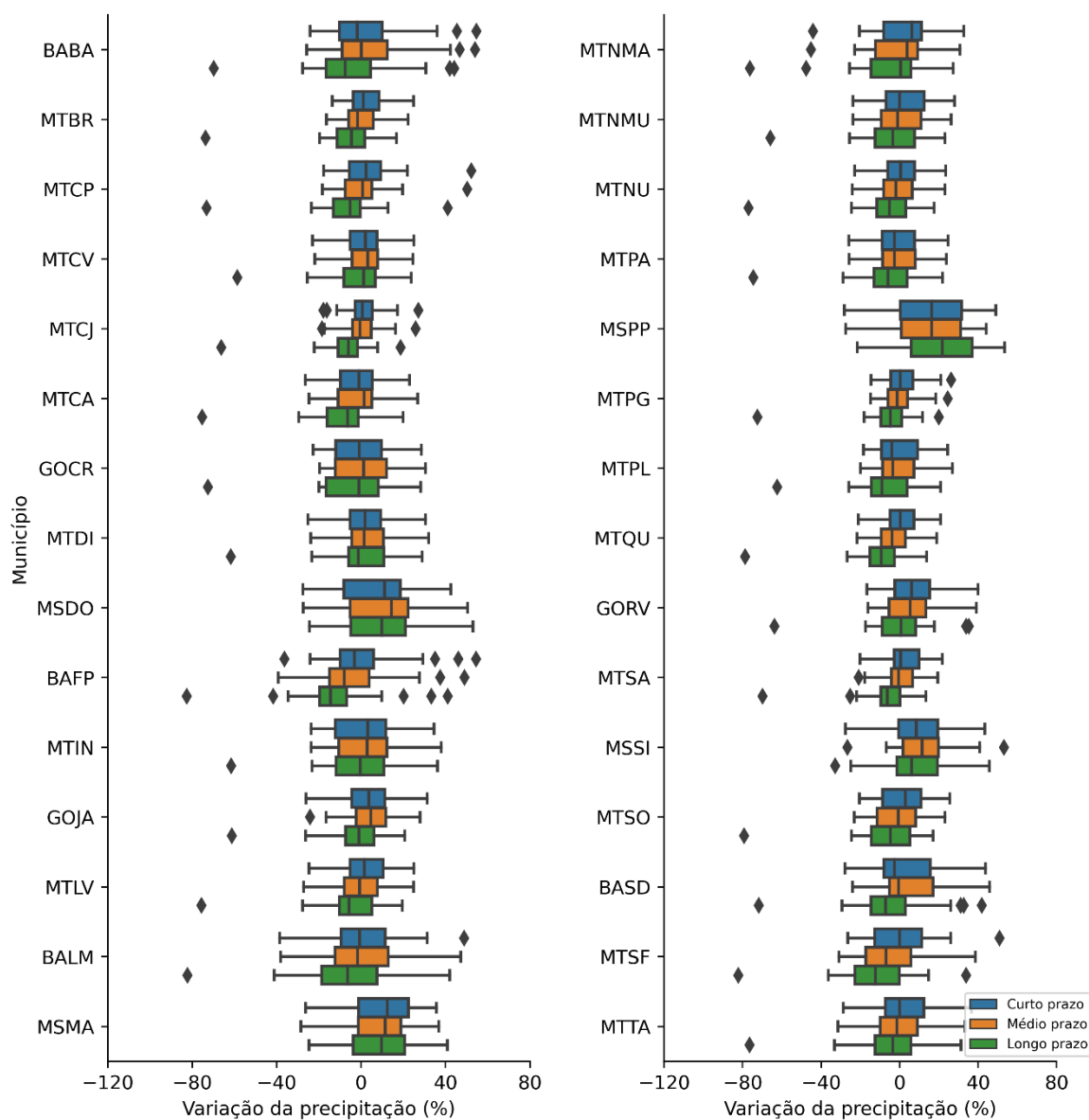
Na Figura 9 são exibidas as variações percentuais da precipitação pluvial para a estação de crescimento da soja, no período de setembro a março, originadas pelo *ensemble* dos MCGs no RCP 8.5, para os períodos de curto (2020-2039), médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099), em comparação com a condição atual. No RCP 8.5, conforme as projeções, haverá, em média, no período de curto e médio prazo, o acréscimo da precipitação pluvial, com incremento 3% e 2%, respectivamente.

Para o período de longo prazo, haverá o decréscimo da precipitação pluvial, com redução média de 3%. Os municípios do estado da Bahia, Goiás e Mato Grosso terão a redução média na precipitação de 7%, 1% e 6%, respectivamente. Todavia, para os municípios do Mato Grosso do Sul, as projeções indicam um aumento na precipitação em cerca de 12%.

As localidades de Formosa do Rio Preto-BA, Barreiras-BA e São Desidério-BA foram os municípios que apresentaram os menores totais acumulados de precipitação para o futuro, com 760 mm, 864 mm e 876 mm (Apêndice A), respectivamente, porém com valores próximos aos 850 mm requeridos pela cultura da soja ao longo do ciclo (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Entretanto, conforme Farias, Nepomuceno e Neumaier (2007), para o alto rendimento dos grãos de soja, é necessário, além do volume de água adequado, que a água seja bem distribuída ao longo ciclo da cultura.

O maior volume de precipitação acumulada foi encontrado no município de Porto dos Gaúchos-MT no período de curto prazo, com 1752 mm (Apêndice A).

Figura 9 – Variação percentual da precipitação pluvial a partir do *ensemble* dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 8.5, em comparação com o período atual para os 30 municípios.



Fonte: o autor.

Na Figura 10 são exibidas as variações percentuais evapotranspiração de referência (ET_o) durante o desenvolvimento da soja, no período de setembro a março, originadas pelo *ensemble* dos MCGs no RCP 4.5, para os períodos de curto (2020-2039), médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099), em comparação com a condição atual.

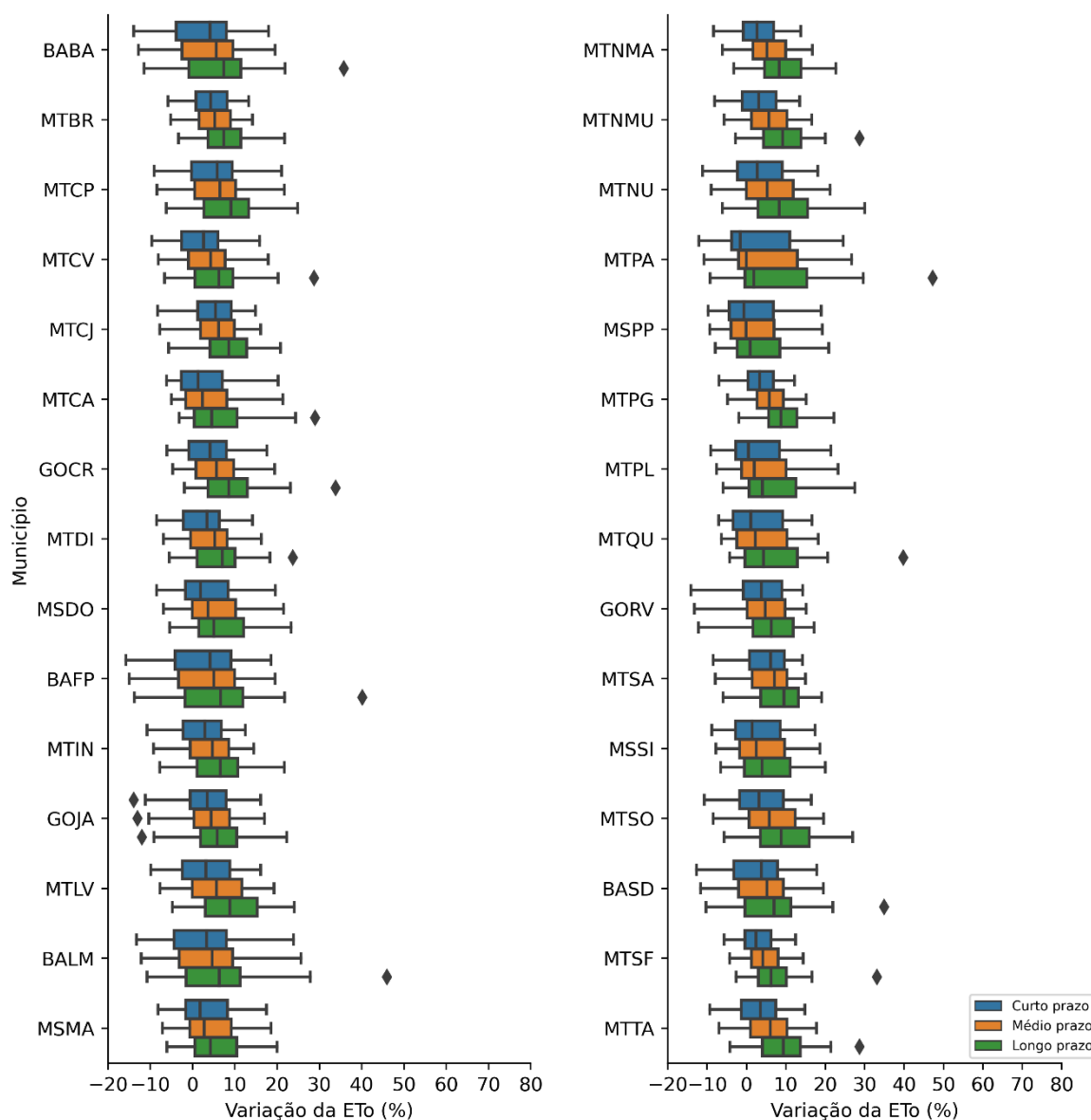
De acordo com as projeções, no RCP 4.5, haverá o aumento da evapotranspiração de referência em todos municípios e períodos estudados, com acréscimos médios de 3% no período de curto prazo, 5% no período de médio

prazo, e 7% no período de longo prazo (Figura 10). Até o fim do século XXI, é esperado um aumento médio na evapotranspiração de referência de 5% para todos os municípios avaliados.

Os maiores acréscimos de evapotranspiração ocorrerão no período de longo prazo, tendo em vista que os maiores aumentos na temperatura são projetados, também, para essa época (Figura 6). Bender (2017), em estudo dos impactos das mudanças climáticas na produtividade do milho no Brasil, também constatou o aumento da evapotranspiração em diversos municípios brasileiros nos cenários futuros, corroborando com este trabalho. Dos Santos & Sentelhas (2012) afirmam que os maiores incrementos na evapotranspiração de referência estão relacionados ao aumento da temperatura do ar em cenários futuros.

Os municípios avaliados apresentaram média da evapotranspiração de referência variando entre 1004 mm, em Querência-MT no período de curto prazo, e 1259 mm, em Formosa do Rio Preto-BA no período de longo prazo (Apêndice A).

Figura 10 – Variação percentual da evapotranspiração de referência a partir do *ensemble* dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 4.5, em comparação com o período atual para os 30 municípios.



Fonte: o autor.

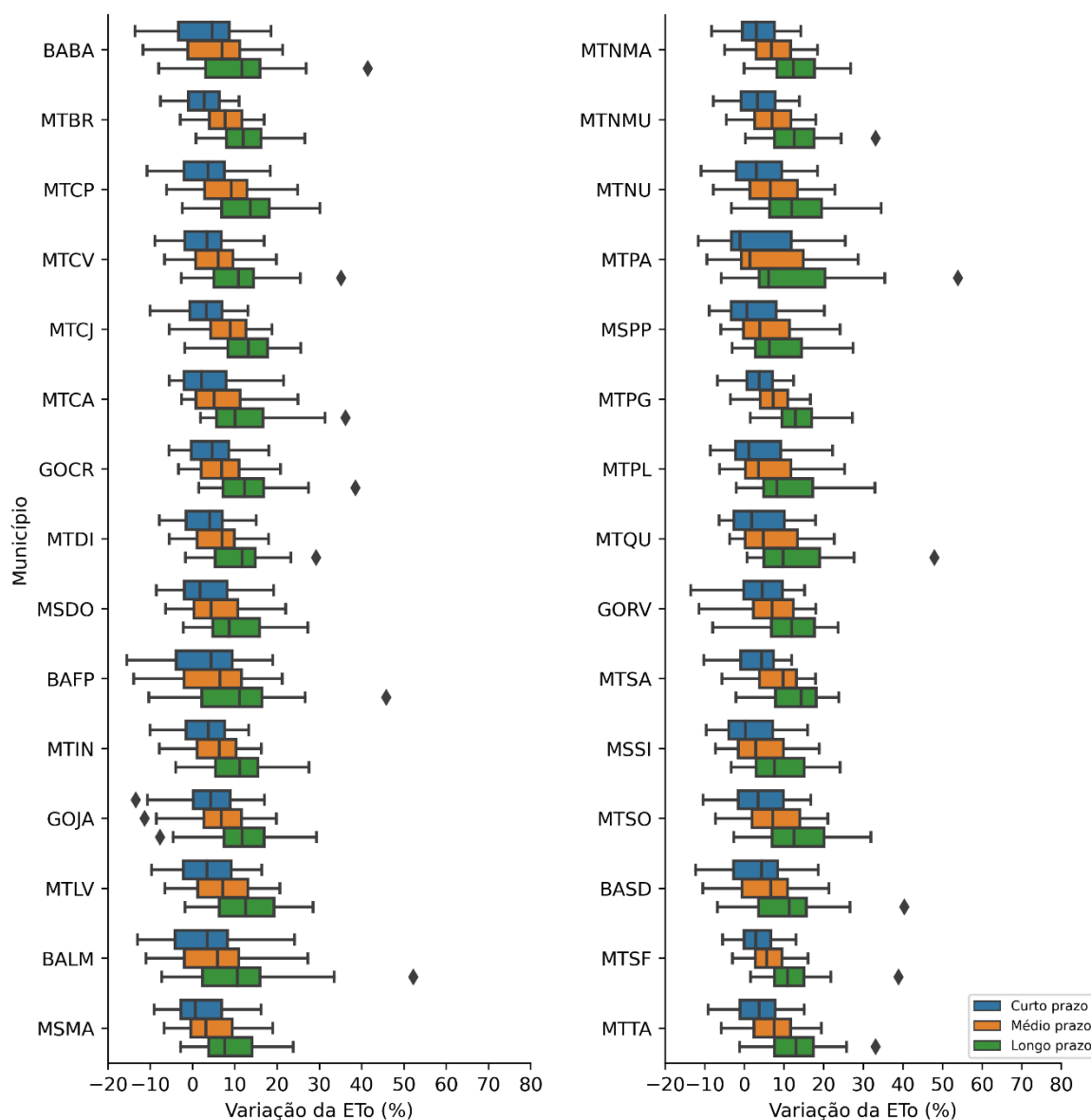
As variações percentuais da evapotranspiração de referência (ETo) para a estação de crescimento da soja, no período de setembro a março, geradas pelo *ensemble* dos MCGs no RCP 8.5, são exibidas na Figura 11, para os períodos de curto (2020-2039), médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099), em comparação com a condição atual.

No RCP 8.5, conforme as projeções, haverá o acréscimo médio da evapotranspiração em todos municípios e períodos analisados, com aumentos de 3% no período de curto prazo, 6% no período de médio prazo, e 12% no período de

longo prazo (Figura 11), justificados pelos aumentos projetados na temperatura nos respectivos períodos. Guo, Westra e Maier (2017), avaliando a sensibilidade da evapotranspiração em relação às mudanças climáticas, observaram, também, o aumento da evapotranspiração em função do aumento da temperatura.

Os municípios avaliados apresentaram média da evapotranspiração de referência variando entre 1012 mm, em Campos de Júlio-MT no período de curto prazo, e 1310 mm, em Formosa do Rio Preto-BA no período de longo prazo (Apêndice A). As localidades Formosa do Rio Preto-BA, Dourados-MS, Maracaju-MS, Sidrolândia-MS e Barreiras-BA foram os municípios que apresentaram os maiores totais acumulados de evapotranspiração no período de longo prazo do RCP 8.5, com valor de 1310 mm, 1297mm, 1294 mm, 1282 mm e 1281 mm, respectivamente (Apêndice A). Os totais da evapotranspiração de referência desses municípios são maiores que os totais de precipitação pluvial estimados no mesmo período.

Figura 11 – Variação percentual da evapotranspiração de referência a partir do *ensemble* dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 8.5, em comparação com o período atual para os 30 municípios.



Fonte: o autor.

De uma maneira geral, as projeções geradas pelo *ensemble* dos MCGs nos dois cenários de RCPs evidenciam o aumento da temperatura e da evapotranspiração de referência para todos os municípios avaliados neste estudo. Entretanto, para a precipitação pluvial, as projeções indicam acréscimos nos períodos de curto e médio prazo, e decréscimos para o período de longo prazo.

5.3 Desempenho do modelo AquaCrop-OS para os dados atuais

Na Tabela 7 encontra-se a produtividade observada para a soja (IBGE), a produtividade estimada no AquaCrop-OS, a produtividade estimada no AquaCrop corrigida pelo *yield gap* e o desempenho dos resultados da produtividade da soja corrigida em regime de sequeiro para cada município nos dados atuais, e comparado com os dados observados do IBGE. O erro absoluto médio (EAM) variou entre 0,26 ton.ha⁻¹, em Campo Verde-MT, e 1,84 ton.ha⁻¹, em Formosa do Rio Preto-BA. Haja vista que foram simuladas as produtividades em regime de sequeiro, o pior desempenho do modelo para o município de Formosa do Rio Preto-BA está relacionado à limitação climática da região, a qual é amenizada por meio do uso da irrigação suplementar para atender a demanda hídrica da cultura.

Observa-se, na Tabela 7, excluindo-se os municípios do estado da Bahia, que há uma tendência do AquaCrop-OS em superestimar as produtividades da soja quando comparadas com as produtividades dos dados observados, comprovando a existência do *yield gap* conforme Sentelhas et al. (2016). Dessa forma, após a correção dos dados simulados de produtividade pelo valor proposto por Battisti et al. (2020), percebe-se que há uma maior aproximação entre os resultados simulados e os observados. É importante ressaltar, também, que os dados observados do IBGE são valores médios das produtividades das fazendas produtoras de soja de cada município, ou seja, podem existir propriedades rurais com produtividades acima da média observada.

Analisando o desempenho médio do AquaCrop-OS por estado, os estados de Mato Grosso e Goiás apresentaram os melhores resultados, com valores de 0,57 e 0,68 ton.ha⁻¹ para o RMSE, respectivamente. O elevado desempenho nesses estados pode ser justificado devido aos parâmetros da cultura utilizados no modelo, visto que esses foram calibrados para os mesmos estados (BATTISTI, 2016).

O desempenho médio do AquaCrop-OS para todos os municípios, em regime de sequeiro, pelo índice de concordância de Willmott (d), erro médio, erro absoluto médio e raiz do quadrado médio do erro, foi de 0,32, -0,69 ton.ha⁻¹, 0,72 ton.ha⁻¹ e 0,81 ton.ha⁻¹, respectivamente. Os valores médios do EAM e do RMSE obtidos neste estudo foram próximos aos valores encontrados para a produtividade da soja no sul do Brasil por Battisti, Sentelhas e Boote (2017).

Tabela 6 – Desempenho do modelo AquaCrop-OS para cada município no período entre 2010 e 2015 em regime de sequeiro, com data de semeadura no dia 21/10.

Município	Prod. obs. média	Prod. est. média	Prod. est. média corrigida	d	EM	EAM	RMSE
São Desidério-BA	2,88	2,79	1,56	0,37	-1,32	1,34	1,65
Formosa do Rio Preto-BA	2,95	1,99	1,12	0,32	-1,84	1,84	2,01
Luís Eduardo Magalhães-BA	2,99	3,17	1,77	0,35	-1,21	1,21	1,67
Barreiras-BA	2,92	2,34	1,31	0,41	-1,60	1,60	1,78
Rio Verde-GO	2,86	4,77	2,67	0,50	-0,19	0,36	0,40
Jataí-GO	3,24	5,03	2,82	0,46	-0,43	0,48	0,55
Cristalina-GO	2,87	4,59	2,57	0,39	-0,30	0,73	1,07
Sorriso-MT	3,23	4,54	2,54	0,23	-0,68	0,68	0,70
Nova Mutum-MT	3,08	4,63	2,59	0,31	-0,49	0,49	0,50
Nova Ubiratã-MT	3,14	4,53	2,54	0,23	-0,60	0,60	0,67
Querência-MT	3,20	4,72	2,64	0,24	-0,56	0,56	0,60
Campo Novo do Parecis-MT	3,17	5,20	2,91	0,08	-0,99	0,99	1,05
Sapezal-MT	3,05	4,90	2,75	0,31	-0,30	0,30	0,34
Diamantino-MT	3,09	4,44	2,48	0,28	-0,60	0,60	0,61
Primavera do Leste-MT	3,09	4,71	2,64	0,19	-0,46	0,46	0,48
Canarana-MT	3,05	4,63	2,59	0,28	-0,46	0,46	0,51
Campo Verde-MT	3,17	5,20	2,91	0,43	-0,26	0,26	0,28
Lucas do Rio Verde-MT	3,06	4,63	2,60	0,35	-0,46	0,46	0,51
São Félix do Araguaia-MT	3,20	4,43	2,48	0,27	-0,71	0,71	0,72
Ipiranga do Norte-MT	3,12	3,97	2,22	0,17	-0,90	0,90	0,93
Brasnorte-MT	3,01	4,46	2,50	0,37	-0,51	0,51	0,54
Campos de Júlio-MT	2,97	4,72	2,64	0,48	-0,32	0,32	0,37
Tapurah-MT	3,00	4,58	2,57	0,31	-0,43	0,43	0,46
Paranatinga-MT	3,07	4,68	2,62	0,31	-0,45	0,45	0,51
Porto dos Gaúchos-MT	3,19	4,61	2,58	0,36	-0,61	0,61	0,64
Nova Maringá-MT	2,99	4,73	2,65	0,22	-0,34	0,34	0,35
Maracaju-MS	3,06	3,54	1,98	0,13	-1,07	1,07	1,16
Sidrolândia-MS	2,65	3,95	2,21	0,29	-0,44	0,70	0,73
Ponta Porã-MS	2,97	3,60	2,02	0,57	-0,95	0,95	1,13
Dourados-MS	2,76	2,82	1,58	0,41	-1,18	1,18	1,44
Média	3,03	4,23	2,37	0,32	-0,69	0,72	0,81

Prod. obs. média - Produtividade observada média (IBGE); Prod. est. média - Produtividade estimada média; Prod. est. média corrigida - Produtividade estimada média corrigida pelo *yield gap*.

Fonte: o autor.

Na Tabela 8 encontra-se a produtividade observada para a soja (IBGE), a produtividade estimada no AquaCrop-OS, a produtividade estimada no AquaCrop corrigida pelo *yield gap* e o desempenho dos resultados da produtividade da soja corrigida em regime irrigado para cada município nos dados atuais, e comparado com os dados observados do IBGE. Analisando o desempenho médio do AquaCrop-OS por estado, o erro absoluto médio variou entre 0,45 ton.ha⁻¹, em Goiás, e 0,56 ton.ha⁻¹, em Mato Grosso.

O desempenho médio do AquaCrop-OS para todos os municípios, em regime irrigado, pelo índice de concordância de Willmott (d), erro médio, erro absoluto médio e raiz do quadrado médio do erro, foi de 0,31, -0,39 ton.ha⁻¹, 0,49 ton.ha⁻¹ e 0,52 ton.ha⁻¹, respectivamente.

Observa-se que as simulações do AquaCrop-OS para o regime irrigado exibiram maior concordância com os dados observados do IBGE, quando comparados com regime de sequeiro. Essa boa concordância pode estar relacionada ao fato de que no cultivo em regime de sequeiro, as plantas podem atingir, em algumas fases de crescimento, a condição de estresse hídrico, limitando assim sua produtividade. Logo, nos anos em que ocorrem déficits hídricos, a produtividade simulada pelo modelo AquaCrop-OS atinge valores inferiores à produtividade observada. Além disso, há melhor concordância do modelo com os dados de regime irrigado, pois a maioria dos municípios estudados realizam o plantio da soja de maneira irrigada, principalmente os municípios do estado da Bahia. Silva et al. (2017) também encontraram menores erros ao comparar a produtividade da soja estimada pelo AquaCrop com os tratamentos irrigados na região de Matopiba.

Tabela 7 – Desempenho do modelo AquaCrop-OS para cada município no período entre 2010 e 2015 em regime irrigado, com data de semeadura no dia 21/10.

Município	Prod. obs. média	Prod. est. média	Prod. est. média corrigida	d	EM	EAM	RMSE
São Desidério-BA	2,88	5,05	2,83	0,28	-0,30	0,39	0,42
Formosa do Rio Preto-BA	2,95	4,78	2,68	0,50	-0,49	0,39	0,45
Luís Eduardo Magalhães-BA	2,99	5,17	2,90	0,23	-1,08	0,47	0,49
Barreiras-BA	2,92	4,68	2,62	0,49	-0,28	0,48	0,54
Rio Verde-GO	2,86	5,02	2,81	0,40	-0,27	0,33	0,33
Jataí-GO	3,24	5,12	2,86	0,47	-0,44	0,43	0,51
Cristalina-GO	2,87	5,92	3,32	0,48	0,44	0,44	0,49
Sorriso-MT	3,23	4,56	2,55	0,25	-0,64	0,67	0,68
Nova Mutum-MT	3,08	4,67	2,62	0,30	-0,10	0,47	0,48
Nova Uiratã-MT	3,14	4,62	2,59	0,30	-0,28	0,55	0,59
Querência-MT	3,20	4,57	2,56	0,24	-0,77	0,64	0,66
Campo Novo do Parecis-MT	3,09	3,59	2,01	0,08	-0,38	1,08	1,13
Sapezal-MT	3,05	4,91	2,75	0,39	-0,50	0,30	0,32
Diamantino-MT	3,09	4,37	2,45	0,22	-0,09	0,64	0,65
Primavera do Leste-MT	3,09	4,68	2,62	0,16	-0,43	0,47	0,48
Canarana-MT	3,05	4,66	2,61	0,38	-0,43	0,44	0,47
Campo Verde-MT	3,17	5,15	2,88	0,42	-0,47	0,28	0,30
Lucas do Rio Verde-MT	3,06	4,57	2,56	0,35	-0,55	0,50	0,53
São Félix do Araguaia-MT	3,20	4,37	2,45	0,23	-0,39	0,75	0,76
Ipiranga do Norte-MT	3,12	4,20	2,35	0,23	-0,14	0,77	0,78
Brasnorte-MT	3,01	4,50	2,52	0,35	-0,67	0,49	0,52
Campos de Júlio-MT	2,97	4,82	2,70	0,48	-0,47	0,27	0,32
Tapurah-MT	3,00	4,54	2,54	0,32	-0,64	0,45	0,48
Paranatinga-MT	3,07	4,79	2,68	0,38	-0,06	0,39	0,43
Porto dos Gaúchos-MT	3,19	4,51	2,53	0,33	-0,05	0,67	0,69
Nova Maringá-MT	2,99	4,57	2,56	0,18	-0,75	0,43	0,43
Maracaju-MS	3,06	4,68	2,62	0,21	-0,30	0,43	0,44
Sidrolândia-MS	2,65	4,75	2,66	0,08	0,01	0,38	0,48
Ponta Porã-MS	2,97	5,05	2,83	0,40	-0,67	0,38	0,43
Dourados-MS	2,76	4,74	2,65	0,26	-0,45	0,37	0,44
Média	3,03	4,72	2,64	0,31	-0,39	0,49	0,52

Prod. obs. média - Produtividade observada média (IBGE); Prod. est. média - Produtividade estimada média; Prod. est. média corrigida - Produtividade estimada média corrigida pelo *yield gap*.
Fonte: o autor.

5.4 Produtividade da soja para o futuro

As variações percentuais na produtividade da soja em regime de sequeiro, para todos os municípios, geradas pelo *ensemble* dos MCGs no RCP 4.5, são exibidas na Figura 12, para os períodos de curto (2020-2039), médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099), em comparação com a produtividade atual em regime de sequeiro (1980-2015), de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS. Os valores das produtividades da soja em cada período, no regime de sequeiro e irrigado, para cada município nos cenários de RCP 4.5 e RCP 8.5, são exibidos no Apêndice B.

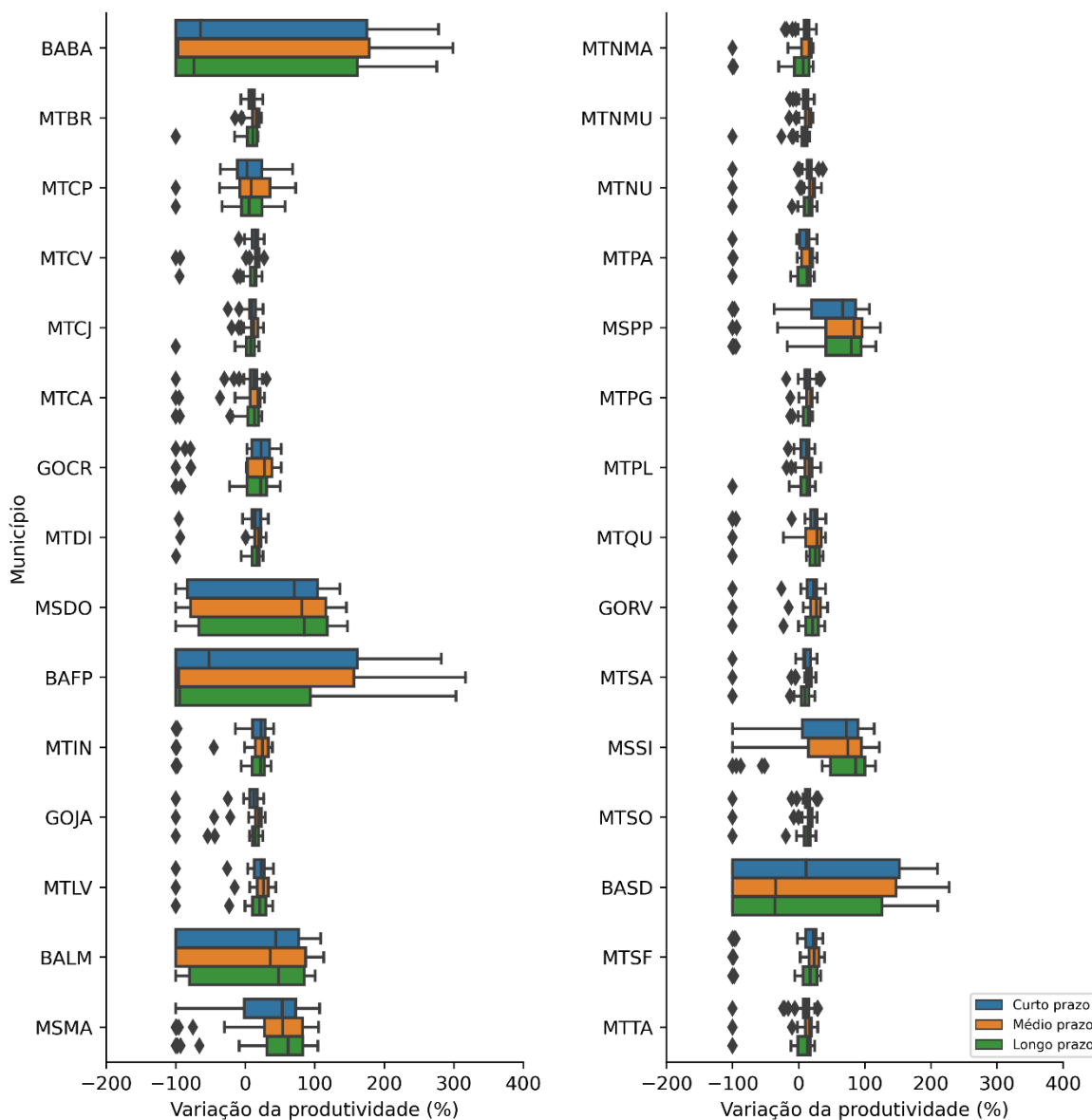
Segundo as projeções, no RCP 4.5, a produtividade da soja em regime de sequeiro aumentará para a maioria dos municípios, com acréscimos médios de 13% no período de curto prazo, 15% no período de médio prazo, e 10% no período de longo prazo. Consoante as projeções, analisando todos os municípios, até o fim do século XXI, ocorrerá um aumento médio na produtividade de 13%. Contudo, apesar dos aumentos, a produtividade da soja variou entre -100 e 282% no período de curto prazo, -100 e 317% no período de médio prazo, e -100 e 303% no período de longo prazo (Figura 12).

Os municípios de Cristalina-GO (GOCR), Formosa do Rio Preto-BA (BAFP), Nova Maringá-MT (MTMNA), Nova Ubiratã-MT (MTNU), Paranatinga-MT (MTPA), Sapezal-MT (MTSA) e Tapurah-MT (MTTA) exibiram decréscimos médios na produtividade da soja no período de longo prazo de 1%, 2%, 6%, 1%, 4%, 2% e 7%, respectivamente (Figura 12). Essas reduções são motivadas pela má distribuição de chuvas durante o crescimento da cultura, que pode ter gerado o estresse hídrico na planta, o qual é atenuado por meio do uso da irrigação suplementar na região. Observa-se que os municípios do estado da Bahia apresentaram os maiores decréscimos médios na produtividade, chegando até 100%.

Apesar do aumento da produtividade nos períodos futuros, observa-se uma redução da produtividade no período de longo prazo do RCP 4.5, comparando-se com os outros períodos, motivada pelo decréscimo da precipitação nesse período (Figura 8). Cera et al (2017), com objetivo de estimar a produtividade da soja com limitação de água no RCP 4.5, também detectou o decréscimo da produtividade da cultura no Rio Grande do Sul até o fim do século XXI, em razão do estresse hídrico no solo, corroborando com este trabalho.

O município de Campo Verde-MT demonstrou a maior produtividade média para a soja nos períodos de curto e longo prazos do RCP 4.5, com cerca de 5,22 ton.ha⁻¹ e 4,96 ton.ha⁻¹, respectivamente. Para o período de médio prazo, a cidade de Jataí-GO exibiu o maior valor de produtividade, cerca de 5,09 ton.ha⁻¹ (Apêndice B). A alta produtividade nesses municípios está associada às condições climáticas durante o plantio da cultura, que permitiram o desenvolvimento satisfatório da planta. O município de Formosa do Rio Preto-BA destacou-se pelo menor valor de produtividade média, com cerca de 1,31 ton.ha⁻¹, 1,50 ton.ha⁻¹ e 1,51 ton.ha⁻¹ para os períodos de longo, curto e médio prazo, respectivamente. A produtividade média de soja no regime de sequeiro para os municípios estudados no RCP 4.5 foi de 3,92 ton.ha⁻¹ (Apêndice B).

Figura 12 – Variação percentual da produtividade da soja em regime de sequeiro, a partir do *ensemble* dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 4.5, em comparação com a produtividade atual, de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS para os 30 municípios.



Fonte: o autor.

Na Figura 13 são exibidas as variações das produtividades percentuais da soja em regime de sequeiro, para todos os municípios, geradas pelo *ensemble* dos MCGs no RCP 8.5, para os períodos de curto (2020-2039), médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099), em comparação com a produtividade atual em regime de sequeiro (1980-2015), de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS.

No RCP 8.5, conforme as projeções, haverá, ao longo das décadas, o aumento na produtividade da soja nos municípios avaliados, com acréscimos médios de 15% no período de curto prazo, 21% no período de médio prazo, e 8% no período de longo prazo. Segundo as projeções, ao analisar todos os municípios, até o fim do século XXI, ocorrerá um aumento médio na produtividade de 15%. Entretanto, embora haja acréscimos, a produtividade da soja variou entre -100 e 303%, -100 e 375% e -100 e 318% para os períodos de curto, médio e longo prazo, respectivamente (Figura 13).

Em média, os municípios do estado da Bahia apresentaram acréscimos na produtividade de 15% no período de curto prazo, 27% no período de médio prazo, e 2% no período de longo prazo em comparação com a atual. Os municípios do estado de Goiás apresentaram acréscimos médios de 12% no período de curto prazo, 18% no período de médio prazo, e, para o período de longo prazo, houve um decréscimo de 6%. Os municípios do estado do Mato Grosso do Sul exibiram os maiores acréscimos médios na produtividade, cerca de 34%, 60% e 61% para os períodos de curto, médio e longo prazo, respectivamente.

Para os municípios do estado do Mato Grosso, houve acréscimos médios na produtividade de 11% no período de curto prazo, 13% no período de médio prazo, e, para o período de longo prazo, não houve variação da produtividade futura em comparação com a atual. Pires et al. (2016), ao avaliarem como as mudanças climáticas podem afetar a produtividade da soja até 2050 no RCP 8.5, afirmam que a produtividade pode aumentar, em média, em 8% no estado do Mato Grosso e em 9% no Centro-Oeste brasileiro. Esses valores são próximos aos encontrados neste estudo.

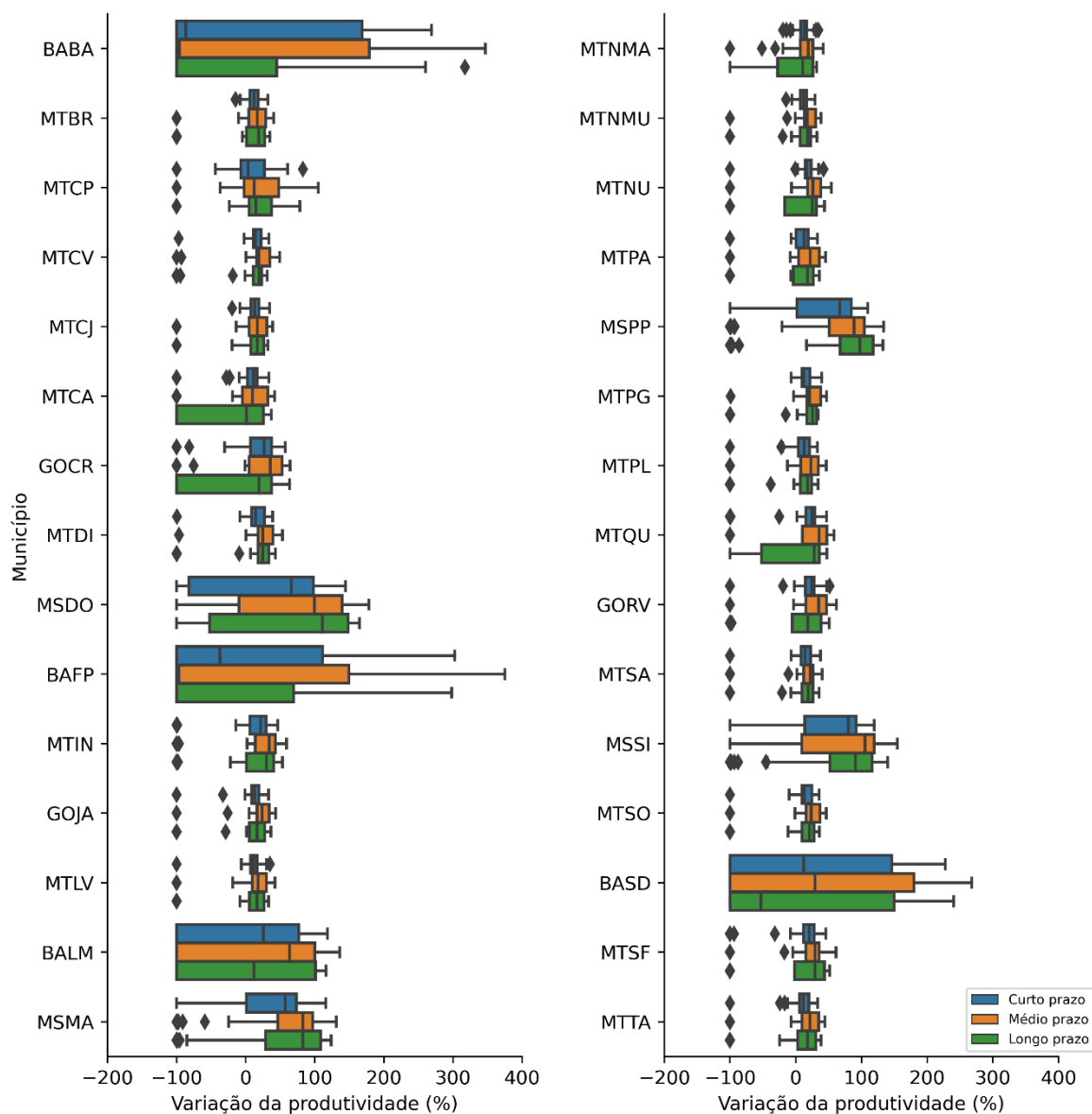
Os municípios de Barreiras-BA (BABA), Brasnorte-MT (MTBR), Canarana-MT (MTCA), Cristalina-GO (GOCR), Nova Maringá-MT (MTMNA), Nova Ubiratã-MT (MTNU), Paranatinga-MT (MTPA), Querência-MT (MTQU) e Rio Verde-GO (GORV) exibiram decréscimos médios na produtividade da soja no período de longo prazo de 19%, 3%, 35%, 21%, 11%, 5%, 7%, 6% e 2%, respectivamente (Figura 13). A diminuição da produtividade nesses municípios está relacionada à redução na disponibilidade de água no solo, decorrente da ação combinada de diminuição das chuvas e aumento da temperatura.

O município de Campo Verde-MT demonstrou, no RCP 8.5, a maior produtividade média para a soja, com cerca de 5,36 ton.ha⁻¹ no período de médio prazo. A menor produtividade foi encontrada no período de longo prazo no município

de Barreiras-BA, com cerca de $1,21 \text{ ton.ha}^{-1}$ (Apêndice B). A produtividade média de soja no regime de sequeiro para os municípios estudados no RCP 8.5 foi de $3,97 \text{ ton.ha}^{-1}$.

Percebe-se, tanto na Figura 12 (RCP 4.5) quanto na Figura 13 (RCP 8.5), que alguns municípios atingem variações de até -100% na produtividade. Esses valores ocorrem, pois, em alguns anos a soja não se desenvolveu devido à deficiência hídrica, o que permite concluir que a planta morreu segundo as simulações no modelo AquaCrop-OS. Assim, nos anos em que a planta morreu, a produtividade simulada do futuro para soja foi igual a zero, fazendo com que os valores obtidos pela Equação 12 atingissem -100%.

Figura 13 – Variação percentual da produtividade da soja em regime de sequeiro, a partir do *ensemble* dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 8.5, em comparação com a produtividade atual, de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS para os 30 municípios.



Fonte: o autor.

Na Figura 14 são apresentadas as alterações percentuais das produtividades da soja em regime irrigado, para todos os municípios, geradas pelo *ensemble* dos MCGs no RCP 4.5, para os períodos de curto (2020-2039), médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099), em comparação com a produtividade atual em regime irrigado (1980-2015), de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS.

De acordo com as projeções, no RCP 4.5, a produtividade de soja em regime irrigado aumentará, em média, para todos os municípios. Os acréscimos médios da

produtividade foram de 8% no período de curto prazo, 11% no período de médio prazo, e 9% no período de longo prazo, em comparação com a produtividade atual. Desta forma, conforme as projeções, haverá um aumento médio de 9% na produtividade até o fim do século XXI.

Houve uma menor amplitude de variação da produtividade da soja no regime irrigado do RCP 4.5, comparado com regime de sequeiro no mesmo cenário. A alteração na produtividade variou entre -33 e 65% no período de curto prazo, -31 e 67% no período de médio prazo, e -29 e 53% no período de longo prazo (Figura 14). No Sul do Brasil, Minuzzi, Frederico e Silva (2017), ao simular a produtividade da soja irrigada no modelo AquaCrop, também encontraram, na semeadura no dia 10 de outubro, aumentos médios na produtividade para os períodos de curto e médio prazo do cenário RCP 4.5, de 6% e 12%, respectivamente.

Os municípios de Cristalina-GO (GOCR), Formosa do Rio Preto-BA (BAFP), Nova Maringá-MT (MTMNA), Nova Ubiratã-MT (MTNU), Paranatinga-MT (MTPA), Sapezal-MT (MTSA) e Tapurah-MT (MTTA), que apresentaram reduções na produtividade em regime de sequeiro (Figura 12), apresentaram, no regime irrigado, aumentos na produtividade da soja ao longo das décadas, motivado pelo fornecimento de água à planta durante as principais fases de crescimento, como na fase reprodutiva, que é a mais crítica (FARIAS; NEUMAIER; NEPOMUCENO, 2009).

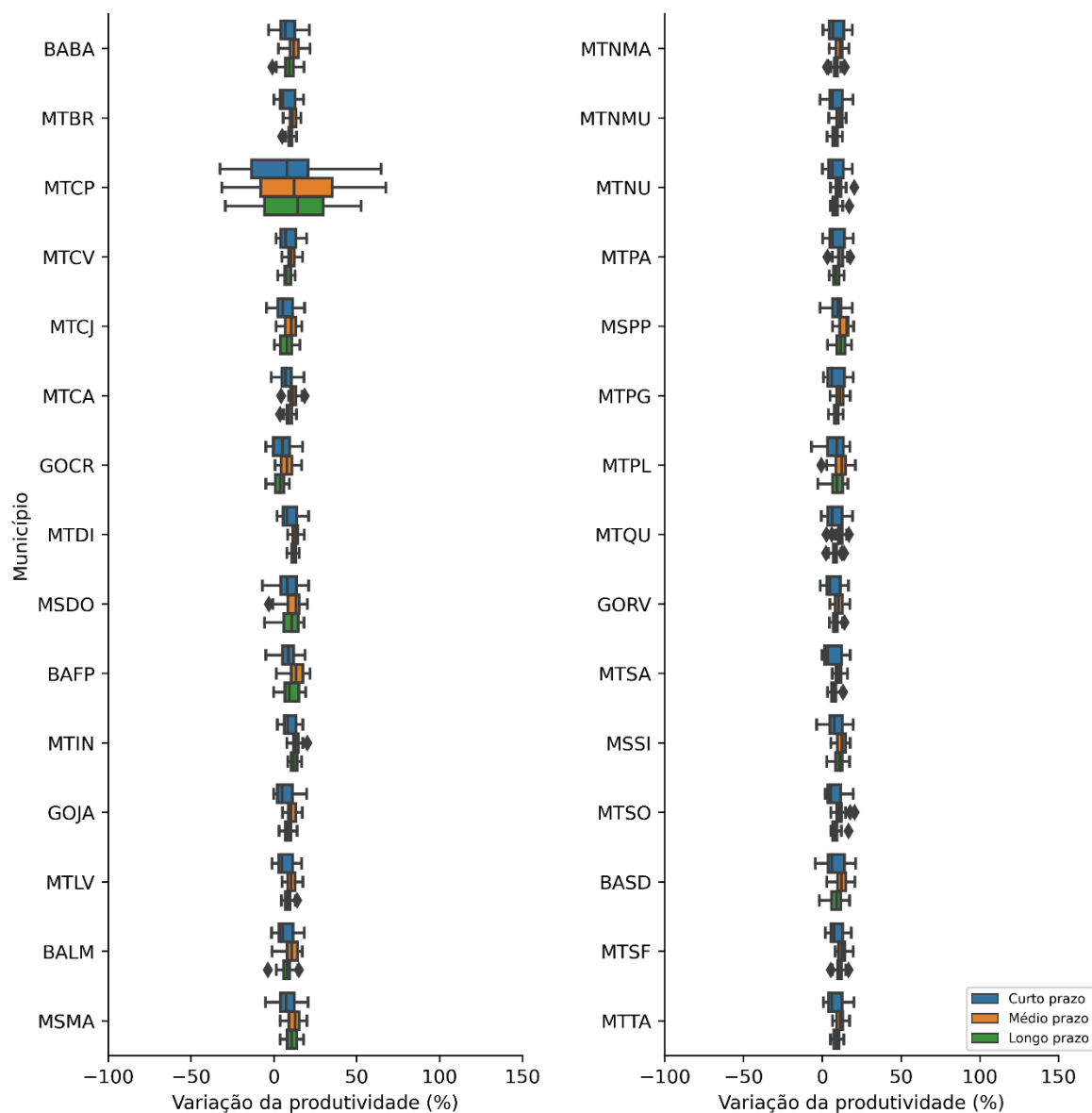
O município de Campo Novo do Parecis-MT destacou-se pelo menor valor de produtividade média, com cerca de 3,03 ton.ha⁻¹, 3,19 ton.ha⁻¹ e 3,21 ton.ha⁻¹ para os períodos de curto, longo e médio prazo, respectivamente. O município de Cristalina-GO exibiu as maiores produtividades médias para a soja nos períodos de curto, médio e longo prazos do RCP 4.5, com cerca de 6,00 ton.ha⁻¹, 6,14 ton.ha⁻¹ e 5,91 ton.ha⁻¹, respectivamente (Apêndice B). A alta produtividade nesse município está associada ao fornecimento de água pela irrigação ao longo do crescimento da cultura, além do aumento da concentração de CO₂ na atmosfera, que permitiram o elevado desenvolvimento da planta.

Castillo (2016), analisando os efeitos das mudanças de temperatura, precipitação e concentração atmosférica de CO₂ sobre a demanda hídrica e produtividade de grãos da soja no Rio Grande do Sul, verificou o aumento na produtividade futura em comparação com a média histórica, e atribui esse acréscimo, principalmente, ao aumento da concentração de CO₂. Souza et al. (2018) afirmam, considerando o incremento de CO₂, que podem ocorrer ganhos na

produtividade da soja de 11,3% e 4,4% para o ano de 2070 nos cenários pessimistas (A2) e otimistas (B2), respectivamente, na região do nordeste Paraense.

A produtividade média de soja no regime irrigado para os municípios estudados no RCP 4.5 foi de 4,92 ton.ha⁻¹ (Apêndice B). Logo, a estratégia do uso da irrigação pode proporcionar um ganho médio de 25% produtividade da soja nesse cenário. Entretanto, estudos sobre a viabilidade econômica de implementação da irrigação suplementar para o futuro nos municípios estudados devem ser realizados com o objetivo de auxiliar a tomada de decisões pelos produtores agrícolas.

Figura 14 – Variação percentual da produtividade da soja em regime irrigado, a partir do *ensemble* dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 4.5, em comparação com a produtividade atual, de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS para os 30 municípios.



Fonte: o autor.

As variações percentuais na produtividade da soja em regime irrigado, para todos os municípios, geradas pelo *ensemble dos MCGs* no RCP 8.5, são exibidas na Figura 15, para os períodos de curto (2020-2039), médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099), em comparação com a produtividade atual irrigada (1980-2015), de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS.

No RCP 8.5, segundo as projeções, haverá o aumento na produtividade da soja em todos municípios, com incremento médio de 10% no período de curto prazo,

21% no período de médio prazo, e 22% no período de longo prazo. Entretanto, embora haja acréscimos, a produtividade da soja variou entre -28 e 77%, -29 e 104% e -14 e 79% para os períodos de curto, médio e longo prazo, respectivamente (Figura 15).

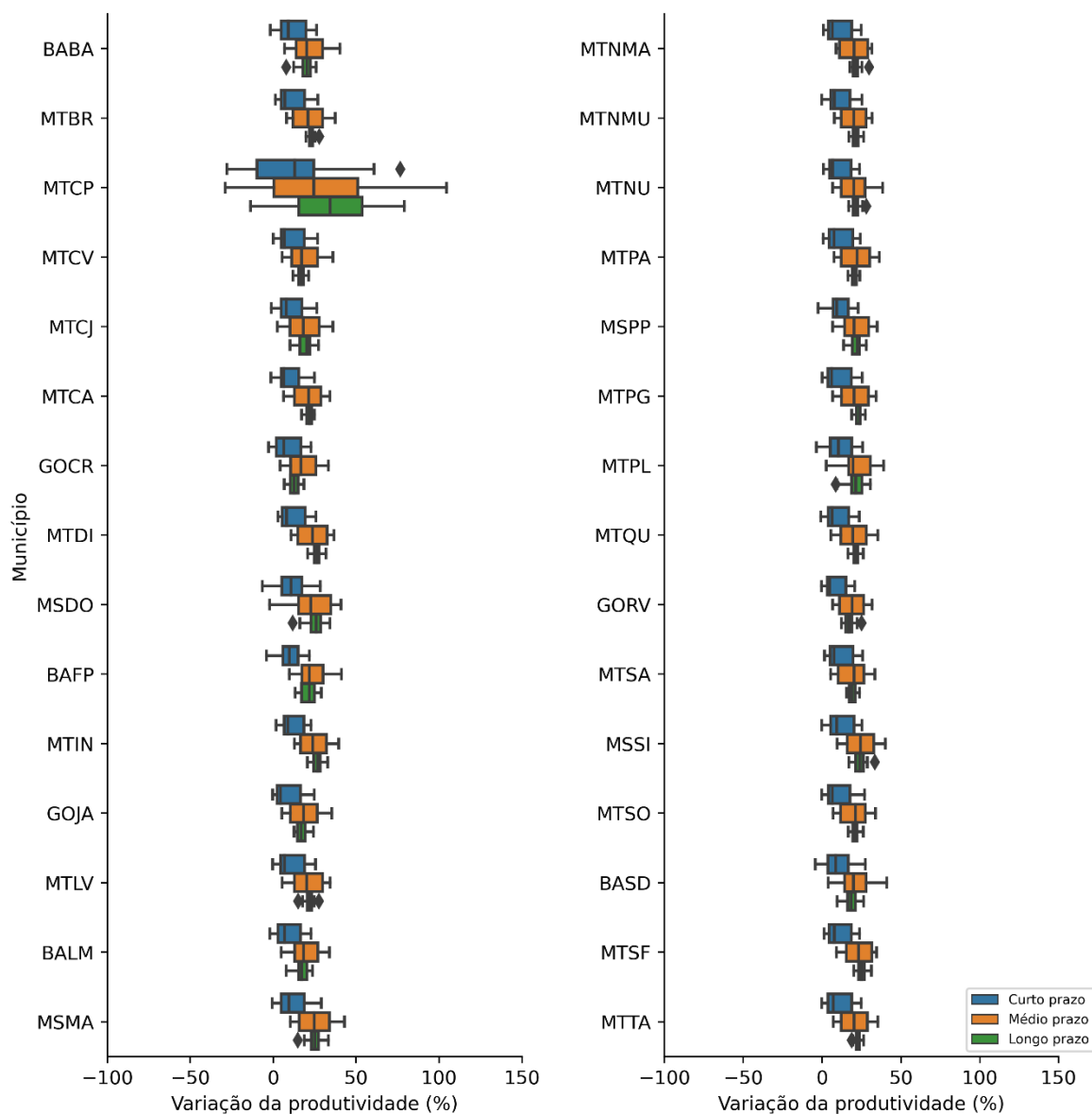
Em média, os municípios do estado da Bahia apresentaram acréscimos na produtividade de 10% no período de curto prazo, 21% no período de médio prazo, e 19% no período de longo prazo. Os municípios do estado de Goiás apresentaram acréscimos médios de 9% no período de curto prazo, 19% no período de médio prazo, e 16% no período de longo prazo. Os municípios do estado do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso exibiram acréscimos iguais nas produtividades, cerca de 11%, 23% e 24% para os períodos de curto, médio e longo prazo, respectivamente.

O município de Cristalina-GO exibiu as maiores produtividades para a soja nos períodos de curto, médio e longo prazos, com cerca de 6,21 ton.ha⁻¹, 6,74 ton.ha⁻¹ e 6,45 ton.ha⁻¹, respectivamente. As menores produtividades foram encontradas no município de Campo Novo do Parecis-MT com cerca de 3,18 ton.ha⁻¹, 3,60 ton.ha⁻¹ e 3,82 ton.ha⁻¹ para os períodos de curto, médio e longo prazo, respectivamente (Apêndice B). A produtividade média de soja no regime irrigado para os municípios estudados no RCP 8.5 foi de 5,28 ton.ha⁻¹. Assim, a estratégia do uso da irrigação proporcionou um ganho médio de 33% produtividade da soja nesse cenário.

A produtividade da soja em regime irrigado do RCP 8.5 exibiu maiores valores do que no regime irrigado do RCP 4.5, com acréscimo médio de 18% na produtividade até o fim do século XXI. Além das boas condições de temperatura e de disponibilidade hídrica no RCP 8.5, a elevada concentração de CO₂ atmosférico pode ter contribuído positivamente para a produtividade nesse cenário. Segundo Streck (2005), o CO₂ é essencial para fotossíntese, e um aumento na sua concentração tem um efeito positivo na produtividade das culturas, principalmente em plantas C3, como a soja.

Silva et al. (2020) avaliaram as condições atuais e os efeitos dos cenários de mudanças climáticas sobre a produtividade da soja na região de Matopiba e também constataram a maior produtividade no cenário do RCP 8.5 em comparação ao RCP 4.5, corroborando com esse estudo.

Figura 15 – Variação percentual da produtividade da soja em regime irrigado, a partir do *ensemble* dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 8.5, em comparação com a produtividade atual, de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS para os 30 municípios.



Fonte: o autor.

5.5 Demanda de água para irrigação da soja no futuro

As variações percentuais na demanda hídrica da irrigação da soja, para todos os municípios, geradas pelo *ensemble* dos MCGs no RCP 4.5, são exibidas na Figura 16, para os períodos de curto (2020-2039), médio (2040-2069) e longo prazo (2070-2099), em comparação com a demanda hídrica atual (1980-2015), de acordo

com simulações do modelo AquaCrop-OS. Os valores da demanda hídrica para irrigação da soja de cada período, para cada município nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, são exibidos no Apêndice B.

Segundo as projeções, no RCP 4.5, haverá, em média, principalmente nos municípios dos estados da Bahia, Goiás e Mato Grosso do Sul, uma redução da demanda hídrica para irrigação até o fim do século XXI, em cerca de 4%, 6% e 16%, respectivamente (Figura 16). Entretanto, para a maioria dos municípios do estado do Mato Grosso, ocorrerá o aumento na demanda hídrica até o ano de 2099, cerca de 13%, o que pode impactar mudanças no manejo de irrigação, visto que quando há aumento na demanda hídrica, aumenta-se a vazão necessária para irrigação.

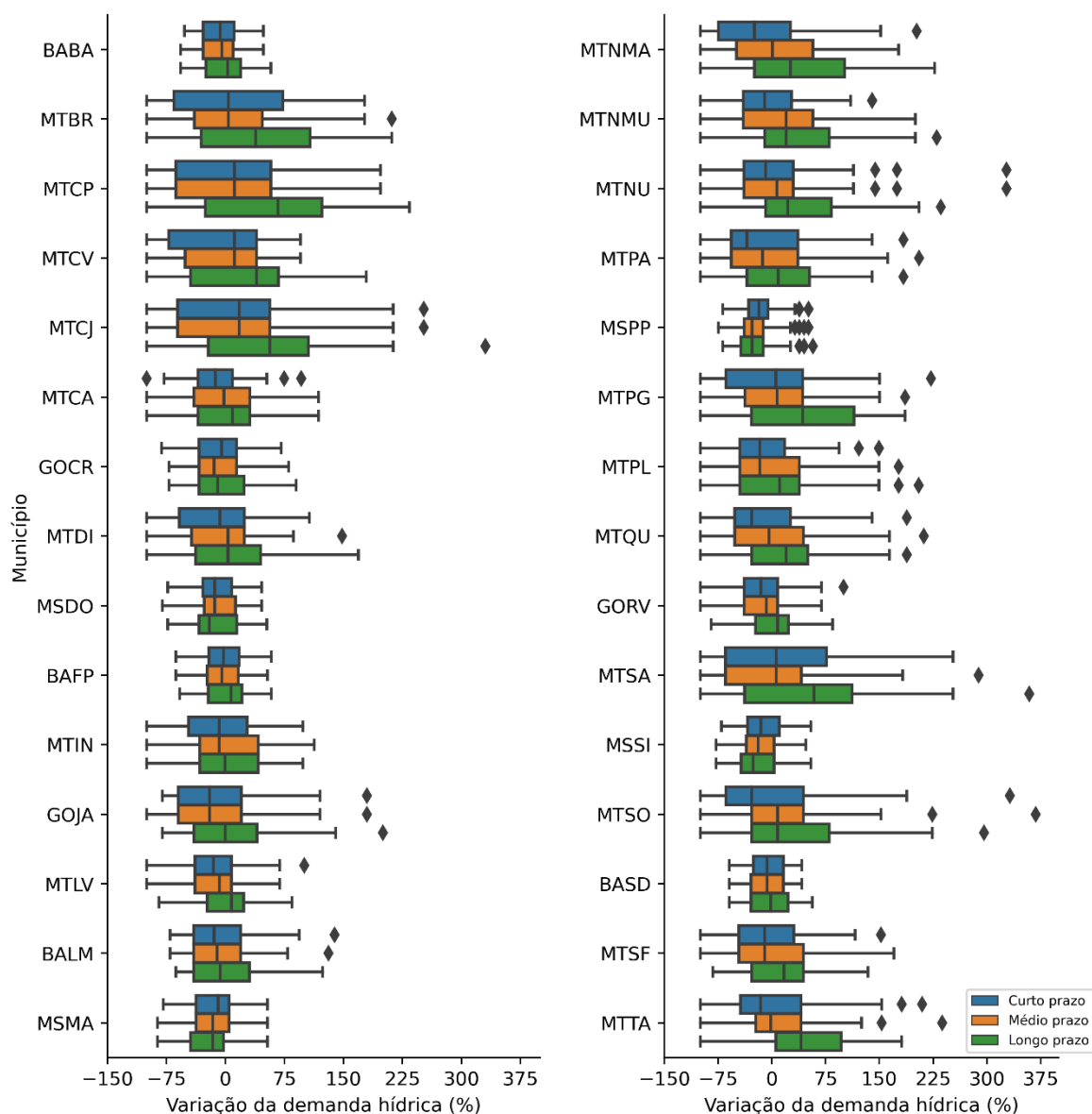
De acordo com as projeções climáticas, nos municípios do estado da Bahia, as reduções médias na demanda hídrica para irrigação foram de 5% no período de curto prazo, 6% no período de médio prazo, e 2% no período de longo prazo em comparação com a demanda hídrica atual. Para o estado de Goiás, as reduções médias na demanda hídrica para irrigação foram de 9% no período de curto prazo, 12% no período de médio prazo, e, para o período de longo prazo, haverá um aumento de 3%.

No estado do Mato Grosso do Sul, as reduções na demanda hídrica para irrigação foram de 13% no período de curto prazo, 17% no período de médio prazo, e 19% no período de longo prazo. Já para o estado do Mato Grosso, as projeções climáticas apontam para aumentos médios na demanda hídrica para irrigação em 1% no período de curto prazo, 8% no período de médio prazo, e 29% no período de longo prazo.

A demanda de água para irrigação média calculada para o dado histórico nos estados da Bahia, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul foram de 163 mm, 110 mm, 59 mm e 220 mm, respectivamente. Os municípios de Formosa do Rio Preto-BA e Barreiras-BA apresentaram as maiores demandas de lâminas de irrigação para a soja no período atual, cerca de 322 mm e 313 mm, respectivamente (Apêndice B). Silva et al. (2020b) avaliaram a resposta da produtividade da cultura da soja utilizando manejos de irrigação no período chuvoso para o Cerrado e encontraram uma lâmina média para irrigação de 371 mm para Barreiras-BA, 201 mm para Cristalina-GO e 151 mm Rio Verde-GO. Em Dourados-MS, a demanda da irrigação para o período atual foi de 225 mm nesse estudo, valor próximo à média encontrada (244 mm) por Flumignan, Almeida e Garcia (2015) nessa mesma cidade, corroborando com esse estudo. A demanda média de água para irrigação de todos

os municípios estudados no cenário de curto, médio e longo prazo do RCP 4.5 foi de 108 mm, 109 mm e 118 mm, respectivamente (Apêndice B).

Figura 16 – Variação percentual da demanda hídrica para irrigação, a partir do *ensemble* dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 4.5 em comparação com a demanda hídrica atual, de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS para os 30 municípios.



Fonte: o autor.

Na Figura 17 são apresentadas as variações percentuais na demanda hídrica da irrigação da soja, para todos os municípios, geradas pelo *ensemble* dos MCGs no RCP 8.5, para os períodos de curto, médio e longo prazo, em comparação com a demanda hídrica atual, de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS.

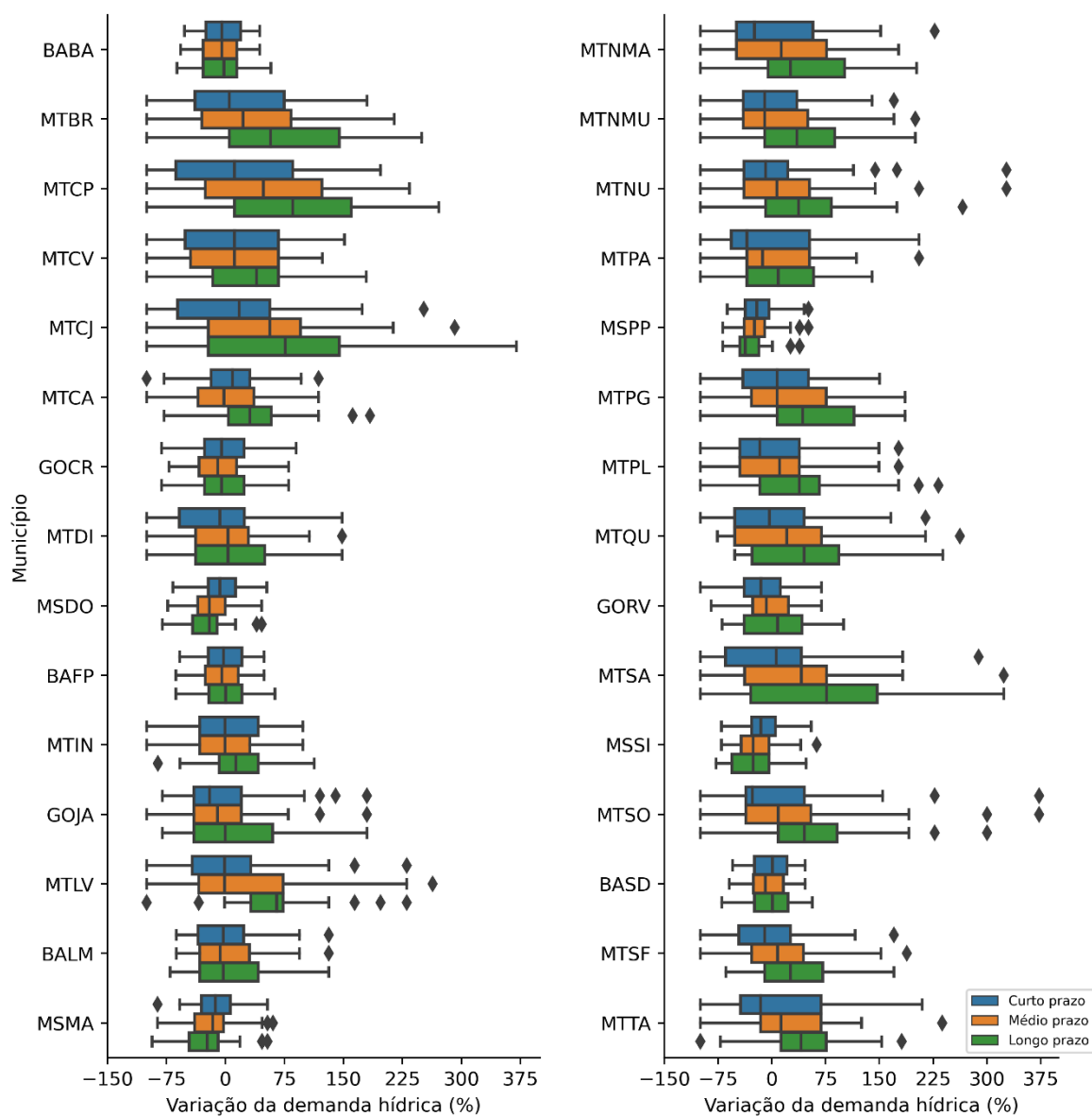
Conforme as projeções climáticas, nos municípios do estado da Bahia, haverá reduções médias na demanda hídrica para irrigação de 3% no período de curto prazo, 4% no período de médio prazo, e 2% no período de longo prazo em relação à demanda hídrica atual. Para o estado de Goiás, as reduções médias na demanda hídrica para irrigação foram de 7% no período de curto prazo, 8% no período de médio prazo, todavia, para o período de longo prazo, houve um aumento na demanda hídrica em 6%. No estado do Mato Grosso do Sul, as reduções na demanda hídrica foram de 12% no período de curto prazo, 19% no período de médio prazo, e 25% no período de longo prazo. Já para o estado do Mato Grosso, as projeções climáticas apontam para aumentos médios na demanda hídrica para irrigação em 7% no período de curto prazo, 22% no período de médio prazo, e 46% no período de longo prazo.

De acordo com as projeções, no RCP 8.5, os municípios dos estados da Bahia, Goiás e Mato Grosso do Sul terão uma redução da demanda hídrica para irrigação até o fim do século XXI, em cerca de 3%, 4% e 19%, respectivamente. Castillo (2016) avaliou o efeito das mudanças climáticas sobre a demanda de água para irrigação e o rendimento de grãos da cultura da soja no Rio Grande do Sul, e também afirma que haverá a redução na demanda de água para irrigação, com decréscimos médios na faixa de 85 mm a 132 mm. Silva et al. (2018b) também confirmam que a partir de meados do século XXI ocorrerá uma redução da demanda hídrica para o feijão, milho, trigo e soja na bacia do rio Ijuí localizada na região noroeste do Rio Grande do Sul.

Na maioria dos municípios do estado do Mato Grosso ocorrerá o acréscimo médio na demanda hídrica para irrigação até o ano de 2099, com cerca de 25% (Figura 17). Esse incremento na demanda de irrigação está relacionado ao aumento da evapotranspiração, que é causado pelas elevadas temperaturas, e também pela má distribuição de chuvas ao longo do crescimento da cultura. Em razão de o período de longo prazo do RCP 8.5 haver decréscimos na precipitação pluvial (Figura 9), ocorrerá, nesse período, os maiores acréscimos de lâminas para irrigação, cerca de 46%. Em uma bacia hidrográfica no Ceará, Gondim et al. (2012) determinaram que a demanda de água para irrigação aumentará 8-9% em meados do século XXI. Segundo os autores, os aumentos na demanda foram atribuídos a quedas de chuva projetadas (11-18%) e aumentos de evapotranspiração (6,5-8%). A demanda média de água para irrigação de todos os municípios estudados no cenário de curto, médio

e longo prazo do RCP 8.5 foi de 110 mm, 112 mm e 120 mm, respectivamente (Apêndice B).

Figura 17 – Variação percentual da demanda hídrica para irrigação, a partir do *ensemble* dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 8.5 em comparação com a demanda hídrica atual, de acordo com simulações do modelo AquaCrop-OS para os 30 municípios.



Fonte: o autor.

É importante ressaltar que as mudanças climáticas também podem impactar nas doenças de plantas. A incidência de doenças e pragas agrícolas é influenciada pela temperatura, umidade relativa do ar e molhamento diário das folhas, sendo esta última dependente da ocorrência e duração da precipitação. Esses impactos

também podem minimizar ou reverter qualquer benefício do CO₂. Além disso, as projeções climáticas não são capazes de determinar a ocorrência de eventos extremos, como tempestades, granizo e geadas, que podem danificar as lavouras, levando à perda de safras (SILVA et al., 2018b).

5.6 Época de semeadura para a soja no futuro

Avaliou-se a variação do período de semeadura da soja nos diferentes municípios como estratégia para minimizar os efeitos das mudanças climáticas sobre a produtividade da soja. Na Tabela 9 são apresentadas as datas de semeadura recomendadas para cada município nos regimes de sequeiro e irrigado.

Levando-se em consideração que atualmente a Embrapa Soja (2018) recomenda a semeadura da soja a partir do segundo decêndio do mês de outubro, aproximadamente no dia 21/10, verifica-se que, com exceção de Campo Novo do Parecis-MT, Ponta Porã-MS e Dourados-MS, para os demais municípios, a época de semeadura tardia, ou seja, após o dia 21/10, mostrou-se mais viável para atenuar os efeitos das alterações do clima sobre a produtividade da soja no regime de sequeiro. Logo, atrasar a semeadura da soja, cerca de 20-30 dias, em relação ao período atualmente recomendado, simultaneamente com outras práticas, poderá reduzir os impactos projetados pelas mudanças no clima. Esses resultados são corroborados com o trabalho de Rio (2014), que observou que a soja vem apresentando melhores produtividades em semeaduras após o primeiro decêndio do mês de novembro. Entretanto, para o Sul do Brasil, Minuzzi et al. (2017) afirmam que a soja semeada no início dezembro apresenta o mesmo desempenho agrônômico da soja semeada em outubro para os períodos de curto e médio prazo do cenário RCP 4.5.

De acordo com Rio (2014), os aumentos na produtividade da soja associados ao retardamento da semeadura nos cenários climáticos futuros devem-se, principalmente, ao fato de que nessas condições a cultura tem sua fase fenológica crítica, florescimento e enchimento de grãos, coincidindo com períodos de maior disponibilidade hídrica, já que, com o aumento das temperaturas, o ciclo da soja tende a se antecipar.

Apesar da tendência da semeadura tardia apresentada na Tabela 9, para os municípios de Campo Novo do Parecis-MT, Primavera do Leste-MT, Campos de Júlio-MT, Maracaju-MS, Sidrolândia-MS, Ponta Porã-MS e Dourados-MS, no regime

irrigado das duas RCPs, as sementeiras antecipadas também apresentaram o potencial de amenizar os impactos do clima, resultando em produtividades mais elevadas. Desta forma, a mudança na data de sementeira, atrasar ou antecipar a data de plantio, torna-se uma importante estratégia para que os agricultores possam obter produtividades satisfatórias diante do cenário de mudanças climáticas.

Encontram-se no Apêndice C as melhores datas de sementeira no regime sequeiro para cada município, bem como a produtividade estimada na data. No Apêndice D, encontram-se as melhores datas de sementeira no regime irrigado para cada município, bem como a produtividade e a lâmina de irrigação estimada.

Tabela 8 – Data de sementeira de soja recomendada a curto (2020-2039), médio (2040-2069) e longo (2070-2099) prazo, sob emissão intermediária (RCP 4.5) e alta (RCP 8.5), em regime de sequeiro e irrigado para os 30 municípios.

Município	Regime	RCP 4.5			RCP 8.5		
		Curto prazo	Médio prazo	Longo prazo	Curto prazo	Médio prazo	Longo prazo
Barreiras - BA	Sequeiro	11/11	21/11	11/11	11/11	11/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
Brasnorte - MT	Sequeiro	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	21/11	01/09	01/09
Campo Novo do Parecis - MT	Sequeiro	11/10	11/10	01/11	11/10	01/11	11/11
	Irrigado	01/09	01/09	01/09	01/09	01/09	01/09
Campo Verde - MT	Sequeiro	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	01/11	21/11	21/11
Campos de Júlio - MT	Sequeiro	01/11	11/11	11/11	01/11	11/11	21/11
	Irrigado	01/09	01/09	01/09	01/09	01/09	01/09
Canarana - MT	Sequeiro	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
Cristalina - GO	Sequeiro	11/11	11/11	11/11	11/11	21/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
Diamantino - MT	Sequeiro	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	11/10
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	21/11	01/09	01/09
Dourados - MS	Sequeiro	11/10	11/10	11/10	21/11	21/10	11/10
	Irrigado	01/09	01/09	01/09	01/09	01/09	01/09
Formosa do Rio Preto - BA	Sequeiro	01/11	01/11	11/11	11/11	11/11	21/11
	Irrigado	11/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
Ipiranga do Norte - MT	Sequeiro	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	21/11	01/09	01/09
Jataí - GO	Sequeiro	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
Lucas do Rio Verde - MT	Sequeiro	21/11	11/11	21/11	11/11	21/11	21/11
	Irrigado	11/11	21/11	21/11	11/11	21/11	21/11
Luís Eduardo Magalhães - BA	Sequeiro	11/11	11/11	21/11	11/11	21/11	21/11

	Irrigado	11/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
Maracaju - MS	Sequeiro	11/11	21/11	01/11	21/11	01/11	21/11
	Irrigado	01/09	01/09	01/09	01/09	01/09	01/09
Nova Maringá - MT	Sequeiro	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	01/09
Nova Mutum - MT	Sequeiro	21/11	21/11	21/11	11/11	21/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	11/11	21/11	01/09
Nova Ubitatã - MT	Sequeiro	21/11	11/11	21/11	11/11	21/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
Paranatinga - MT	Sequeiro	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
Ponta Porã - MS	Sequeiro	11/10	01/10	21/10	11/10	11/10	21/10
	Irrigado	01/09	01/09	01/09	01/09	01/09	01/09
Porto dos Gaúchos - MT	Sequeiro	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	01/11
Primavera do Leste - MT	Sequeiro	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
	Irrigado	11/09	01/09	01/09	01/09	01/09	01/09
Querência - MT	Sequeiro	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
Rio Verde - GO	Sequeiro	21/11	11/11	21/11	11/11	21/11	21/11
	Irrigado	11/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
São Desidério - BA	Sequeiro	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	11/11	21/11	21/11
São Félix do Araguaia - MT	Sequeiro	11/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
Sapezal - MT	Sequeiro	21/11	21/11	21/11	11/11	21/11	21/11
	Irrigado	01/11	21/11	21/11	11/11	21/11	01/09
Sidrolândia - MS	Sequeiro	21/11	21/11	11/11	21/11	21/11	21/11
	Irrigado	01/09	01/09	01/09	01/09	01/09	01/09
Sorriso - MT	Sequeiro	21/11	21/11	21/11	11/11	21/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	11/11	21/11	21/11
Tapurah - MT	Sequeiro	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11
	Irrigado	21/11	21/11	21/11	21/11	21/11	01/09

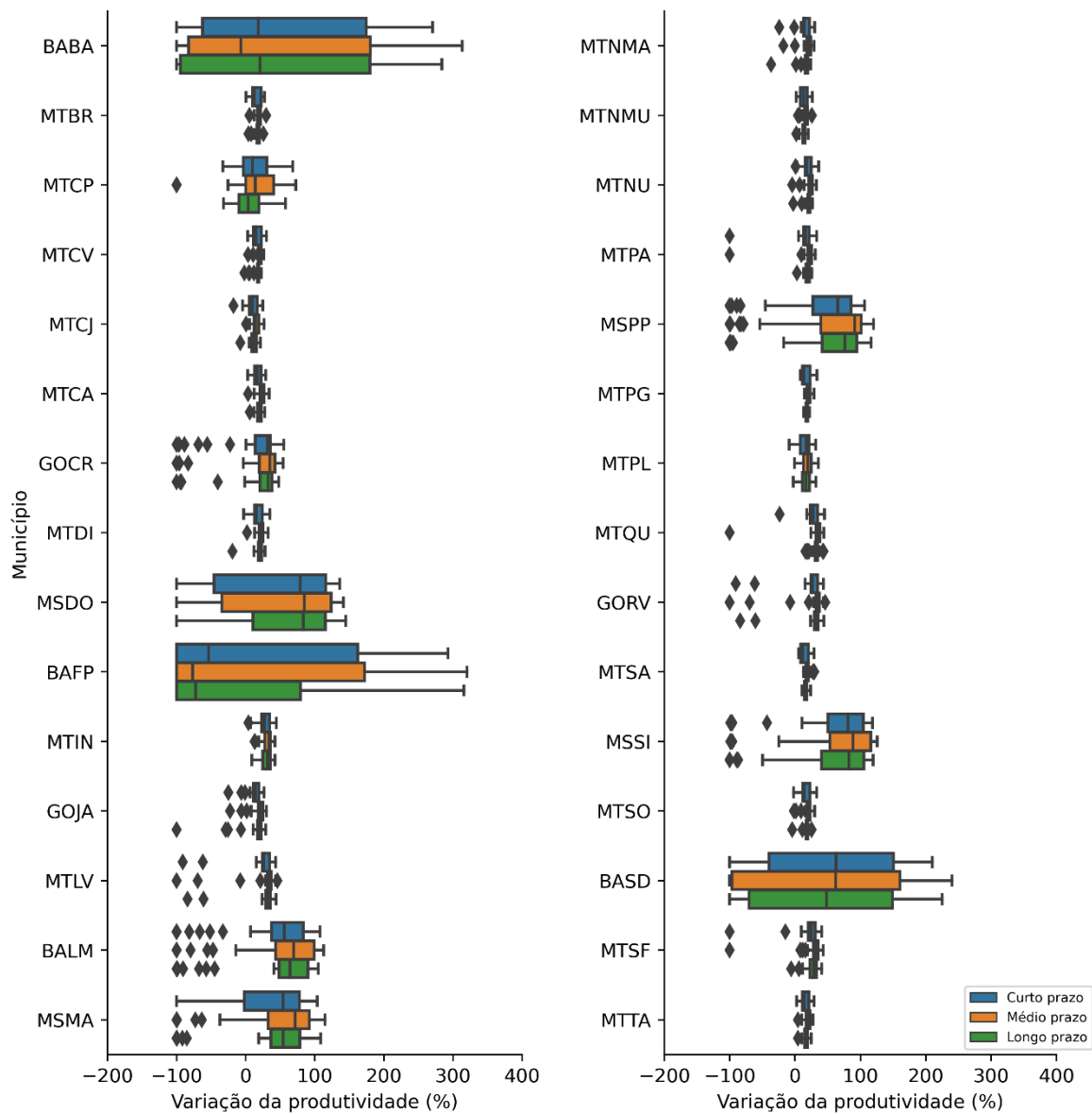
Fonte: o autor.

Na Figura 18 são apresentadas as variações das produtividades da soja em regime de sequeiro, para todos os municípios, geradas pelo *ensemble* dos MCGs no RCP 4.5, para os períodos de curto (2020-2039), médio (2040-2069) e longo (2070-2099), em comparação com a produtividade atual (1980-2015) da soja em sequeiro semeada na data de 21/10.

Observa-se, na Figura 18, que mudança na época de semeadura pode projetar aumentos médios na produtividade, em relação à produtividade atual, de 24%, 29% e 25% nos cenários de curto, médio e longo prazo, respectivamente, do RCP 4.5. Assim, modificando a data de semeadura, pode-se aumentar a produtividade da soja

em 26% até o fim do século XXI no regime de sequeiro. Esses resultados são próximos aos valores encontrados por Rio et al. (2016), que avaliaram os impactos do aumento da temperatura na produtividade da soja no sul do Brasil. Contudo, apesar dos aumentos, a produtividade da soja variou entre -100 e 293% no período de curto prazo, -100 e 321% no período de médio prazo, e -100 e 316% no período de longo prazo.

Figura 18 – Variação da produtividade da soja na data de semeadura recomendada no regime de sequeiro, a partir do *ensemble* dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 4.5, em comparação com a produtividade atual semeada na data de 21/10 para os 30 municípios.



Fonte: o autor.

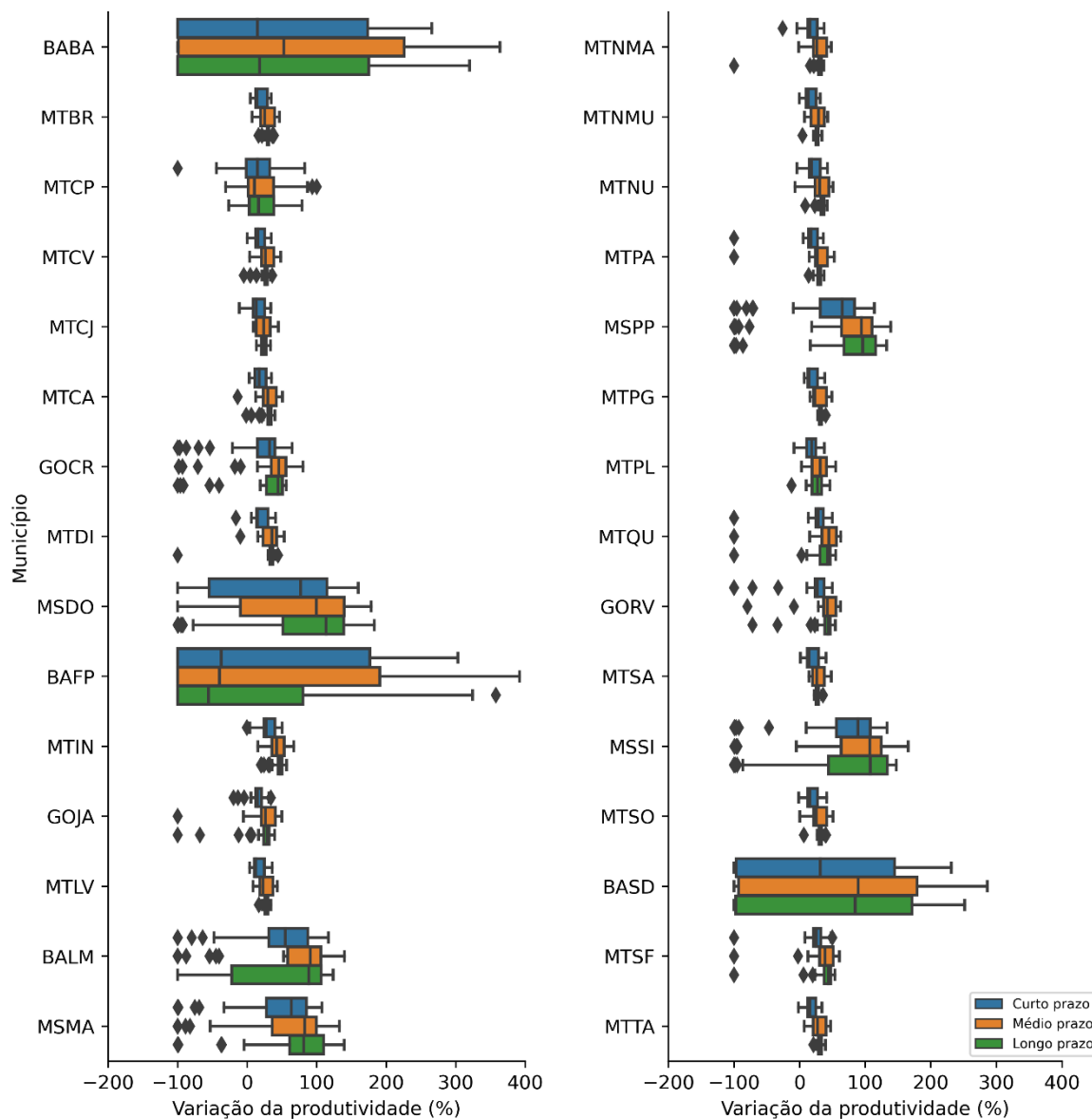
Na Figura 19 são apresentadas as variações das produtividades da soja em regime de sequeiro, para todos os municípios, geradas pelo ensemble dos MCGs no RCP 8.5, para os períodos de curto, médio e longo prazo, em comparação com a produtividade atual da soja em sequeiro semeada na data de 21/10.

Observa-se, na Figura 19, que mudança na época de semeadura no RCP 8.5 pode projetar aumentos médios na produtividade, em relação à produtividade atual de 25%, 40% e 37% nos períodos de curto, médio e longo prazo, respectivamente. Logo, modificar a data de semeadura pode-se aumentar, em média, a produtividade da soja em 34% até o fim do século XXI. No entanto, ainda que haja acréscimos, a produtividade da soja variou entre -100 e 303%, -100 e 392% e -100 e 358% para os períodos de curto, médio e longo prazo, respectivamente.

Os municípios do estado do Mato Grosso do Sul exibiram os maiores incrementos na produtividade da soja com a mudança da data de plantio, cerca de 46%, 67% e 71% para os períodos de curto, médio e longo prazo, respectivamente. Os estados de Mato Grosso e Goiás apresentaram aumentos na produtividade semelhantes, cerca de 19%, 32% e 29% para os períodos de curto, médio e longo prazo, respectivamente.

O município de Campo Verde-GO exibiu a maior produtividade para a soja no futuro da melhor data de semeadura, com cerca de 5,93 ton.ha⁻¹ no período de médio prazo do RCP 8.5. As menores produtividades foram encontradas no município de Formosa do Rio Preto-BA, com cerca de 1,57 ton.ha⁻¹, 1,64 ton.ha⁻¹ e 1,82 ton.ha⁻¹ para os períodos de longo, curto e médio prazo, respectivamente (Apêndice C).

Figura 19 – Variação da produtividade da soja na data de semeadura recomendada no regime de sequeiro, a partir do *ensemble* dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 8.5, em comparação com a produtividade atual semeada na data de 21/10 para os 30 municípios.



Fonte: o autor.

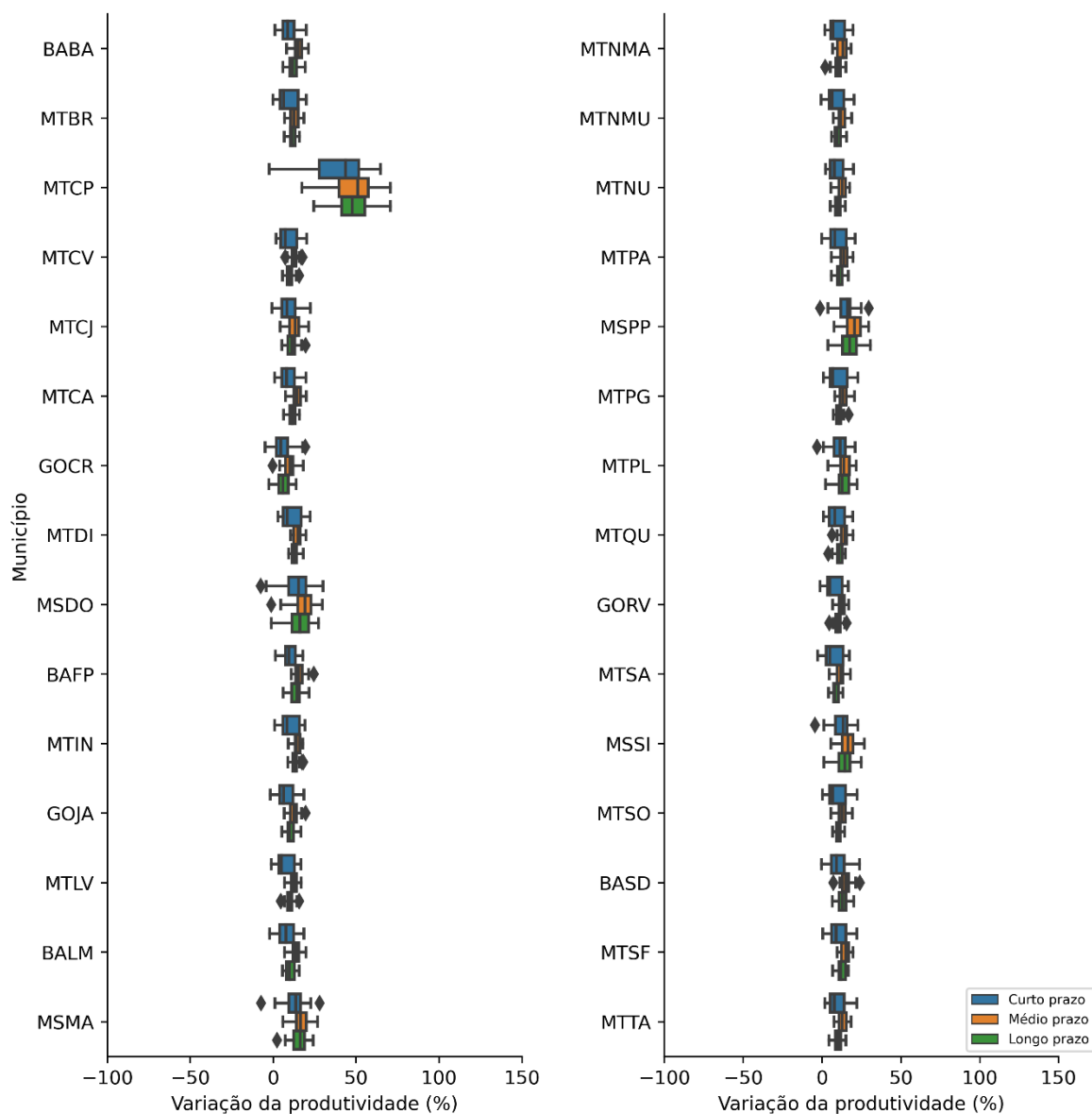
As variações percentuais das produtividades da soja em regime irrigado, para todos os municípios, geradas pelo *ensemble* dos MCGs no RCP 4.5, para os períodos de curto, médio e longo prazo, são exibidas na Figura 20 em comparação com a produtividade atual da soja irrigada semeada na data de 21/10.

Segundo as projeções, no RCP 4.5, a alteração na data de semeadura associada ao fornecimento de água por meio da irrigação proporciona acréscimos médios na produtividade de 11% no período de curto prazo, 15% no período de

médio prazo, e 13% no período de longo prazo. A produtividade da soja variou entre -8 e 65% no período de curto prazo, -1 e 71% no período de médio prazo, e -3 e 71% no período de longo prazo (Figura 20). Desse modo, com a adoção dessas estratégias pode-se aumentar a produtividade da soja em 13% até o fim do século XXI.

O município de Cristalina-GO exibiu as maiores produtividades para a soja na melhor data de semeadura para os períodos de curto, médio e longo prazo do RCP 4.5, com cerca de 6,01 ton.ha⁻¹, 6,26 ton.ha⁻¹ e 6,04 ton.ha⁻¹, respectivamente. Já as menores produtividades foram encontradas no município de Campo Novo do Parecis-MT, com cerca de 3,97 ton.ha⁻¹, 4,19 ton.ha⁻¹ e 4,18 ton.ha⁻¹, nos períodos de curto, médio e longo prazo, respectivamente (Apêndice D).

Figura 20 – Variação da produtividade da soja na data de semeadura recomendada no regime irrigado, a partir do *ensemble* dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 4.5, em comparação com a produtividade atual semeada na data de 21/10 para os 30 municípios.



Fonte: o autor.

As variações percentuais das produtividades da soja em regime irrigado, para todos os municípios, geradas pelo *ensemble* dos MCGs no RCP 8.5, para os períodos de curto, médio e longo prazo, são exibidas na Figura 21 em comparação com a produtividade atual da soja irrigada semeada na data de 21/10.

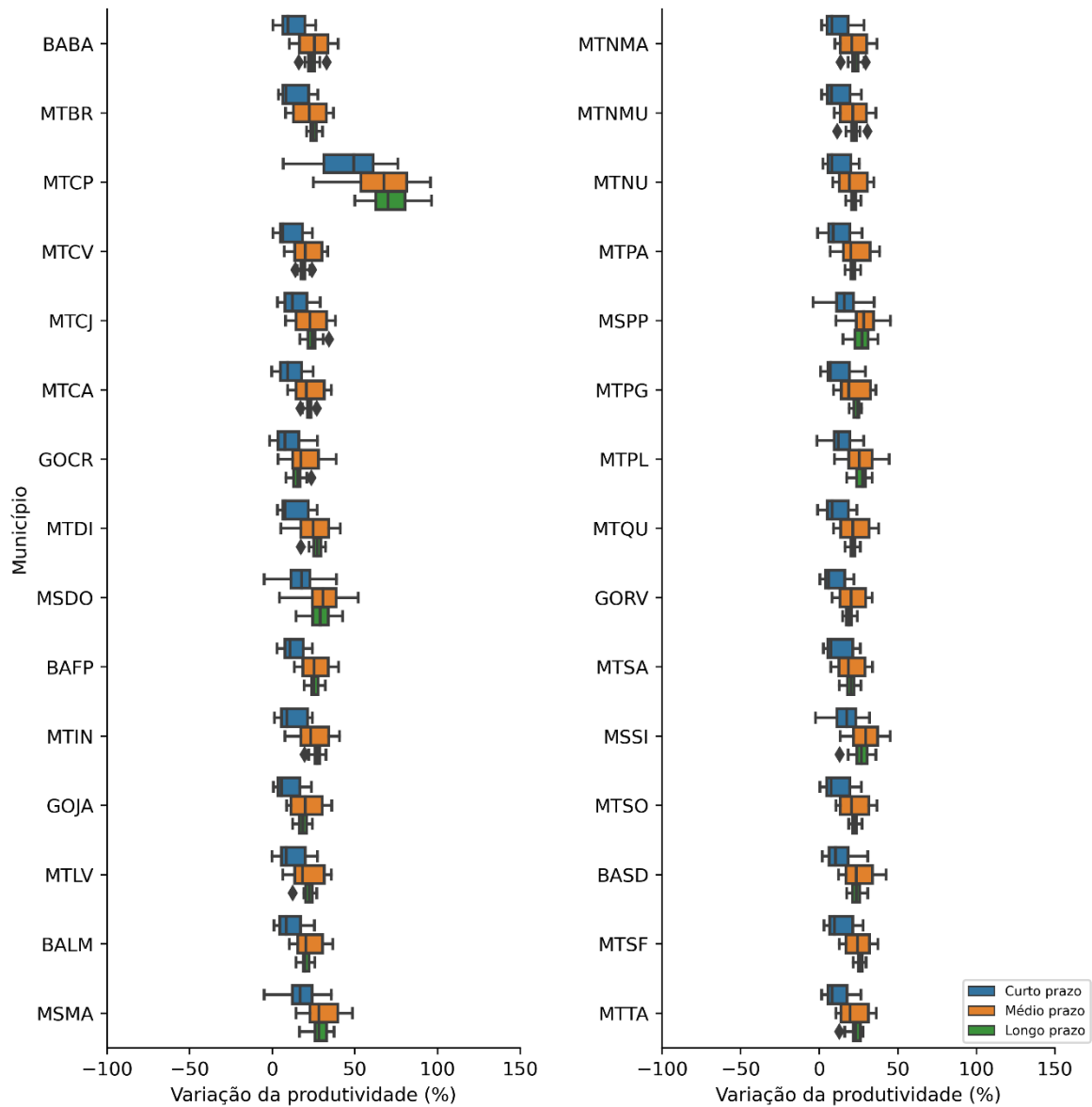
Observa-se, na Figura 21, que mudança na época de semeadura e o uso da irrigação suplementar pode projetar aumentos médios na produtividade, em relação à produtividade atual, de 13%, 25% e 25% nos cenários de curto, médio e longo

prazo, respectivamente, do RCP 8.5. Assim, com a adoção dessas estratégias pode-se aumentar a produtividade da soja em 21% até o fim do ano de 2099.

As maiores demandas de lâminas de irrigação foram encontradas nos municípios em que a melhor data de semeadura foi o dia 01/09 do período de longo prazo (Apêndice D). Esse fato pode estar relacionado aos baixos volumes de precipitação no período crítico de crescimento da soja.

O município de Cristalina-GO apresentou as maiores produtividades para a soja nos períodos de curto, médio e longo prazo do RCP 8.5, com cerca de 6,27 ton.ha⁻¹, 6,84 ton.ha⁻¹ e 6,59 ton.ha⁻¹, respectivamente. As menores produtividades foram encontradas no período de curto prazo dos municípios de município de Campo Novo do Parecis-MT, com cerca de 4,16 ton.ha⁻¹, Ipiranga do Norte-MT, com cerca de 4,64 ton.ha⁻¹, e Diamantino-MT, com cerca de 4,69 ton.ha⁻¹ (Apêndice D).

Figura 21 – Variação da produtividade da soja na data de semeadura recomendada no regime irrigado, a partir do *ensemble* dos MCGs, a curto, médio e longo prazo do RCP 8.5, em comparação com a produtividade atual semeada na data de 21/10 para os 30 municípios.



Fonte: o autor.

6. CONCLUSÕES

1. O modelo AquaCrop-OS simulou de maneira eficiente a produtividade da soja para os municípios avaliados no clima atual, em diferentes tipos de solo e de clima. Houve uma maior concordância dos dados observados com os dados simulados em regime irrigado do que com dados em regime de sequeiro;
2. O estudo permitiu concluir, excluindo-se outros fatores, que as mudanças climáticas afetarão positivamente a produtividade da cultura da soja nos municípios avaliados, principalmente no plantio em regime irrigado do RCP 8.5, que projetou os maiores valores de produtividade até o fim do século XXI. Os aumentos na produtividade deverão se dar, principalmente, pela elevação da concentração de CO₂ e pelo menor déficit hídrico nos cenários futuros;
3. O uso do modelo AquaCrop-OS possibilitou definir épocas preferenciais de semeadura para a cultura da soja em diferentes regiões produtoras do Brasil com base na maior produtividade estimada, na qual a época de semeadura tardia mostrou-se mais viável para atenuar os efeitos das alterações do clima, comparando-se com a data de semeadura padrão adotada nesse estudo;
4. Ao modificar a data de semeadura da soja em relação à época atualmente recomendada, observou-se aumentos nas produtividades médias, o que permite considerar tal estratégia de manejo como uma importante ação para potencializar o acréscimo na produtividade da cultura nos principais municípios produtores de soja do Brasil.
5. De acordo com as projeções dos modelos climáticos, a alteração no clima reduzirá a demanda de água para a irrigação da soja nos municípios dos estados da Bahia, Goiás e Mato Grosso do Sul até o fim do século XXI nos dois cenários estudados. Entretanto, para os municípios do Mato Grosso, espera-se um aumento na demanda hídrica para irrigação.

REFERÊNCIAS

- ABEDINPOUR, M. et al. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. **Agricultural Water Management**, v. 110, p. 55–66, 2012.
- ABRAMOWITZ, G. et al. ESD Reviews: Model dependence in multi-model climate ensembles: weighting, sub-selection and out-of-sample testing. **Earth System Dynamics**, v. 10, n. 1, p. 91–105, 2019.
- AFLAHAH, E. et al. Inter-comparison of multiple Global Climate Model (GCM) data based on spatial pattern of rainfall over Indonesia. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 284, n. 1, 2019.
- AHMED, K. et al. Selection of multi-model ensemble of general circulation models for the simulation of precipitation and maximum and minimum temperature based on spatial assessment metrics. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 23, n. 11, p. 4803–4824, 2019.
- AKURUT, M.; WILLEMS, P.; NIWAGABA, C. B. Potential impacts of climate change on precipitation over lake Victoria, East Africa, in the 21st century. **Water (Switzerland)**, v. 6, n. 9, p. 2634–2659, 2014.
- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper 56**, p. 300, 1998.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ARAYA, A. et al. Assessment of maize growth and yield using crop models under present and future climate in southwestern Ethiopia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214–215, p. 252–265, 2015.
- ASSENG, S. et al. Uncertainty in simulating wheat yields under climate change. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 9, p. 827–832, 2013.
- BARRETO, N. DE J. DA C. **Análise da Variabilidade da Precipitação sobre o Brasil Tropical via um Índice Intrassazonal Multivariado**. [s.l.] 114 f. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.
- BASSU, S. et al. How do various maize crop models vary in their responses to climate change factors? **Global Change Biology**, v. 20, n. 7, p. 2301–2320, 2014.
- BATTISTI, R. **Calibration, uncertainties and use of soybean crop simulation models for evaluating strategies to mitigate the effects of climate change in Southern Brazil Rafael**. [s.l.] 188 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola

Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

BATTISTI, R. et al. Rules for grown soybean-maize cropping system in Midwestern Brazil: Food production and economic profits. **Agricultural Systems**, v. 182, p. 102850, 2020.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C. New agroclimatic approach for soybean sowing dates recommendation: A case study. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 11, p. 1149–1156, 2014.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; BOOTE, K. J. Inter-comparison of performance of soybean crop simulation models and their ensemble in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 200, p. 28–37, 2017.

BENDER, F. D. **Mudanças climáticas e seus impactos na produtividade da cultura de milho e estratégias de manejo para minimização de perdas em diferentes regiões brasileiras.** [s.l.] 182 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

BIRD, D. N. et al. Modelling climate change impacts on and adaptation strategies for agriculture in Sardinia and Tunisia using AquaCrop and value-at-risk. **Science of The Total Environment**, v. 543, p. 1019–1027, 2016.

BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas.** 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005.

BRITO, A. L. et al. Avaliação do Desempenho dos Modelos HadGEM2-ES e Eta a partir de Indicadores de Extremos Climáticos de Precipitação para a Bacia Amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 2, p. 165–177, 2019.

BUCHIR, L. M. S. T. **Análise da influência de mudanças climáticas nas precipitações.** [s.l.] 219 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, 2013.

CANTELAUBE, P.; TERRES, J.-M. Seasonal weather forecasts for crop yield modelling in Europe. **Tellus A**, v. 57, n. 3, p. 476–487, 2005.

CASTILLO, A. C. **Efeito das mudanças climáticas sobre a demanda de água para irrigação e o rendimento de grãos da cultura da soja na bacia do rio Potiribu, Rio Grande do Sul.** [s.l.] 79 f. Dissertação (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

CERA, J. C. et al. Soybean yield in future climate scenarios for the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 6, p. 380–392,

2017.

CHALLINOR, A. J. et al. Increased crop failure due to climate change: assessing adaptation options using models and socio-economic data for wheat in China. **Environmental Research Letters**, v. 5, n. 3, p. 034012, 2010.

CHEN, L.; PRYOR, S. C.; LI, D. Assessing the performance of intergovernmental panel on climate change AR5 climate models in simulating and projecting wind speeds over China. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 117, n. 24, p. 1–15, 2012.

COLLIER, M. A. et al. The CSIRO-Mk3.6.0 Atmosphere-Ocean GCM: Participation in CMIP5 and data publication. **MODSIM 2011 - 19th International Congress on Modelling and Simulation - Sustaining Our Future: Understanding and Living with Uncertainty**, p. 2691–2697, 2011.

COLLINS, W. J. et al. Development and evaluation of an Earth-System model – HadGEM2. **Geoscientific Model Development**, v. 4, n. 4, p. 1051–1075, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira grãos, v.7 Safra 2019/20 - Quarto levantamento. v. 7, n. 4, p. 104, 2020.

COMUNELLO, E. **Aprimoramento do zoneamento agrícola de risco climático do sistema de produção da soja em Mato Grosso do Sul**. [s.l.] 112 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

CONCEIÇÃO, M. DA et al. Estudo comparativo de métodos de determinação do teor de matéria orgânica em organossolos. **Embrapa Solos**, n. 2, p. 5, 1999.

CORRÊA, C. S. et al. Climate Forecasts at the Centro de Lançamento de Alcântara using the Climate Model RegCM4. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 9, n. 1, p. 18–28, 2017.

DOBLAS-REYES, F. J.; PAVAN, V.; STEPHENSON, D. B. The skill of multi-model seasonal forecasts of the wintertime North Atlantic Oscillation. **Climate Dynamics**, v. 21, n. 5–6, p. 501–514, 2003.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. In: **FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33**. Rome, Italy: FAO, 1979. p. 201.

DUBEY, S. K.; SHARMA, D. Assessment of climate change impact on yield of major crops in the Banas River Basin, India. **Science of The Total Environment**, v. 635, p. 10–19, 2018.

EMBRAPA SOJA. **Cultivares de soja BRS: Centro-Sul do Brasil: macrorregiões 1, 2, 3 e REC 401**. Londrina, PR: [s.n.].

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

FANT, C. et al. Climate change impacts on us water quality using two models: HAWQS and US basins. **Water (Switzerland)**, v. 9, n. 2, 2017.

FARAHANI, H. J.; IZZI, G.; OWEIS, T. Y. Parameterization and Evaluation of the AquaCrop Model for Full and Deficit Irrigated Cotton. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 3, p. 469, 2009.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. Londrina, PR: EMBRAPA Soja (Circular técnica, 48), 2007.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Soja. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Ed.). **Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. 1. ed. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 261–277.

FLUMIGNAN, D. L.; ALMEIDA, A. C. DOS S.; GARCIA, R. A. **Necessidade de irrigação complementar da soja na Região Sul de Mato Grosso do Sul**. - Portal Embrapa. Dourados-MS: [s.n.].

FOLEY, A. M. Uncertainty in regional climate modelling: A review. **Progress in Physical Geography**, v. 34, n. 5, p. 647–670, 2010.

FOSTER, T. et al. AquaCrop-OS: An open source version of FAO's crop water productivity model. **Agricultural Water Management**, v. 181, p. 18–22, 2017.

FRANKE, A. E.; DORFMAN, R. Necessidades de irrigação suplementar em soja nas condições edafoclimáticas do Planalto Médio e Missões, RS. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 35, n. 8, p. 1675–1683, 2000.

GAVA, R. **Os efeitos do estresse hídrico na cultura da soja (Glycine Max, (L.) Merrill.)**. [s.l.] 123 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

GONDIM, R. S. et al. Climate Change Impacts on Irrigation Water Needs in the jaguaribe River Basin. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 48, n. 2, p. 355–365, 2012.

GRAHAM, L. P.; ANDRÉASSON, J.; CARLSSON, B. Assessing climate change impacts on hydrology from an ensemble of regional climate models, model scales and linking methods – a case study on the Lule River basin. **Climatic Change**, v. 81, n. S1, p. 293–307, 2007.

GRIMIT, E. P. et al. The continuous ranked probability score for circular variables and its application to mesoscale forecast ensemble verification. **Quarterly Journal of**

the Royal Meteorological Society, v. 132, n. 621C, p. 2925–2942, 2006.

GUIMARÃES, S. O. et al. Projeções de Mudanças Climáticas sobre o Nordeste Brasileiro dos Modelos do CMIP5 e do CORDEX. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 3, p. 337–365, 2016.

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

HAGEDORN, R.; DOBLAS-REYES, F. J.; PALMER, T. N. The rationale behind the success of multi-model ensembles in seasonal forecasting - I. Basic concept. **Tellus A**, v. 57, n. 3, p. 219–233, 2005.

HAWKINS, E.; SUTTON, R. The Potential to Narrow Uncertainty in Regional Climate Predictions. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 90, n. 8, p. 1095–1108, 2009.

HENGL, T. et al. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. **PLOS ONE**, v. 12, n. 2, p. e0169748, 2017.

HSIAO, T. C. et al. AquaCrop - The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: III. Parameterization and Testing for Maize. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 3, p. 448, 2009.

IBGE. **Levantamento Sistemático da produção Agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014.

IPCC. **Technical Summary. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [s.l.: s.n.].

JONES, J. . et al. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v. 18, n. 3–4, p. 235–265, 2003.

JUSTINO, L. F. et al. Assessment of economic returns by using a central pivot system to irrigate common beans during the rainfed season in Central Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 224, p. 105749, 2019.

KALNAY, E. et al. Ensemble forecasting and data assimilation: two problems with the same solution? In: AND, T. N. P.; HAGEDORN, R. (Eds.). . **Predictability of Weather and Climate**. New York: Cambridge University Press, 2006.

KAMWORAPAN, S.; SURUSSAVADEE, C. Evaluation of CMIP5 Global Climate Models for Simulating Climatological Temperature and Precipitation for Southeast Asia. **Advances in Meteorology**, v. 2019, p. 1–18, 2019.

- KESSLER, A.; TJIPUTRA, J. The Southern Ocean as a constraint to reduce uncertainty in future ocean carbon sinks. **Earth System Dynamics**, v. 7, n. 2, p. 295–312, 2016.
- KHAN, N. et al. Performance assessment of general circulation model in simulating daily precipitation and temperature using multiple gridded datasets. **Water (Switzerland)**, v. 10, n. 12, 2018.
- KNUTTI, R. et al. Challenges in Combining Projections from Multiple Climate Models. **Journal of Climate**, v. 23, n. 10, p. 2739–2758, 2010.
- KUCHARIK, C. J.; SERBIN, S. P. Impacts of recent climate change on Wisconsin corn and soybean yield trends. **Environmental Research Letters**, v. 3, n. 3, p. 034003, 31 jul. 2008.
- KUMAR, P. et al. Evaluation of AquaCrop model in predicting wheat yield and water productivity under irrigated saline regimes. **Irrigation and Drainage**, v. 63, n. 4, p. 474–487, 2014.
- LANDERER, F. W.; GLECKLER, P. J.; LEE, T. Evaluation of CMIP5 dynamic sea surface height multi-model simulations against satellite observations. **Climate Dynamics**, v. 43, n. 5–6, p. 1271–1283, 2014.
- LI, T. et al. Uncertainties in predicting rice yield by current crop models under a wide range of climatic conditions. **Global Change Biology**, v. 21, n. 3, p. 1328–1341, 2015.
- LOBELL, D. B.; CASSMAN, K. G.; FIELD, C. B. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 34, n. 1, p. 179–204, 2009.
- MACHADO, P. L. O.; BERNARDI, A. C. C.; SANTOS, F. S. Métodos de Preparo de Amostras e de Determinação de Carbono em Solos Tropicais. **Embrapa Solos**, p. 9, 2003.
- MARENGO, J. Á. et al. **Riscos das mudanças climáticas no Brasil**. Brasília: INPE, 2011.
- MARIN, F. R. et al. Sugarcane model intercomparison: Structural differences and uncertainties under current and potential future climates. **Environmental Modelling & Software**, v. 72, p. 372–386, 2015.
- 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.
- MASSON, D.; KNUTTI, R. Climate model genealogy. **Geophysical Research**

Letters, v. 38, n. 8, 2011.

MIAO, C. et al. Assessment of CMIP5 climate models and projected temperature changes over Northern Eurasia. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 5, 2014.

MINUZZI, R. B. et al. Estimation of soybean agronomic performance in climatic scenarios for Southern Brazil. **Revista Ceres**, v. 64, n. 6, p. 567–573, 2017.

MINUZZI, R. B.; FREDERICO, C. DO A.; SILVA, T. G. F. DA. Estimation of soybean agronomic performance in climatic scenarios for Southern Brazil. **Revista Ceres**, v. 64, n. 6, p. 567–573, 2017.

MKHABELA, M. S.; BULLOCK, P. R. Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. **Agricultural Water Management**, v. 110, p. 16–24, 2012.

MULLEN, S. L.; BAUMHEFNER, D. P. Monte Carlo Simulations of Explosive Cyclogenesis. **Monthly Weather Review**, v. 122, n. 7, p. 1548–1567, 1994.

NEJADHASHEMI, A. P.; WARDYNSKI, B. J.; MUNOZ, J. D. Large-Scale Hydrologic Modeling of the Michigan and Wisconsin Agricultural Regions to Study Impacts of Land Use Changes. **Transactions of the ASABE**, v. 55, n. 3, p. 821–838, 2012.

NEUHAUS, F. **Influência das mudanças climáticas no regime pluviométrico em Erechim/RS no século XXI**. [s.l.] 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, RS, 2017.

OLIVEIRA, G. G. DE; PEDROLLO, O. C.; CASTRO, N. M. DOS R. As incertezas associadas às condições climáticas obtidas pelo modelo ETA CPTEC/HADCM3: avaliação comparativa entre os dados simulados e observados de precipitação, evapotranspiração e vazão na bacia hidrográfica do Rio Ijuí, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 1, p. 101–121, 2015.

OUYANG, F. et al. Impacts of climate change under CMIP5 RCP scenarios on streamflow in the Huangnizhuang catchment. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 29, n. 7, p. 1781–1795, 2015.

PALMER, T. N. et al. The rationale behind the success of multi-model ensembles in seasonal forecasting — I. Basic concept. **Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography**, v. 57, n. 3, p. 219–233, 2005.

PINHEIRO, J. U. et al. Avaliação de modelos do CMIP5 que melhor expressam a atuação dos vórtices ciclônicos em altos níveis (VCANS) no nordeste brasileiro (NEB). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 07, n. 05, p. 891–904, 2014.

PIRES, G. F. et al. Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. **Agricultural and Forest**

Meteorology, v. 228–229, p. 286–298, 2016.

PIRTTIOJA, N. et al. Temperature and precipitation effects on wheat yield across a European transect: a crop model ensemble analysis using impact response surfaces.

Climate Research, v. 65, p. 87–105, 2015.

RAES, D. et al. AquaCrop The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 3, p. 438, 2009.

RAES, D. et al. FAO crop-water productivity model to simulate yield response to water. In: **Reference Manual, Chapter 1 – AquaCrop, Version 6.0**. Rome, Italy: FAO, 2018. p. 23.

RIO, A. DO et al. Alternative sowing dates as a mitigation measure to reduce climate change impacts on soybean yields in southern Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 11, p. 3664–3672, 2016.

ROSENZWEIG, C. et al. The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP): Protocols and pilot studies. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 170, p. 166–182, 2013.

ROSENZWEIG, C. et al. Appendix 1. Guide for Regional Integrated Assessments: Handbook of Methods and Procedures, Version 5.1. In: ROSENZWEIG, C.; HILLEL, D. (Ed.). . **Handbook of Climate Change and Agroecosystems: The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP) Integrated Crop and Economic Assessments, Part 1**. 3. ed. [s.l.] ICP Series on Climate Change Impacts, Imperial College Press, 2015. p. 331–386.

ROTSTAYN, L. D. et al. Improved simulation of Australian climate and ENSO-related rainfall variability in a global climate model with an interactive aerosol treatment. **International Journal of Climatology**, v. 30, n. 7, p. 1067–1088, 2010.

SAAD, A. M.; MOHAMED, M. G.; EL-SANAT, G. A. Evaluating AquaCrop model to improve crop water productivity at North Delta soils, Egypt. **Pelagia Research Library Advances in Applied Science Research**, v. 5, n. 5, p. 293–304, 2014.

SALES, D. C. et al. Projeções de mudanças na precipitação e temperatura no nordeste brasileiro utilizando a técnica de downscaling dinâmico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 435–456, 2015.

SAMPAIO, G.; DIAS, P. L. DA S. Evolução dos Modelos Climáticos e de Previsão de Tempo e Clima. **Revista USP**, n. 103, p. 41, 2014.

SANTOS, D. L.; SENTELHAS, P. C. Climate change scenarios and their impact on the water balance of sugarcane production areas in the State of São Paulo, Brazil.

Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 7, n. 2, p. 7–17, 2012.

SANTOS, T. G. et al. Assessment of agricultural efficiency and yield gap for soybean in the Brazilian central cerrado biome. **Bragantia**, v. 80, 2021.

SANTOS, T. G. **Estimativa do Yield Gap para a cultura da soja e nível de fazenda no estado de Goiás**. [s.l.] 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

SCHALDACH, R. et al. Current and future irrigation water requirements in pan-Europe: An integrated analysis of socio-economic and climate scenarios. **Global and Planetary Change**, v. 94–95, p. 33–45, 2012.

SCHMIDT, G. A. et al. Configuration and assessment of the GISS ModelE2 contributions to the CMIP5 archive. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 6, n. 1, p. 141–184, 2014.

SENTELHAS, P. C. et al. Yield gap: conceitos, definições e exemplos. **Informações Agronômicas - IPNI**, n. 155, 2016.

SHRESTHA, S.; BAJRACHARYA, A. R.; BABEL, M. S. Assessment of risks due to climate change for the Upper Tamakoshi Hydropower Project in Nepal. **Climate Risk Management**, v. 14, p. 27–41, 2016.

SILVA, E. H. F. M. DA et al. Simulação de produtividade futura de soja em Piracicaba-SP com base em projeções de mudanças climáticas. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 9–17, 2018a.

SILVA, K. K. DA et al. Future irrigation water requirements in the Ijuí River basin, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 57–62, 2018b.

SILVA, V. DE P. R. DA et al. Calibration and validation of the AquaCrop model for the soybean crop grown under different levels of irrigation in the Motopiba region, Brazil. **Ciência Rural**, v. 48, n. 1, p. 1–8, 2017.

SILVA, V. DE P. R. DA et al. Soybean yield in the Matopiba region under climate changes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 8–14, 2020a.

SILVA, L. P. et al. Estimativa da produtividade de soja usando irrigação na época das chuvas no bioma Cerrado. **Agrometeoros**, v. 28, 2020b.

SILVA, R. A. **Impacto das mudanças climáticas sobre a produtividade e pegada hídrica da soja cultivada na região do Matopiba**. [s.l.] 113 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e

Recursos Naturais, Campina Grande, 2018.

SILVEIRA, C. DA S. et al. Avaliação de desempenho dos modelos do CMIP5 quanto à representação dos padrões de variação da precipitação no século XX sobre a região Nordeste do Brasil, Amazônia e bacia do Prata e análise das projeções para o cenário RCP8.5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 317–330, 2013.

SILVEIRA, C. DA S. et al. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 416–428, 2016.

SIMBA, F. M. et al. Prediction of yield and biomass productions: A remedy to climate change in semi-arid regions of Zimbabwe. **International of Advance Agricultural Research**, v. 1, p. 14–21, 2013.

SIVILLO, J. K.; AHLQUIST, J. E.; TOTH, Z. An ensemble forecasting primer. **Weather and Forecasting**, v. 12, n. 4, p. 809–818, 1997.

SOUSA, D. M. G. DE; LOBATO, E. **Latosolos**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html>. Acesso em: 5 dez. 2021.

SOUZA, P. J. DE O. P. DE et al. 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.

SPERNA WEILAND, F. C. et al. The ability of a GCM-forced hydrological model to reproduce global discharge variability. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 14, n. 8, p. 1595–1621, 2010.

STEDUTO, P. et al. AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 3, p. 426, 2009.

STRECK, N. A. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 730–740, 2005.

SU, F. et al. Evaluation of the global climate models in the CMIP5 over the Tibetan Plateau. **Journal of Climate**, v. 26, n. 10, p. 3187–3208, 2013.

TAYLOR, K. E. et al. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 4, p. 485–498, 2012.

TEBALDI, C.; KNUTTI, R. The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 365, n. 1857, p. 2053–

2075, 2007.

TEIXEIRA, W. W. R. et al. Uncertainty assessment of soya bean yield gaps using DSSAT-CSM-CROPGRO-Soybean calibrated by cultivar maturity groups. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 205, n. 5, p. 533–544, 2019.

THOMSON, M. C. et al. Malaria early warnings based on seasonal climate forecasts from multi-model ensembles. **Nature**, v. 439, n. 7076, p. 576–579, 2006.

TODOROVIC, M. et al. Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST Models in the Simulation of Sunflower Growth under Different Water Regimes. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 3, p. 509, 2009.

TRAVASSO, M. I. et al. Potential impacts of climate change on soybean yields in the Argentinean pampas and adaptation measures for future sustainable production. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES)**, v. 6, n. 37, p. 372045, 1 fev. 2009.

VALVERDE, M. C.; PAIVA JUNIOR, H. DE. Temperatura do ar e emissões urbanas em região industrial de São Paulo, Brasil. **Acta Brasiliensis**, v. 2, n. 2, p. 45, 2018.

VAN ITTERSUM, M. K. et al. Yield gap analysis with local to global relevance—A review. **Field Crops Research**, v. 143, p. 4–17, 2013.

VIEGAS, J. et al. Caracterização dos Diferentes Tipos de El Niño e seus Impactos na América do Sul a Partir de Dados Observados e Modelados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, p. 43–67, 2019.

VILLANI, G. et al. Climatic scenarios and their impacts on irrigated agriculture in Emilia-Romagna, Italy. **Italian Journal of Agrometeorology**, v. 16, n. 1, p. 5–16, 2011.

VOLDOIRE, A. et al. The CNRM-CM5.1 global climate model: Description and basic evaluation. **Climate Dynamics**, v. 40, n. 9–10, p. 2091–2121, 2013.

VOLODIN, E. M. et al. Simulation of the modern climate using the INM-CM48 climate model. **Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling**, v. 33, n. 6, p. 367–374, 2018.

VOLODIN, E. M.; DIANSKII, N. A.; GUSEV, A. V. Simulating present-day climate with the INMCM4.0 coupled model of the atmospheric and oceanic general circulations. **Izvestiya - Atmospheric and Ocean Physics**, v. 46, n. 4, p. 414–431, 2010.

WATANABE, S. et al. MIROC-ESM 2010: Model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments. **Geoscientific Model Development**, v. 4, n. 4, p. 845–872, 2011.

WATANABE, S. et al. Intercomparison of bias-correction methods for monthly

temperature and precipitation simulated by multiple climate models. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 117, n. D23, 2012.

WHITE, J. W. et al. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. **Field Crops Research**, v. 124, n. 3, p. 357–368, 2011.

WILLMOTT, C. J. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 63, n. 11, p. 1309–1313, 1982.

WOZNICKI, S. A.; NEJADHASHEMI, A. P.; PARSINEJAD, M. Climate change and irrigation demand: Uncertainty and adaptation. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 3, p. 247–264, 1 mar. 2015.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644–2659, 2015.

YUN, W. T. et al. Improvement of the Multimodel Superensemble Technique for Seasonal Forecasts. **Journal of Climate**, v. 16, n. 22, p. 3834–3840, 2003.

ZANCOPÉ, G. J.; NASSER, J. M. **O Brasil que deu certo: a saga da soja brasileira**. Curitiba: Tríade, 2005.

APÊNDICE A – Valores da temperatura média do ar, precipitação pluvial e evapotranspiração de referência para o período atual e futuro, em cada município nos cenários de RCP 4.5, RCP 8.5 e histórico.

Município	Temperatura média (°C)	Precipitação (mm)	Evapotranspiração de referência (mm)	Período	RCP
Barreiras - BA	25,9	903,0	1158,5	Atual	Histórico
Barreiras - BA	27,0	972,9	1189,3	Curto prazo	4.5
Barreiras - BA	27,8	972,1	1205,7	Médio prazo	4.5
Barreiras - BA	28,4	877,7	1231,9	Longo prazo	4.5
Barreiras - BA	27,1	933,7	1195,5	Curto prazo	8.5
Barreiras - BA	28,3	988,4	1222,6	Médio prazo	8.5
Barreiras - BA	30,2	864,7	1281,8	Longo prazo	8.5
Brasnorte - MT	27,0	1680,1	996,7	Atual	Histórico
Brasnorte - MT	28,5	1744,6	1042,8	Curto prazo	4.5
Brasnorte - MT	29,2	1715,5	1051,3	Médio prazo	4.5
Brasnorte - MT	30,0	1650,2	1076,6	Longo prazo	4.5
Brasnorte - MT	28,3	1715,0	1025,5	Curto prazo	8.5
Brasnorte - MT	30,1	1673,8	1076,6	Médio prazo	8.5
Brasnorte - MT	32,0	1576,6	1122,6	Longo prazo	8.5
Campo Novo do Parecis - MT	25,5	1597,2	1007,9	Atual	Histórico
Campo Novo do Parecis - MT	27,0	1649,5	1056,8	Curto prazo	4.5
Campo Novo do Parecis - MT	27,8	1642,0	1064,4	Médio prazo	4.5
Campo Novo do Parecis - MT	28,6	1560,0	1091,6	Longo prazo	4.5
Campo Novo do Parecis - MT	26,8	1637,0	1037,4	Curto prazo	8.5
Campo Novo do Parecis - MT	28,6	1602,6	1090,6	Médio prazo	8.5
Campo Novo do Parecis - MT	30,6	1487,8	1137,5	Longo prazo	8.5
Campo Verde - MT	24,7	1472,1	981,5	Atual	Histórico
Campo Verde - MT	25,9	1598,4	1006,3	Curto prazo	4.5
Campo Verde - MT	26,8	1567,0	1023,4	Médio prazo	4.5
Campo Verde - MT	27,5	1503,2	1044,3	Longo prazo	4.5
Campo Verde - MT	26,1	1501,1	1013,7	Curto prazo	8.5
Campo Verde - MT	27,5	1514,1	1040,5	Médio prazo	8.5
Campo Verde - MT	29,6	1464,9	1090,0	Longo prazo	8.5
Campos de Júlio - MT	25,1	1572,0	981,7	Atual	Histórico
Campos de Júlio - MT	26,6	1610,2	1031,2	Curto prazo	4.5
Campos de Júlio - MT	27,3	1604,9	1038,7	Médio prazo	4.5
Campos de Júlio - MT	28,1	1531,8	1064,8	Longo prazo	4.5
Campos de Júlio - MT	26,3	1593,6	1012,3	Curto prazo	8.5
Campos de Júlio - MT	28,1	1580,8	1064,0	Médio prazo	8.5
Campos de Júlio - MT	30,1	1463,2	1109,6	Longo prazo	8.5
Canarana - MT	26,8	1471,5	978,8	Atual	Histórico
Canarana - MT	28,0	1488,6	1006,6	Curto prazo	4.5
Canarana - MT	28,8	1488,1	1016,9	Médio prazo	4.5
Canarana - MT	29,6	1452,6	1042,8	Longo prazo	4.5
Canarana - MT	28,2	1445,6	1015,3	Curto prazo	8.5
Canarana - MT	29,6	1452,8	1045,2	Médio prazo	8.5
Canarana - MT	31,8	1330,0	1099,1	Longo prazo	8.5
Cristalina - GO	22,3	1319,2	1035,1	Atual	Histórico
Cristalina - GO	23,6	1373,5	1077,4	Curto prazo	4.5
Cristalina - GO	24,4	1362,1	1094,2	Médio prazo	4.5
Cristalina - GO	25,2	1325,6	1129,1	Longo prazo	4.5
Cristalina - GO	23,6	1322,6	1082,2	Curto prazo	8.5
Cristalina - GO	24,8	1338,6	1107,4	Médio prazo	8.5
Cristalina - GO	26,9	1285,1	1168,0	Longo prazo	8.5
Diamantino - MT	27,5	1555,7	1043,7	Atual	Histórico
Diamantino - MT	28,6	1672,7	1069,2	Curto prazo	4.5
Diamantino - MT	29,5	1652,2	1088,2	Médio prazo	4.5
Diamantino - MT	30,3	1578,0	1109,5	Longo prazo	4.5
Diamantino - MT	28,8	1589,5	1076,5	Curto prazo	8.5
Diamantino - MT	30,2	1599,5	1104,9	Médio prazo	8.5
Diamantino - MT	32,3	1571,0	1156,4	Longo prazo	8.5
Dourados - MS	25,3	1066,6	1182,2	Atual	Histórico

Dourados - MS	26,4	1212,6	1216,4	Curto prazo	4,5
Dourados - MS	27,2	1234,9	1236,4	Médio prazo	4,5
Dourados - MS	27,8	1199,4	1256,2	Longo prazo	4,5
Dourados - MS	26,4	1140,3	1213,7	Curto prazo	8,5
Dourados - MS	27,7	1176,7	1242,2	Médio prazo	8,5
Dourados - MS	29,7	1170,6	1297,9	Longo prazo	8,5
Formosa do Rio Preto - BA	26,4	871,1	1189,9	Atual	Histórico
Formosa do Rio Preto - BA	27,4	891,0	1221,1	Curto prazo	4,5
Formosa do Rio Preto - BA	28,0	875,1	1231,5	Médio prazo	4,5
Formosa do Rio Preto - BA	28,7	791,8	1259,7	Longo prazo	4,5
Formosa do Rio Preto - BA	27,6	875,8	1224,6	Curto prazo	8,5
Formosa do Rio Preto - BA	28,7	836,6	1249,0	Médio prazo	8,5
Formosa do Rio Preto - BA	30,6	760,8	1310,1	Longo prazo	8,5
Ipiranga do Norte - MT	27,7	1330,9	1053,8	Atual	Histórico
Ipiranga do Norte - MT	28,8	1439,3	1079,8	Curto prazo	4,5
Ipiranga do Norte - MT	29,7	1408,5	1098,3	Médio prazo	4,5
Ipiranga do Norte - MT	30,5	1346,5	1120,2	Longo prazo	4,5
Ipiranga do Norte - MT	29,0	1356,6	1087,6	Curto prazo	8,5
Ipiranga do Norte - MT	30,4	1364,2	1115,7	Médio prazo	8,5
Ipiranga do Norte - MT	32,5	1323,3	1168,1	Longo prazo	8,5
Jataí - GO	24,7	1378,4	1037,0	Atual	Histórico
Jataí - GO	26,0	1452,6	1070,1	Curto prazo	4,5
Jataí - GO	26,8	1453,7	1079,4	Médio prazo	4,5
Jataí - GO	27,4	1385,4	1098,1	Longo prazo	4,5
Jataí - GO	26,2	1432,1	1077,9	Curto prazo	8,5
Jataí - GO	27,5	1434,4	1104,3	Médio prazo	8,5
Jataí - GO	29,6	1350,3	1158,2	Longo prazo	8,5
Lucas do Rio Verde - MT	26,6	1570,4	1005,5	Atual	Histórico
Lucas do Rio Verde - MT	27,8	1637,4	1037,8	Curto prazo	4,5
Lucas do Rio Verde - MT	28,8	1583,9	1063,9	Médio prazo	4,5
Lucas do Rio Verde - MT	29,8	1524,7	1099,6	Longo prazo	4,5
Lucas do Rio Verde - MT	28,0	1603,2	1040,7	Curto prazo	8,5
Lucas do Rio Verde - MT	29,6	1565,2	1078,0	Médio prazo	8,5
Lucas do Rio Verde - MT	31,8	1490,1	1136,7	Longo prazo	8,5
Luís Eduardo Magalhães - BA	25,0	1169,3	1083,4	Atual	Histórico
Luís Eduardo Magalhães - BA	26,2	1217,5	1116,4	Curto prazo	4,5
Luís Eduardo Magalhães - BA	26,9	1214,9	1131,3	Médio prazo	4,5
Luís Eduardo Magalhães - BA	27,5	1129,2	1156,5	Longo prazo	4,5
Luís Eduardo Magalhães - BA	26,3	1182,3	1119,0	Curto prazo	8,5
Luís Eduardo Magalhães - BA	27,5	1166,9	1146,1	Médio prazo	8,5
Luís Eduardo Magalhães - BA	29,4	1085,8	1204,3	Longo prazo	8,5
Maracaju - MS	25,7	1065,2	1192,2	Atual	Histórico
Maracaju - MS	26,9	1204,2	1225,6	Curto prazo	4,5
Maracaju - MS	27,6	1216,5	1237,4	Médio prazo	4,5
Maracaju - MS	28,3	1181,8	1252,5	Longo prazo	4,5
Maracaju - MS	26,8	1172,2	1212,1	Curto prazo	8,5
Maracaju - MS	28,1	1166,0	1241,1	Médio prazo	8,5
Maracaju - MS	30,2	1162,3	1294,4	Longo prazo	8,5
Nova Maringá - MT	26,6	1576,8	1006,3	Atual	Histórico
Nova Maringá - MT	27,9	1653,3	1038,5	Curto prazo	4,5
Nova Maringá - MT	28,9	1591,5	1064,6	Médio prazo	4,5
Nova Maringá - MT	29,9	1540,9	1100,4	Longo prazo	4,5
Nova Maringá - MT	28,0	1616,3	1042,1	Curto prazo	8,5
Nova Maringá - MT	29,6	1581,2	1079,4	Médio prazo	8,5
Nova Maringá - MT	31,8	1500,0	1138,3	Longo prazo	8,5
Nova Mutum - MT	26,3	1577,4	1007,5	Atual	Histórico
Nova Mutum - MT	27,6	1645,9	1039,8	Curto prazo	4,5
Nova Mutum - MT	28,6	1608,6	1066,0	Médio prazo	4,5
Nova Mutum - MT	29,5	1541,6	1102,3	Longo prazo	4,5
Nova Mutum - MT	27,7	1613,7	1042,5	Curto prazo	8,5
Nova Mutum - MT	29,3	1586,6	1080,0	Médio prazo	8,5
Nova Mutum - MT	31,5	1515,3	1139,2	Longo prazo	8,5
Nova Ubiratã - MT	26,5	1600,2	1001,0	Atual	Histórico

Nova Ubiratã - MT	27,8	1647,9	1033,4	Curto prazo	4,5
Nova Ubiratã - MT	28,8	1606,7	1058,9	Médio prazo	4,5
Nova Ubiratã - MT	29,7	1531,0	1095,5	Longo prazo	4,5
Nova Ubiratã - MT	27,9	1605,8	1036,8	Curto prazo	8,5
Nova Ubiratã - MT	29,5	1579,4	1073,4	Médio prazo	8,5
Nova Ubiratã - MT	31,7	1502,2	1132,4	Longo prazo	8,5
Paranatinga - MT	26,2	1542,1	997,9	Atual	Histórico
Paranatinga - MT	27,4	1611,8	1027,0	Curto prazo	4,5
Paranatinga - MT	28,3	1569,0	1044,2	Médio prazo	4,5
Paranatinga - MT	29,0	1500,0	1070,5	Longo prazo	4,5
Paranatinga - MT	27,6	1528,2	1034,0	Curto prazo	8,5
Paranatinga - MT	28,9	1532,7	1060,4	Médio prazo	8,5
Paranatinga - MT	31,0	1456,1	1116,2	Longo prazo	8,5
Ponta Porã - MS	24,1	1134,3	1161,0	Atual	Histórico
Ponta Porã - MS	25,0	1303,0	1174,6	Curto prazo	4,5
Ponta Porã - MS	25,6	1371,0	1178,7	Médio prazo	4,5
Ponta Porã - MS	26,3	1343,9	1196,6	Longo prazo	4,5
Ponta Porã - MS	25,3	1315,0	1187,9	Curto prazo	8,5
Ponta Porã - MS	26,7	1305,0	1225,2	Médio prazo	8,5
Ponta Porã - MS	28,4	1373,3	1261,2	Longo prazo	8,5
Porto dos Gaúchos - MT	27,2	1716,4	992,5	Atual	Histórico
Porto dos Gaúchos - MT	28,5	1761,5	1027,0	Curto prazo	4,5
Porto dos Gaúchos - MT	29,4	1734,3	1051,7	Médio prazo	4,5
Porto dos Gaúchos - MT	30,4	1676,9	1085,0	Longo prazo	4,5
Porto dos Gaúchos - MT	28,6	1752,0	1030,1	Curto prazo	8,5
Porto dos Gaúchos - MT	30,2	1723,9	1066,4	Médio prazo	8,5
Porto dos Gaúchos - MT	32,4	1632,6	1126,3	Longo prazo	8,5
Primavera do Leste - MT	25,4	1437,4	986,8	Atual	Histórico
Primavera do Leste - MT	26,6	1479,2	1014,7	Curto prazo	4,5
Primavera do Leste - MT	27,5	1457,5	1030,5	Médio prazo	4,5
Primavera do Leste - MT	28,2	1398,5	1055,1	Longo prazo	4,5
Primavera do Leste - MT	26,8	1436,2	1021,4	Curto prazo	8,5
Primavera do Leste - MT	28,1	1434,8	1046,6	Médio prazo	8,5
Primavera do Leste - MT	30,2	1349,3	1098,6	Longo prazo	8,5
Querência - MT	27,0	1452,0	977,5	Atual	Histórico
Querência - MT	28,2	1458,6	1004,8	Curto prazo	4,5
Querência - MT	29,0	1461,5	1014,8	Médio prazo	4,5
Querência - MT	29,8	1421,6	1042,7	Longo prazo	4,5
Querência - MT	28,4	1453,4	1013,1	Curto prazo	8,5
Querência - MT	29,9	1413,3	1043,3	Médio prazo	8,5
Querência - MT	32,1	1305,6	1099,7	Longo prazo	8,5
Rio Verde - GO	24,6	1324,8	1050,5	Atual	Histórico
Rio Verde - GO	25,9	1421,0	1085,4	Curto prazo	4,5
Rio Verde - GO	26,7	1422,6	1095,0	Médio prazo	4,5
Rio Verde - GO	27,3	1365,3	1113,7	Longo prazo	4,5
Rio Verde - GO	26,1	1407,0	1093,0	Curto prazo	8,5
Rio Verde - GO	27,4	1392,1	1119,8	Médio prazo	8,5
Rio Verde - GO	29,4	1327,2	1173,2	Longo prazo	8,5
Sapezal - MT	25,5	1649,4	994,9	Atual	Histórico
Sapezal - MT	26,9	1700,3	1043,9	Curto prazo	4,5
Sapezal - MT	27,7	1693,7	1051,1	Médio prazo	4,5
Sapezal - MT	28,5	1608,1	1077,9	Longo prazo	4,5
Sapezal - MT	26,7	1677,5	1024,7	Curto prazo	8,5
Sapezal - MT	28,5	1649,6	1077,5	Médio prazo	8,5
Sapezal - MT	30,5	1528,1	1124,0	Longo prazo	8,5
Sidrolândia - MS	25,3	1083,8	1176,7	Atual	Histórico
Sidrolândia - MS	26,5	1247,3	1209,4	Curto prazo	4,5
Sidrolândia - MS	27,3	1251,2	1222,5	Médio prazo	4,5
Sidrolândia - MS	27,9	1237,5	1238,6	Longo prazo	4,5
Sidrolândia - MS	26,4	1197,5	1195,5	Curto prazo	8,5
Sidrolândia - MS	27,8	1220,6	1226,0	Médio prazo	8,5
Sidrolândia - MS	29,8	1170,2	1282,7	Longo prazo	8,5
Sorriso - MT	26,8	1639,0	998,4	Atual	Histórico

Sorriso - MT	28,0	1697,4	1030,9	Curto prazo	4.5
Sorriso - MT	29,0	1644,9	1056,7	Médio prazo	4.5
Sorriso - MT	30,0	1586,2	1091,9	Longo prazo	4.5
Sorriso - MT	28,2	1672,9	1033,7	Curto prazo	8.5
Sorriso - MT	29,8	1621,7	1070,7	Médio prazo	8.5
Sorriso - MT	32,0	1538,7	1129,3	Longo prazo	8.5
São Desidério - BA	25,8	918,8	1157,0	Atual	Histórico
São Desidério - BA	26,9	991,5	1187,7	Curto prazo	4.5
São Desidério - BA	27,6	989,5	1204,0	Médio prazo	4.5
São Desidério - BA	28,3	892,4	1230,2	Longo prazo	4.5
São Desidério - BA	27,0	949,6	1194,0	Curto prazo	8.5
São Desidério - BA	28,2	960,9	1221,1	Médio prazo	8.5
São Desidério - BA	30,1	876,8	1279,7	Longo prazo	8.5
São Félix do Araguaia - MT	27,8	1474,7	1031,7	Atual	Histórico
São Félix do Araguaia - MT	29,0	1484,1	1060,4	Curto prazo	4.5
São Félix do Araguaia - MT	29,9	1493,9	1078,3	Médio prazo	4.5
São Félix do Araguaia - MT	30,6	1405,4	1103,3	Longo prazo	4.5
São Félix do Araguaia - MT	29,1	1482,0	1064,7	Curto prazo	8.5
São Félix do Araguaia - MT	30,5	1394,0	1094,0	Médio prazo	8.5
São Félix do Araguaia - MT	32,6	1292,3	1151,7	Longo prazo	8.5
Tapurah - MT	26,8	1596,8	1010,4	Atual	Histórico
Tapurah - MT	28,1	1664,6	1042,8	Curto prazo	4.5
Tapurah - MT	29,1	1609,1	1069,0	Médio prazo	4.5
Tapurah - MT	30,0	1555,9	1105,4	Longo prazo	4.5
Tapurah - MT	28,2	1631,3	1045,7	Curto prazo	8.5
Tapurah - MT	29,8	1591,5	1083,3	Médio prazo	8.5
Tapurah - MT	32,0	1519,4	1142,6	Longo prazo	8.5

APÊNDICE B – Valores das produtividades da soja e das lâminas de irrigação em cada período, no regime de sequeiro e irrigado, para cada município nos cenários de RCP 4.5 e RCP 8.5.

Município	Produtividade (ton.ha⁻¹)	Irrigação (mm)	Manejo	Período	RCP
Barreiras - BA	1,45	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Barreiras - BA	1,90	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Barreiras - BA	1,62	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Barreiras - BA	1,68	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Barreiras - BA	4,75	313,8	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Barreiras - BA	5,13	295,0	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Barreiras - BA	5,32	290,8	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Barreiras - BA	5,20	300,0	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Brasnorte - MT	4,05	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Brasnorte - MT	4,44	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Brasnorte - MT	4,58	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Brasnorte - MT	4,08	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Brasnorte - MT	4,27	43,3	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Brasnorte - MT	4,60	47,1	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Brasnorte - MT	4,75	50,4	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Brasnorte - MT	4,69	59,1	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Campo Novo do Parecis - MT	2,72	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Campo Novo do Parecis - MT	2,93	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Campo Novo do Parecis - MT	3,03	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Campo Novo do Parecis - MT	2,89	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Campo Novo do Parecis - MT	2,83	40,4	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Campo Novo do Parecis - MT	3,03	45,0	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Campo Novo do Parecis - MT	3,20	47,5	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Campo Novo do Parecis - MT	3,19	60,9	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Campo Verde - MT	4,58	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Campo Verde - MT	5,22	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Campo Verde - MT	5,09	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Campo Verde - MT	4,96	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Campo Verde - MT	4,88	53,8	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Campo Verde - MT	5,28	51,3	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Campo Verde - MT	5,40	54,6	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Campo Verde - MT	5,27	65,6	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Campos de Júlio - MT	4,25	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Campos de Júlio - MT	4,65	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Campos de Júlio - MT	4,75	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Campos de Júlio - MT	4,32	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Campos de Júlio - MT	4,45	38,3	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Campos de Júlio - MT	4,75	42,5	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Campos de Júlio - MT	4,89	46,3	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Campos de Júlio - MT	4,79	59,1	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Canarana - MT	4,14	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Canarana - MT	4,46	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Canarana - MT	4,43	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Canarana - MT	4,09	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Canarana - MT	4,42	68,8	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Canarana - MT	4,77	64,6	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Canarana - MT	4,94	67,1	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Canarana - MT	4,82	72,4	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Cristalina - GO	4,37	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Cristalina - GO	4,55	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Cristalina - GO	4,61	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Cristalina - GO	4,58	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Cristalina - GO	5,70	157,9	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Cristalina - GO	5,99	146,3	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Cristalina - GO	6,14	141,3	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Cristalina - GO	5,91	147,4	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Diamantino - MT	3,93	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5

Diamantino - MT	4,41	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Diamantino - MT	4,51	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Diamantino - MT	4,38	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Diamantino - MT	4,17	72,5	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Diamantino - MT	4,57	64,2	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Diamantino - MT	4,71	71,3	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Diamantino - MT	4,66	78,9	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Dourados - MS	2,03	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Dourados - MS	2,67	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Dourados - MS	2,83	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Dourados - MS	2,87	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Dourados - MS	4,36	225,8	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Dourados - MS	4,71	200,4	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Dourados - MS	4,86	194,2	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Dourados - MS	4,80	193,7	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Formosa do Rio Preto - BA	1,32	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Formosa do Rio Preto - BA	1,50	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Formosa do Rio Preto - BA	1,51	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Formosa do Rio Preto - BA	1,31	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Formosa do Rio Preto - BA	4,59	322,1	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Formosa do Rio Preto - BA	4,97	310,0	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Formosa do Rio Preto - BA	5,19	306,3	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Formosa do Rio Preto - BA	5,07	320,1	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Ipiranga do Norte - MT	3,53	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Ipiranga do Norte - MT	3,93	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Ipiranga do Norte - MT	3,88	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Ipiranga do Norte - MT	3,68	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Ipiranga do Norte - MT	4,13	105,8	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Ipiranga do Norte - MT	4,51	95,4	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Ipiranga do Norte - MT	4,67	103,3	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Ipiranga do Norte - MT	4,63	111,4	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Jataí - GO	4,50	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Jataí - GO	4,77	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Jataí - GO	5,09	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Jataí - GO	4,89	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Jataí - GO	4,88	75,0	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Jataí - GO	5,21	70,8	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Jataí - GO	5,40	66,7	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Jataí - GO	5,29	80,1	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Lucas do Rio Verde - MT	4,12	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Lucas do Rio Verde - MT	4,70	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Lucas do Rio Verde - MT	4,76	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Lucas do Rio Verde - MT	4,69	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Lucas do Rio Verde - MT	4,94	97,5	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Lucas do Rio Verde - MT	5,26	85,0	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Lucas do Rio Verde - MT	5,46	84,6	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Lucas do Rio Verde - MT	5,36	98,6	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Luís Eduardo Magalhães - BA	2,86	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Luís Eduardo Magalhães - BA	2,85	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Luís Eduardo Magalhães - BA	2,95	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Luís Eduardo Magalhães - BA	3,34	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Luís Eduardo Magalhães - BA	4,99	201,3	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Luís Eduardo Magalhães - BA	5,35	192,1	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Luís Eduardo Magalhães - BA	5,51	190,0	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Luís Eduardo Magalhães - BA	5,39	197,6	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Maracaju - MS	2,47	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Maracaju - MS	3,05	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Maracaju - MS	3,29	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Maracaju - MS	3,40	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Maracaju - MS	4,39	215,0	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Maracaju - MS	4,74	189,2	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Maracaju - MS	4,92	182,5	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Maracaju - MS	4,86	180,9	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5

Nova Maringá - MT	4,09	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Nova Maringá - MT	4,51	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Nova Maringá - MT	4,46	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Nova Maringá - MT	3,85	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Nova Maringá - MT	4,37	59,6	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Nova Maringá - MT	4,74	55,8	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Nova Maringá - MT	4,84	64,2	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Nova Maringá - MT	4,74	76,7	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Nova Mutum - MT	4,31	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Nova Mutum - MT	4,75	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Nova Mutum - MT	4,87	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Nova Mutum - MT	4,37	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Nova Mutum - MT	4,44	50,0	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Nova Mutum - MT	4,82	52,1	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Nova Mutum - MT	4,92	60,0	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Nova Mutum - MT	4,82	70,3	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Nova Ubitatã - MT	4,02	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Nova Ubitatã - MT	4,45	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Nova Ubitatã - MT	4,57	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Nova Ubitatã - MT	3,98	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Nova Ubitatã - MT	4,41	49,2	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Nova Ubitatã - MT	4,78	52,5	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Nova Ubitatã - MT	4,88	57,9	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Nova Ubitatã - MT	4,79	70,7	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Paranatinga - MT	4,22	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Paranatinga - MT	4,22	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Paranatinga - MT	4,35	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Paranatinga - MT	4,17	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Paranatinga - MT	4,51	68,8	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Paranatinga - MT	4,89	62,9	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Paranatinga - MT	5,02	66,3	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Paranatinga - MT	4,90	76,3	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Ponta Porã - MS	2,63	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Ponta Porã - MS	3,67	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Ponta Porã - MS	4,07	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Ponta Porã - MS	3,94	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Ponta Porã - MS	4,84	238,3	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Ponta Porã - MS	5,29	201,7	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Ponta Porã - MS	5,52	184,2	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Ponta Porã - MS	5,39	188,6	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Porto dos Gaúchos - MT	4,01	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Porto dos Gaúchos - MT	4,52	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Porto dos Gaúchos - MT	4,63	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Porto dos Gaúchos - MT	4,46	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Porto dos Gaúchos - MT	4,25	42,0	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Porto dos Gaúchos - MT	4,60	44,8	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Porto dos Gaúchos - MT	4,72	49,1	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Porto dos Gaúchos - MT	4,63	62,4	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Primavera do Leste - MT	4,16	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Primavera do Leste - MT	4,54	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Primavera do Leste - MT	4,70	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Primavera do Leste - MT	4,20	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Primavera do Leste - MT	4,37	54,2	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Primavera do Leste - MT	4,71	52,1	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Primavera do Leste - MT	4,87	52,9	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Primavera do Leste - MT	4,77	66,4	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Querência - MT	3,70	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Querência - MT	3,85	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Querência - MT	3,88	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Querência - MT	3,87	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Querência - MT	4,38	62,5	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Querência - MT	4,72	59,6	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Querência - MT	4,87	70,0	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5

Querência - MT	4,74	72,9	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Rio Verde - GO	4,12	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Rio Verde - GO	4,70	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Rio Verde - GO	4,76	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Rio Verde - GO	4,69	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Rio Verde - GO	4,94	97,5	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Rio Verde - GO	5,26	85,0	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Rio Verde - GO	5,46	84,6	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Rio Verde - GO	5,36	98,6	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Sapezal - MT	4,32	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Sapezal - MT	4,69	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Sapezal - MT	4,82	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Sapezal - MT	4,21	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Sapezal - MT	4,60	42,5	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Sapezal - MT	4,90	48,3	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Sapezal - MT	5,08	48,8	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Sapezal - MT	4,95	64,7	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Sidrolândia - MS	2,36	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Sidrolândia - MS	3,25	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Sidrolândia - MS	3,35	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Sidrolândia - MS	3,67	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Sidrolândia - MS	4,51	203,8	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Sidrolândia - MS	4,88	177,1	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Sidrolândia - MS	5,05	170,0	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Sidrolândia - MS	4,99	161,1	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Sorriso - MT	4,09	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Sorriso - MT	4,52	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Sorriso - MT	4,64	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Sorriso - MT	4,33	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Sorriso - MT	4,37	41,7	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Sorriso - MT	4,72	42,9	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Sorriso - MT	4,84	47,9	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Sorriso - MT	4,73	54,4	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
São Desidério - BA	1,77	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
São Desidério - BA	2,23	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
São Desidério - BA	2,12	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
São Desidério - BA	2,03	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
São Desidério - BA	4,76	297,1	Irrigado	Atual	RCP 4.5
São Desidério - BA	5,14	280,0	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
São Desidério - BA	5,33	275,0	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
São Desidério - BA	5,19	282,9	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
São Félix do Araguaia - MT	3,65	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
São Félix do Araguaia - MT	3,92	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
São Félix do Araguaia - MT	3,81	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
São Félix do Araguaia - MT	3,63	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
São Félix do Araguaia - MT	4,20	83,3	Irrigado	Atual	RCP 4.5
São Félix do Araguaia - MT	4,56	81,7	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
São Félix do Araguaia - MT	4,72	87,9	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
São Félix do Araguaia - MT	4,65	98,6	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Tapurah - MT	4,10	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 4.5
Tapurah - MT	4,38	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 4.5
Tapurah - MT	4,35	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 4.5
Tapurah - MT	3,78	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 4.5
Tapurah - MT	4,33	53,3	Irrigado	Atual	RCP 4.5
Tapurah - MT	4,68	56,3	Irrigado	Curto prazo	RCP 4.5
Tapurah - MT	4,82	59,6	Irrigado	Médio prazo	RCP 4.5
Tapurah - MT	4,72	70,7	Irrigado	Longo prazo	RCP 4.5
Barreiras - BA	1,46	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Barreiras - BA	1,74	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Barreiras - BA	1,87	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Barreiras - BA	1,21	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Barreiras - BA	4,76	313,8	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Barreiras - BA	5,27	299,6	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5

Barreiras - BA	5,78	294,6	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Barreiras - BA	5,71	292,7	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Brasnorte - MT	4,06	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Brasnorte - MT	4,59	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Brasnorte - MT	4,41	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Brasnorte - MT	3,90	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Brasnorte - MT	4,28	42,9	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Brasnorte - MT	4,75	50,0	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Brasnorte - MT	5,17	59,2	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Brasnorte - MT	5,26	71,1	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Campo Novo do Parecis - MT	2,73	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Campo Novo do Parecis - MT	2,97	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Campo Novo do Parecis - MT	3,31	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Campo Novo do Parecis - MT	3,01	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Campo Novo do Parecis - MT	2,84	40,4	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Campo Novo do Parecis - MT	3,18	46,3	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Campo Novo do Parecis - MT	3,60	59,2	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Campo Novo do Parecis - MT	3,82	70,3	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Campo Verde - MT	4,59	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Campo Verde - MT	5,17	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Campo Verde - MT	5,36	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Campo Verde - MT	4,68	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Campo Verde - MT	4,89	53,8	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Campo Verde - MT	5,38	60,4	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Campo Verde - MT	5,82	61,7	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Campo Verde - MT	5,72	70,7	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Campos de Júlio - MT	4,26	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Campos de Júlio - MT	4,82	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Campos de Júlio - MT	4,52	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Campos de Júlio - MT	4,72	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Campos de Júlio - MT	4,47	38,3	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Campos de Júlio - MT	4,95	45,0	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Campos de Júlio - MT	5,31	55,4	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Campos de Júlio - MT	5,34	68,1	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Canarana - MT	4,15	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Canarana - MT	4,32	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Canarana - MT	4,01	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Canarana - MT	2,77	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Canarana - MT	4,43	68,8	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Canarana - MT	4,86	71,7	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Canarana - MT	5,35	73,8	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Canarana - MT	5,39	93,0	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Cristalina - GO	4,38	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Cristalina - GO	4,71	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Cristalina - GO	4,79	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Cristalina - GO	3,58	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Cristalina - GO	5,72	157,9	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Cristalina - GO	6,21	152,5	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Cristalina - GO	6,74	141,7	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Cristalina - GO	6,45	149,6	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Diamantino - MT	3,94	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Diamantino - MT	4,48	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Diamantino - MT	4,89	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Diamantino - MT	4,39	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Diamantino - MT	4,18	72,5	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Diamantino - MT	4,66	69,6	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Diamantino - MT	5,16	75,0	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Diamantino - MT	5,26	81,4	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Dourados - MS	2,04	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Dourados - MS	2,63	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Dourados - MS	3,36	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Dourados - MS	3,36	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Dourados - MS	4,37	225,8	Irrigado	Atual	RCP 8.5

Dourados - MS	4,84	209,6	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Dourados - MS	5,43	185,4	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Dourados - MS	5,48	176,6	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Formosa do Rio Preto - BA	1,32	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Formosa do Rio Preto - BA	1,58	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Formosa do Rio Preto - BA	1,59	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Formosa do Rio Preto - BA	1,35	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Formosa do Rio Preto - BA	4,60	322,1	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Formosa do Rio Preto - BA	5,07	314,6	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Formosa do Rio Preto - BA	5,67	305,4	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Formosa do Rio Preto - BA	5,59	312,4	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Ipiranga do Norte - MT	3,54	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Ipiranga do Norte - MT	3,92	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Ipiranga do Norte - MT	4,12	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Ipiranga do Norte - MT	3,63	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Ipiranga do Norte - MT	4,14	105,8	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Ipiranga do Norte - MT	4,61	107,1	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Ipiranga do Norte - MT	5,14	106,3	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Ipiranga do Norte - MT	5,24	117,4	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Jataí - GO	4,51	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Jataí - GO	5,02	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Jataí - GO	5,29	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Jataí - GO	4,70	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Jataí - GO	4,89	75,0	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Jataí - GO	5,31	71,7	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Jataí - GO	5,82	72,1	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Jataí - GO	5,73	85,3	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Lucas do Rio Verde - MT	4,22	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Lucas do Rio Verde - MT	4,60	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Lucas do Rio Verde - MT	4,62	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Lucas do Rio Verde - MT	4,40	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Lucas do Rio Verde - MT	4,39	45,4	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Lucas do Rio Verde - MT	4,83	45,8	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Lucas do Rio Verde - MT	5,30	59,2	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Lucas do Rio Verde - MT	5,34	71,6	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Luís Eduardo Magalhães - BA	2,87	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Luís Eduardo Magalhães - BA	2,87	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Luís Eduardo Magalhães - BA	3,32	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Luís Eduardo Magalhães - BA	2,96	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Luís Eduardo Magalhães - BA	5,00	200,8	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Luís Eduardo Magalhães - BA	5,44	197,9	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Luís Eduardo Magalhães - BA	5,98	205,4	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Luís Eduardo Magalhães - BA	5,88	206,6	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Maracaju - MS	2,48	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Maracaju - MS	3,13	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Maracaju - MS	3,73	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Maracaju - MS	3,60	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Maracaju - MS	4,40	215,0	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Maracaju - MS	4,90	190,0	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Maracaju - MS	5,50	178,3	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Maracaju - MS	5,50	164,6	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Nova Maringá - MT	4,11	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Nova Maringá - MT	4,57	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Nova Maringá - MT	4,38	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Nova Maringá - MT	3,61	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Nova Maringá - MT	4,38	59,6	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Nova Maringá - MT	4,82	62,1	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Nova Maringá - MT	5,27	69,2	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Nova Maringá - MT	5,33	82,3	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Nova Mutum - MT	4,32	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Nova Mutum - MT	4,85	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Nova Mutum - MT	5,04	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Nova Mutum - MT	4,46	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5

Nova Mutum - MT	4,45	50,0	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Nova Mutum - MT	4,92	52,9	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Nova Mutum - MT	5,34	58,8	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Nova Mutum - MT	5,40	75,4	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Nova Ubiratã - MT	4,03	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Nova Ubiratã - MT	4,66	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Nova Ubiratã - MT	4,82	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Nova Ubiratã - MT	3,82	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Nova Ubiratã - MT	4,42	49,2	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Nova Ubiratã - MT	4,88	53,3	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Nova Ubiratã - MT	5,30	62,1	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Nova Ubiratã - MT	5,37	71,6	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Paranatinga - MT	4,23	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Paranatinga - MT	4,39	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Paranatinga - MT	4,62	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Paranatinga - MT	4,06	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Paranatinga - MT	4,52	68,8	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Paranatinga - MT	4,99	70,4	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Paranatinga - MT	5,48	71,7	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Paranatinga - MT	5,44	79,7	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Ponta Porã - MS	2,64	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Ponta Porã - MS	3,56	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Ponta Porã - MS	4,13	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Ponta Porã - MS	4,45	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Ponta Porã - MS	4,85	237,9	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Ponta Porã - MS	5,36	202,9	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Ponta Porã - MS	5,89	188,8	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Ponta Porã - MS	5,90	168,9	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Porto dos Gaúchos - MT	4,02	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Porto dos Gaúchos - MT	4,61	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Porto dos Gaúchos - MT	4,90	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Porto dos Gaúchos - MT	4,67	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Porto dos Gaúchos - MT	4,26	42,0	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Porto dos Gaúchos - MT	4,68	47,3	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Porto dos Gaúchos - MT	5,14	52,1	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Porto dos Gaúchos - MT	5,25	64,2	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Primavera do Leste - MT	4,17	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Primavera do Leste - MT	4,52	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Primavera do Leste - MT	4,73	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Primavera do Leste - MT	4,31	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Primavera do Leste - MT	4,38	54,2	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Primavera do Leste - MT	4,86	55,0	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Primavera do Leste - MT	5,35	61,3	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Primavera do Leste - MT	5,32	77,1	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Querência - MT	3,71	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Querência - MT	4,10	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Querência - MT	4,03	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Querência - MT	3,46	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Querência - MT	4,39	62,1	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Querência - MT	4,80	65,8	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Querência - MT	5,27	77,9	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Querência - MT	5,34	91,7	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Rio Verde - GO	4,13	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Rio Verde - GO	4,80	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Rio Verde - GO	5,32	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Rio Verde - GO	4,06	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Rio Verde - GO	4,95	97,5	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Rio Verde - GO	5,38	85,4	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Rio Verde - GO	5,88	87,9	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Rio Verde - GO	5,80	102,0	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Sapezal - MT	4,34	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Sapezal - MT	4,88	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Sapezal - MT	4,82	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5

Sapezal - MT	4,52	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Sapezal - MT	4,61	42,5	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Sapezal - MT	5,12	47,5	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Sapezal - MT	5,49	57,5	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Sapezal - MT	5,49	70,7	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Sidrolândia - MS	2,37	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Sidrolândia - MS	3,43	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Sidrolândia - MS	3,97	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Sidrolândia - MS	3,75	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Sidrolândia - MS	4,52	203,3	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Sidrolândia - MS	5,04	176,3	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Sidrolândia - MS	5,62	159,2	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Sidrolândia - MS	5,58	159,9	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Sorriso - MT	4,10	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Sorriso - MT	4,63	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Sorriso - MT	4,76	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Sorriso - MT	4,11	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Sorriso - MT	4,38	41,3	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Sorriso - MT	4,82	43,8	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Sorriso - MT	5,26	52,5	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Sorriso - MT	5,29	63,9	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
São Desidério - BA	1,77	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
São Desidério - BA	2,15	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
São Desidério - BA	2,54	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
São Desidério - BA	2,29	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
São Desidério - BA	4,78	297,1	Irrigado	Atual	RCP 8.5
São Desidério - BA	5,25	288,8	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
São Desidério - BA	5,79	275,4	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
São Desidério - BA	5,64	282,4	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
São Félix do Araguaia - MT	3,66	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
São Félix do Araguaia - MT	4,07	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
São Félix do Araguaia - MT	4,18	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
São Félix do Araguaia - MT	3,79	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
São Félix do Araguaia - MT	4,21	83,3	Irrigado	Atual	RCP 8.5
São Félix do Araguaia - MT	4,66	82,9	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
São Félix do Araguaia - MT	5,18	98,3	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
São Félix do Araguaia - MT	5,27	114,4	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5
Tapurah - MT	4,11	0,0	Sequeiro	Atual	RCP 8.5
Tapurah - MT	4,47	0,0	Sequeiro	Curto prazo	RCP 8.5
Tapurah - MT	4,38	0,0	Sequeiro	Médio prazo	RCP 8.5
Tapurah - MT	4,10	0,0	Sequeiro	Longo prazo	RCP 8.5
Tapurah - MT	4,35	53,3	Irrigado	Atual	RCP 8.5
Tapurah - MT	4,79	57,9	Irrigado	Curto prazo	RCP 8.5
Tapurah - MT	5,24	65,8	Irrigado	Médio prazo	RCP 8.5
Tapurah - MT	5,33	75,4	Irrigado	Longo prazo	RCP 8.5

APÊNDICE C – Melhores datas de semeadura no regime sequeiro para cada município e período futuro, bem como a produtividade estimada na data.

Município	Produtividade (ton.ha⁻¹)	Data de semeadura	RCP	Período
Barreiras - BA	2,25	11/11	RCP 4.5	Curto prazo
Barreiras - BA	2,13	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Barreiras - BA	2,09	11/11	RCP 4.5	Longo prazo
Barreiras - BA	2,13	11/11	RCP 8.5	Curto prazo
Barreiras - BA	2,61	11/11	RCP 8.5	Médio prazo
Barreiras - BA	2,13	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Brasnorte - MT	4,65	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Brasnorte - MT	4,84	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Brasnorte - MT	4,77	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Brasnorte - MT	4,84	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Brasnorte - MT	5,24	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Brasnorte - MT	5,28	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Campo Novo do Parecis - MT	3,09	11/10	RCP 4.5	Curto prazo
Campo Novo do Parecis - MT	3,05	11/10	RCP 4.5	Médio prazo
Campo Novo do Parecis - MT	2,89	01/11	RCP 4.5	Longo prazo
Campo Novo do Parecis - MT	3,11	11/10	RCP 8.5	Curto prazo
Campo Novo do Parecis - MT	3,33	01/11	RCP 8.5	Médio prazo
Campo Novo do Parecis - MT	3,31	11/11	RCP 8.5	Longo prazo
Campo Verde - MT	5,35	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Campo Verde - MT	5,50	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Campo Verde - MT	5,36	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Campo Verde - MT	5,43	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Campo Verde - MT	5,93	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Campo Verde - MT	5,78	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Campos de Júlio - MT	4,70	01/11	RCP 4.5	Curto prazo
Campos de Júlio - MT	4,89	11/11	RCP 4.5	Médio prazo
Campos de Júlio - MT	4,77	11/11	RCP 4.5	Longo prazo
Campos de Júlio - MT	4,95	01/11	RCP 8.5	Curto prazo
Campos de Júlio - MT	5,30	11/11	RCP 8.5	Médio prazo
Campos de Júlio - MT	5,26	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Canarana - MT	4,86	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Canarana - MT	5,09	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Canarana - MT	4,96	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Canarana - MT	4,92	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Canarana - MT	5,44	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Canarana - MT	5,39	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Cristalina - GO	4,98	11/11	RCP 4.5	Curto prazo
Cristalina - GO	5,19	11/11	RCP 4.5	Médio prazo
Cristalina - GO	5,17	11/11	RCP 4.5	Longo prazo
Cristalina - GO	5,11	11/11	RCP 8.5	Curto prazo
Cristalina - GO	5,89	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Cristalina - GO	5,56	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Diamantino - MT	4,63	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Diamantino - MT	4,80	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Diamantino - MT	4,69	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Diamantino - MT	4,71	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Diamantino - MT	5,23	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Diamantino - MT	5,17	11/10	RCP 8.5	Longo prazo
Dourados - MS	2,92	11/10	RCP 4.5	Curto prazo
Dourados - MS	3,12	11/10	RCP 4.5	Médio prazo
Dourados - MS	3,14	11/10	RCP 4.5	Longo prazo
Dourados - MS	2,80	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Dourados - MS	3,36	21/10	RCP 8.5	Médio prazo
Dourados - MS	3,58	11/10	RCP 8.5	Longo prazo
Formosa do Rio Preto - BA	1,63	01/11	RCP 4.5	Curto prazo

Formosa do Rio Preto - BA	1,72	01/11	RCP 4.5	Médio prazo
Formosa do Rio Preto - BA	1,40	11/11	RCP 4.5	Longo prazo
Formosa do Rio Preto - BA	1,64	11/11	RCP 8.5	Curto prazo
Formosa do Rio Preto - BA	1,82	11/11	RCP 8.5	Médio prazo
Formosa do Rio Preto - BA	1,57	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Ipiranga do Norte - MT	4,50	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Ipiranga do Norte - MT	4,64	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Ipiranga do Norte - MT	4,57	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Ipiranga do Norte - MT	4,57	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Ipiranga do Norte - MT	5,09	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Ipiranga do Norte - MT	5,13	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Jataí - GO	5,14	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Jataí - GO	5,37	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Jataí - GO	5,11	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Jataí - GO	5,21	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Jataí - GO	5,64	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Jataí - GO	5,43	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Lucas do Rio Verde - MT	5,08	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Lucas do Rio Verde - MT	5,24	11/11	RCP 4.5	Médio prazo
Lucas do Rio Verde - MT	5,24	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Lucas do Rio Verde - MT	4,91	11/11	RCP 8.5	Curto prazo
Lucas do Rio Verde - MT	5,38	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Lucas do Rio Verde - MT	5,40	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Luís Eduardo Magalhães - BA	4,00	11/11	RCP 4.5	Curto prazo
Luís Eduardo Magalhães - BA	4,26	11/11	RCP 4.5	Médio prazo
Luís Eduardo Magalhães - BA	4,27	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Luís Eduardo Magalhães - BA	4,03	11/11	RCP 8.5	Curto prazo
Luís Eduardo Magalhães - BA	4,65	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Luís Eduardo Magalhães - BA	4,19	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Maracaju - MS	3,28	11/11	RCP 4.5	Curto prazo
Maracaju - MS	3,61	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Maracaju - MS	3,47	01/11	RCP 4.5	Longo prazo
Maracaju - MS	3,54	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Maracaju - MS	3,81	01/11	RCP 8.5	Médio prazo
Maracaju - MS	4,17	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Nova Maringá - MT	4,75	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Nova Maringá - MT	4,90	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Nova Maringá - MT	4,74	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Nova Maringá - MT	4,85	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Nova Maringá - MT	5,31	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Nova Maringá - MT	5,22	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Nova Mutum - MT	4,88	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Nova Mutum - MT	5,04	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Nova Mutum - MT	4,90	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Nova Mutum - MT	5,01	11/11	RCP 8.5	Curto prazo
Nova Mutum - MT	5,48	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Nova Mutum - MT	5,44	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Nova Ubiratã - MT	4,81	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Nova Ubiratã - MT	4,95	11/11	RCP 4.5	Médio prazo
Nova Ubiratã - MT	4,86	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Nova Ubiratã - MT	4,91	11/11	RCP 8.5	Curto prazo
Nova Ubiratã - MT	5,36	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Nova Ubiratã - MT	5,39	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Paranatinga - MT	4,84	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Paranatinga - MT	5,02	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Paranatinga - MT	5,02	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Paranatinga - MT	4,92	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Paranatinga - MT	5,48	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Paranatinga - MT	5,51	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Ponta Porã - MS	3,73	11/10	RCP 4.5	Curto prazo

Ponta Porã - MS	4,09	01/10	RCP 4.5	Médio prazo
Ponta Porã - MS	3,94	21/10	RCP 4.5	Longo prazo
Ponta Porã - MS	3,69	11/10	RCP 8.5	Curto prazo
Ponta Porã - MS	4,31	11/10	RCP 8.5	Médio prazo
Ponta Porã - MS	4,45	21/10	RCP 8.5	Longo prazo
Porto dos Gaúchos - MT	4,68	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Porto dos Gaúchos - MT	4,85	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Porto dos Gaúchos - MT	4,73	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Porto dos Gaúchos - MT	4,79	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Porto dos Gaúchos - MT	5,24	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Porto dos Gaúchos - MT	5,30	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Primavera do Leste - MT	4,77	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Primavera do Leste - MT	4,93	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Primavera do Leste - MT	4,81	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Primavera do Leste - MT	4,90	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Primavera do Leste - MT	5,39	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Primavera do Leste - MT	5,26	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Querência - MT	4,74	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Querência - MT	4,86	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Querência - MT	4,85	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Querência - MT	4,73	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Querência - MT	5,20	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Querência - MT	5,01	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Rio Verde - GO	5,08	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Rio Verde - GO	5,24	11/11	RCP 4.5	Médio prazo
Rio Verde - GO	5,24	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Rio Verde - GO	5,07	11/11	RCP 8.5	Curto prazo
Rio Verde - GO	5,81	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Rio Verde - GO	5,66	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Sapezal - MT	4,92	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Sapezal - MT	5,14	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Sapezal - MT	5,02	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Sapezal - MT	5,15	11/11	RCP 8.5	Curto prazo
Sapezal - MT	5,59	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Sapezal - MT	5,52	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Sidrolândia - MS	3,76	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Sidrolândia - MS	4,03	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Sidrolândia - MS	3,68	11/11	RCP 4.5	Longo prazo
Sidrolândia - MS	3,91	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Sidrolândia - MS	4,41	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Sidrolândia - MS	4,08	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Sorriso - MT	4,77	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Sorriso - MT	4,92	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Sorriso - MT	4,82	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Sorriso - MT	4,86	11/11	RCP 8.5	Curto prazo
Sorriso - MT	5,35	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Sorriso - MT	5,37	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
São Desidério - BA	2,70	01/11	RCP 4.5	Curto prazo
São Desidério - BA	2,63	11/11	RCP 4.5	Médio prazo
São Desidério - BA	2,56	11/11	RCP 4.5	Longo prazo
São Desidério - BA	2,47	11/11	RCP 8.5	Curto prazo
São Desidério - BA	3,09	11/11	RCP 8.5	Médio prazo
São Desidério - BA	2,76	11/11	RCP 8.5	Longo prazo
São Félix do Araguaia - MT	4,43	11/11	RCP 4.5	Curto prazo
São Félix do Araguaia - MT	4,62	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
São Félix do Araguaia - MT	4,60	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
São Félix do Araguaia - MT	4,54	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
São Félix do Araguaia - MT	4,82	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
São Félix do Araguaia - MT	5,03	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Tapurah - MT	4,76	21/11	RCP 4.5	Curto prazo

Tapurah - MT	4,91	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Tapurah - MT	4,79	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Tapurah - MT	4,85	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Tapurah - MT	5,34	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Tapurah - MT	5,37	21/11	RCP 8.5	Longo prazo

APÊNDICE D – Melhores datas de semeadura no regime irrigado para cada município e período futuro, bem como a produtividade estimada na data.

Município	Produtividade (ton.ha⁻¹)	Irrigação (mm)	Data de semeadura	RCP	Período
Barreiras - BA	5,20	259,6	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Barreiras - BA	5,45	244,6	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Barreiras - BA	5,32	252,0	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Barreiras - BA	5,32	259,2	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Barreiras - BA	5,95	235,0	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Barreiras - BA	5,89	227,1	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Brasnorte - MT	4,63	13,8	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Brasnorte - MT	4,82	13,8	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Brasnorte - MT	4,76	15,4	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Brasnorte - MT	4,82	13,3	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Brasnorte - MT	5,26	249,6	01/09	RCP 8.5	Médio prazo
Brasnorte - MT	5,35	277,3	01/09	RCP 8.5	Longo prazo
Campo Novo do Parecis - MT	3,97	212,5	01/09	RCP 4.5	Curto prazo
Campo Novo do Parecis - MT	4,19	217,1	01/09	RCP 4.5	Médio prazo
Campo Novo do Parecis - MT	4,18	241,3	01/09	RCP 4.5	Longo prazo
Campo Novo do Parecis - MT	4,16	207,9	01/09	RCP 8.5	Curto prazo
Campo Novo do Parecis - MT	4,71	229,6	01/09	RCP 8.5	Médio prazo
Campo Novo do Parecis - MT	4,85	255,0	01/09	RCP 8.5	Longo prazo
Campo Verde - MT	5,31	22,5	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Campo Verde - MT	5,48	22,9	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Campo Verde - MT	5,36	27,9	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Campo Verde - MT	5,40	39,6	01/11	RCP 8.5	Curto prazo
Campo Verde - MT	5,93	24,6	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Campo Verde - MT	5,81	28,7	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Campos de Júlio - MT	4,86	202,9	01/09	RCP 4.5	Curto prazo
Campos de Júlio - MT	5,02	207,9	01/09	RCP 4.5	Médio prazo
Campos de Júlio - MT	4,95	243,9	01/09	RCP 4.5	Longo prazo
Campos de Júlio - MT	5,09	196,7	01/09	RCP 8.5	Curto prazo
Campos de Júlio - MT	5,50	227,9	01/09	RCP 8.5	Médio prazo
Campos de Júlio - MT	5,54	250,3	01/09	RCP 8.5	Longo prazo
Canarana - MT	4,83	45,0	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Canarana - MT	5,05	43,3	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Canarana - MT	4,92	41,1	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Canarana - MT	4,91	48,3	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Canarana - MT	5,44	39,6	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Canarana - MT	5,42	43,7	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Cristalina - GO	6,01	126,7	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Cristalina - GO	6,26	119,2	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Cristalina - GO	6,04	115,7	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Cristalina - GO	6,27	128,8	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Cristalina - GO	6,84	109,2	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Cristalina - GO	6,59	105,9	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Diamantino - MT	4,60	31,3	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Diamantino - MT	4,78	33,3	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Diamantino - MT	4,69	37,3	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Diamantino - MT	4,69	37,5	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Diamantino - MT	5,24	250,0	01/09	RCP 8.5	Médio prazo
Diamantino - MT	5,30	279,4	01/09	RCP 8.5	Longo prazo
Dourados - MS	4,98	270,4	01/09	RCP 4.5	Curto prazo
Dourados - MS	5,17	257,9	01/09	RCP 4.5	Médio prazo
Dourados - MS	5,05	273,4	01/09	RCP 4.5	Longo prazo
Dourados - MS	5,12	278,3	01/09	RCP 8.5	Curto prazo
Dourados - MS	5,74	253,8	01/09	RCP 8.5	Médio prazo
Dourados - MS	5,65	273,4	01/09	RCP 8.5	Longo prazo
Formosa do Rio Preto - BA	5,06	262,1	11/11	RCP 4.5	Curto prazo

Formosa do Rio Preto - BA	5,31	246,3	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Formosa do Rio Preto - BA	5,22	253,7	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Formosa do Rio Preto - BA	5,18	252,5	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Formosa do Rio Preto - BA	5,84	237,5	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Formosa do Rio Preto - BA	5,79	239,6	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Ipiranga do Norte - MT	4,54	51,7	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Ipiranga do Norte - MT	4,72	57,9	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Ipiranga do Norte - MT	4,66	56,6	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Ipiranga do Norte - MT	4,64	60,0	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Ipiranga do Norte - MT	5,21	284,2	01/09	RCP 8.5	Médio prazo
Ipiranga do Norte - MT	5,26	307,7	01/09	RCP 8.5	Longo prazo
Jataí - GO	5,23	44,2	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Jataí - GO	5,47	39,6	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Jataí - GO	5,38	46,3	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Jataí - GO	5,33	45,0	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Jataí - GO	5,92	38,8	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Jataí - GO	5,81	46,3	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Lucas do Rio Verde - MT	5,29	60,4	11/11	RCP 4.5	Curto prazo
Lucas do Rio Verde - MT	5,56	56,3	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Lucas do Rio Verde - MT	5,45	57,4	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Lucas do Rio Verde - MT	4,88	21,3	11/11	RCP 8.5	Curto prazo
Lucas do Rio Verde - MT	5,36	22,5	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Lucas do Rio Verde - MT	5,36	23,6	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Luís Eduardo Magalhães - BA	5,38	157,1	11/11	RCP 4.5	Curto prazo
Luís Eduardo Magalhães - BA	5,66	140,0	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Luís Eduardo Magalhães - BA	5,51	143,1	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Luís Eduardo Magalhães - BA	5,53	150,4	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Luís Eduardo Magalhães - BA	6,14	140,8	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Luís Eduardo Magalhães - BA	6,00	133,7	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Maracaju - MS	4,95	276,3	01/09	RCP 4.5	Curto prazo
Maracaju - MS	5,14	267,1	01/09	RCP 4.5	Médio prazo
Maracaju - MS	5,08	279,0	01/09	RCP 4.5	Longo prazo
Maracaju - MS	5,16	274,2	01/09	RCP 8.5	Curto prazo
Maracaju - MS	5,74	262,1	01/09	RCP 8.5	Médio prazo
Maracaju - MS	5,66	277,7	01/09	RCP 8.5	Longo prazo
Nova Maringá - MT	4,78	24,2	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Nova Maringá - MT	4,94	27,9	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Nova Maringá - MT	4,82	32,6	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Nova Maringá - MT	4,89	24,6	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Nova Maringá - MT	5,35	27,9	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Nova Maringá - MT	5,39	298,3	01/09	RCP 8.5	Longo prazo
Nova Mutum - MT	4,84	22,9	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Nova Mutum - MT	5,00	25,0	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Nova Mutum - MT	4,88	29,6	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Nova Mutum - MT	4,97	29,6	11/11	RCP 8.5	Curto prazo
Nova Mutum - MT	5,44	22,5	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Nova Mutum - MT	5,43	295,3	01/09	RCP 8.5	Longo prazo
Nova Ubiratã - MT	4,82	17,1	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Nova Ubiratã - MT	4,96	20,4	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Nova Ubiratã - MT	4,86	24,4	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Nova Ubiratã - MT	4,93	20,8	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Nova Ubiratã - MT	5,39	19,2	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Nova Ubiratã - MT	5,39	23,1	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Paranatinga - MT	4,95	40,8	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Paranatinga - MT	5,12	40,0	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Paranatinga - MT	5,00	40,3	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Paranatinga - MT	5,06	43,8	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Paranatinga - MT	5,59	35,8	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Paranatinga - MT	5,49	36,0	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Ponta Porã - MS	5,55	272,5	01/09	RCP 4.5	Curto prazo

Ponta Porã - MS	5,81	245,0	01/09	RCP 4.5	Médio prazo
Ponta Porã - MS	5,68	247,3	01/09	RCP 4.5	Longo prazo
Ponta Porã - MS	5,62	274,2	01/09	RCP 8.5	Curto prazo
Ponta Porã - MS	6,22	247,9	01/09	RCP 8.5	Médio prazo
Ponta Porã - MS	6,16	249,0	01/09	RCP 8.5	Longo prazo
Porto dos Gaúchos - MT	4,65	14,1	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Porto dos Gaúchos - MT	4,82	16,1	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Porto dos Gaúchos - MT	4,71	18,4	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Porto dos Gaúchos - MT	4,76	14,5	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Porto dos Gaúchos - MT	5,22	13,6	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Porto dos Gaúchos - MT	5,27	40,6	01/11	RCP 8.5	Longo prazo
Primavera do Leste - MT	4,84	184,6	11/09	RCP 4.5	Curto prazo
Primavera do Leste - MT	4,99	236,3	01/09	RCP 4.5	Médio prazo
Primavera do Leste - MT	4,94	258,9	01/09	RCP 4.5	Longo prazo
Primavera do Leste - MT	4,97	233,3	01/09	RCP 8.5	Curto prazo
Primavera do Leste - MT	5,53	245,4	01/09	RCP 8.5	Médio prazo
Primavera do Leste - MT	5,54	277,3	01/09	RCP 8.5	Longo prazo
Querência - MT	4,78	43,3	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Querência - MT	4,99	39,6	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Querência - MT	4,86	38,1	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Querência - MT	4,87	42,1	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Querência - MT	5,39	37,9	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Querência - MT	5,34	91,7	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Rio Verde - GO	5,29	60,4	11/11	RCP 4.5	Curto prazo
Rio Verde - GO	5,56	56,3	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Rio Verde - GO	5,45	57,4	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Rio Verde - GO	5,41	61,3	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Rio Verde - GO	6,01	50,8	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Rio Verde - GO	5,90	55,3	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Sapezal - MT	4,92	28,8	01/11	RCP 4.5	Curto prazo
Sapezal - MT	5,12	10,4	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Sapezal - MT	5,00	15,0	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Sapezal - MT	5,13	19,2	11/11	RCP 8.5	Curto prazo
Sapezal - MT	5,56	9,2	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Sapezal - MT	5,54	255,4	01/09	RCP 8.5	Longo prazo
Sidrolândia - MS	5,05	297,5	01/09	RCP 4.5	Curto prazo
Sidrolândia - MS	5,25	286,7	01/09	RCP 4.5	Médio prazo
Sidrolândia - MS	5,15	288,9	01/09	RCP 4.5	Longo prazo
Sidrolândia - MS	5,29	289,2	01/09	RCP 8.5	Curto prazo
Sidrolândia - MS	5,83	282,5	01/09	RCP 8.5	Médio prazo
Sidrolândia - MS	5,72	296,6	01/09	RCP 8.5	Longo prazo
Sorriso - MT	4,77	16,7	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
Sorriso - MT	4,93	19,6	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Sorriso - MT	4,81	20,1	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Sorriso - MT	4,86	21,3	11/11	RCP 8.5	Curto prazo
Sorriso - MT	5,36	19,2	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Sorriso - MT	5,37	17,6	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
São Desidério - BA	5,24	238,3	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
São Desidério - BA	5,50	223,8	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
São Desidério - BA	5,38	233,6	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
São Desidério - BA	5,38	241,3	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
São Desidério - BA	5,99	217,9	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
São Desidério - BA	5,91	209,1	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
São Félix do Araguaia - MT	4,63	57,9	21/11	RCP 4.5	Curto prazo
São Félix do Araguaia - MT	4,82	52,1	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
São Félix do Araguaia - MT	4,71	54,0	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
São Félix do Araguaia - MT	4,74	55,4	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
São Félix do Araguaia - MT	5,25	53,8	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
São Félix do Araguaia - MT	5,31	56,6	21/11	RCP 8.5	Longo prazo
Tapurah - MT	4,74	23,8	21/11	RCP 4.5	Curto prazo

Tapurah - MT	4,90	29,6	21/11	RCP 4.5	Médio prazo
Tapurah - MT	4,78	33,0	21/11	RCP 4.5	Longo prazo
Tapurah - MT	4,84	27,5	21/11	RCP 8.5	Curto prazo
Tapurah - MT	5,32	26,3	21/11	RCP 8.5	Médio prazo
Tapurah - MT	5,35	291,4	01/09	RCP 8.5	Longo prazo
