



DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p734-740>

Desempenho agrônômico do milho em diferentes cenários climáticos no Centro-Oeste do Brasil

Rosandro B. Minuzzi¹ & Fábio Z. Lopes²

¹ Laboratório de Climatologia Agrícola/Centro de Ciências Agrárias/Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. E-mail: rbminuzzi@hotmail.com (Autor correspondente)

² Faculdade de Meteorologia/Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS. E-mail: fzlopes1@gmail.com

Palavras-chave:

Aquacrop
produtividade
irrigação
índice de colheita
fenologia

RESUMO

Este estudo propôs analisar o desempenho agrônômico das 1ª e 2ª safras do milho cultivado no Centro-Oeste do Brasil, em diferentes cenários climáticos. Dados climáticos de cinco municípios localizados nas principais regiões produtoras de milho do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e de Goiás, foram utilizados no software Aquacrop 4.0 para determinar a duração do ciclo, produtividade, eficiência do uso da água, requerimento de irrigação líquida e o índice de colheita ajustado em diferentes cenários climáticos, baseados nos valores do percentil 25 e 75% da distribuição do 'ensemble' entre os modelos utilizados para gerar o cenário RCP 4.5 em curto prazo (2016-2035) e médio prazo (2046-2065) do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática. No contexto geral a primeira safra do milho terá redução na duração do ciclo mas não sofrerá com estresse hídrico no Centro-Oeste do Brasil. A produtividade e o requerimento de irrigação líquida do milho safrinha tendem a diminuir quanto maior for a redução na duração do ciclo da cultura.

Key words:

Aquacrop
yield
irrigation
harvest index
phenology

Agronomic performance of maize in different climatic scenarios in the Central West of Brazil

ABSTRACT

This study aimed to analyse the agronomic performance of 1st and 2nd season of maize grown in the Central West part of Brazil in different climatic scenarios. Climatic data from five cities located in major maize producing regions of Mato Grosso, Mato Grosso do Sul and Goiás were used in Aquacrop 4.0 software to determine the duration of the cycle, yield, water use efficiency, net irrigation requirement and harvest index adjusted for different climatic scenarios, based on the percentile of 25 and 75% of the distribution of 'ensemble' between the models used to generate the scenario RCP 4.5 in the near term (2016-2035) and medium term (2046-2065) of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In a general context, the first season of maize will have reduction in duration of the cycle and will not suffer from water stress in the Central West of Brazil. The yield and net irrigation requirement of maize in second season should decrease, the greater the reduction in the duration of the crop cycle.

INTRODUÇÃO

As modificações no comportamento climático observado nas últimas décadas e as projetadas para o futuro próximo trarão, provavelmente, alterações no ciclo hidrológico afetando o desenvolvimento das culturas, sua produção e o consumo de água (Várallyay, 2010).

Os cenários climáticos são representações sobre o clima futuro baseados em um conjunto de suposições que incluem tendências futuras de demanda energética, emissões de gases de efeito estufa, mudanças no uso do solo e aproximações nas leis que regem o comportamento do sistema climático sobre grandes períodos de tempo, resultante das atividades humanas (Hamada et al., 2008). No que tange à questão climática, são de consenso as incertezas nas projeções, especificamente da precipitação apesar dos avanços no campo da modelagem climática global e regional; como exemplo, Valverde & Marengo (2010) destacam, utilizando cinco modelos globais do IPCC-AR4 (IPCC, 2014), que os modelos climáticos globais utilizados ainda não conseguem reproduzir com alto grau de confiabilidade, o padrão sazonal de precipitação que a climatologia observacional apresenta.

No Brasil, o milho tem sido produzido predominantemente em duas safras, sendo o Centro-Oeste a segunda maior região produtora do País respondendo por aproximadamente 27% da produção nacional (IBGE, 2013). Destaca-se, dentre as inúmeras utilizações do milho no Brasil, a fabricação de rações para animais domésticos.

As condições térmicas influenciam os mais diversos processos vitais das plantas, desde a germinação até o desenvolvimento fenológico, pela temperatura do solo, ao desenvolvimento fenológico e ao crescimento da planta, como um todo. Visto que a temperatura atua diretamente no metabolismo básico das plantas, seu efeito se reflete amplamente sobre a evolução de uma cultura no campo (Bergamaschi & Matzenauer, 2009). Já o déficit hídrico afeta praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das plantas reduzindo a área foliar, diminuindo a fotossíntese e interferindo em vários outros processos.

Iglesias et al. (2012) ressaltam que os impactos das mudanças climáticas na produção agrícola na Europa, são rigorosamente associados à demanda e à disponibilidade de fontes de água. Dentre as principais consequências das mudanças climáticas no uso de água para a agricultura europeia, os autores destacam: um incremento na demanda por água em todas as regiões em virtude da elevada evapotranspiração das culturas em resposta ao aumento da temperatura além do aumento da escassez de água ocasionando aumento no requerimento de irrigação.

Para as demais regiões do planeta com projeções semelhantes às feitas para a Europa, esta informação é preocupante tendo em vista que o setor agropecuário foi apontado como o maior consumidor de água em todo o planeta. Enquanto o uso doméstico responde por aproximadamente 10% a produção de alimentos, através da irrigação, drena 70% da água doce existente (o restante é consumido na indústria) (Somerville & Briscoe, 2001).

Resultados de diferentes simulações mostram que o efeito das mudanças climáticas na produção agrícola varia de acordo

com o cenário de emissão de gases de efeito estufa, do período analisado, do clima atual e das práticas de manejo adotadas de região para região (Tao & Zhang, 2011). Por isto, a importância em estudos deste contexto no âmbito regional para auxiliar agricultores e tomadores de decisões quanto às medidas de adaptação e mitigação, para que a produção agrícola seja afetada de forma positiva suprindo, desta forma, a maior demanda e o aumento no preço dos alimentos previstos para o futuro próximo (Calzadilla et al., 2013).

Assim, diante do exposto, este estudo objetiva analisar o desempenho agrônômico das 1ª e 2ª safras do milho cultivado no Centro-Oeste do Brasil, em diferentes cenários climáticos.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas as médias climatológicas (1981 a 2010) mensais de temperatura mínima e máxima do ar e da precipitação na escala decenal de estações meteorológicas localizadas nas principais mesorregiões produtoras de milho nos estados do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás (Figura 1) pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os parâmetros seguintes referentes ao desempenho agrônômico durante todo o ciclo do milho foram considerados na análise: produtividade ($t\ ha^{-1}$), duração do ciclo (dias), índice de colheita ajustado (%), requerimento de irrigação líquida (mm) e a eficiência no uso da água na produtividade por água evapotranspirada ($kg\ m^{-3}$). As simulações dessas variáveis foram realizadas utilizando-se o software AquaCrop 4.0 tendo, como dados de entrada, os parâmetros climáticos, características do solo e da cultura e informações sobre o manejo do solo, sendo os mais influentes nos parâmetros referentes ao desempenho agrônômico, descritos a seguir:

A precipitação efetiva foi determinada pelo método do USDA Soil Conservation Service (USDA-SCS) enquanto a

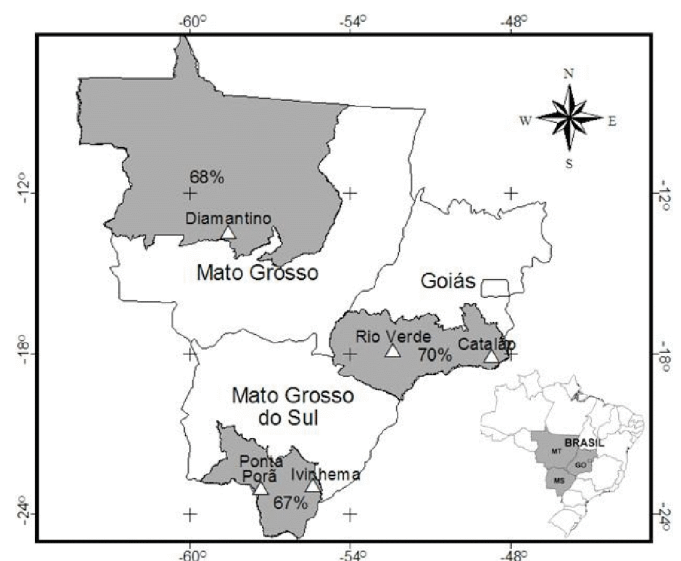


Figura 1. Localização geográfica das estações meteorológicas utilizadas no estudo nas mesorregiões (áreas hachuradas) do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás que, em média, contribuíram de 2003 a 2011 com mais de 60% da produção de milho em seus respectivos estados (IBGE, 2013)

evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada aplicando-se os dados de temperatura do ar na metodologia proposta Penman-Monteith (Padrão FAO-1998).

As simulações consideraram as projeções climáticas feitas pelo IPCC (sigla em inglês para Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática) baseadas nos valores do percentil 25 e 75% da distribuição do 'ensemble' entre os modelos utilizados para gerar o cenário RCP4.5, a curto prazo (2016-2035) e a médio prazo (2046-2065), além do clima atual (1981-2010) utilizado como referência. Os desvios de temperatura do ar e precipitação para os estados do Centro-Oeste do Brasil são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2, baseados nos valores do percentil 25 e 75% do cenário RCP4.5.

O valor de CO₂ utilizado como referência (378,8 ppm) refere-se à concentração média medida no ano 2005, no Observatório de Mauna Loa, no Havaí. Para os cenários futuros a curto e médio prazos, foram consideradas as projeções do cenário RCP4.5 feitas para os anos 2025 (425,8 ppm) e 2055 (499,55 ppm), como sendo representativas dos referidos períodos, respectivamente.

As simulações foram realizadas considerando-se duas datas de semeadura: 10 de outubro e 10 de fevereiro (Sans & Guimarães, 2010), como sendo representativas das 1^a e 2^a safras, respectivamente. Consideraram-se a densidade das plantas de 75 mil plantas ha⁻¹, o índice de colheita de referência (IC_o) de 42% (Demétrio et al., 2008) e as temperaturas basais inferior e superior de 10 e 30 °C, respectivamente. Para o cálculo dos graus-dias acumulado (GDA) foi utilizado o método proposto por McMaster & Wilhelm (1997) em que as temperaturas mínima e máxima do ar são ajustadas antes do cálculo da temperatura média desde que elas estejam abaixo ou acima das temperaturas basais inferior e superior, respectivamente. O acúmulo térmico necessário para a cultura atingir determinadas fases fenológicas a partir da semeadura, foi o seguinte: 128 GDA (emergência), 1141 GDA (floração) e 1937 GDA (maturação).

O índice de colheita ajustado (IC_{aj}) foi utilizado para avaliar o impacto do déficit hídrico após a fase de florescimento da cultura associando o IC_o com a taxa de biomassa reduzida durante a fase reprodutiva.

Na eventualidade de requerimento de irrigação líquida estipulou-se irrigar quando a água facilmente disponível na zona radicular estiver a 50% de sua capacidade e aplicar uma lâmina de água variável o suficiente para atingir 20% da capacidade de campo do solo; nas simulações desconsiderou-se a existência de estresse por salinidade e/ou fertilidade do solo.

Foram consideradas características dos solos agrícolas predominantes em Catalão e Diamantino (Latosolo Vermelho Amarelo) e Rio Verde, Ponta Porã e Ivinhema (Latosolo

Tabela 2. Desvios semestrais de precipitação (%) baseados nos percentis 25 e 75% projetados para os estados do Centro-Oeste do Brasil, pelo cenário RCP4.5 do IPCC para os períodos 2016-2035 e 2046-2065

Estados do Centro-Oeste	Período	out-mar		abr-set	
		25	75	25	75
(%)					
Goiás	2016-2035	-5	+5	-15	+15
Mato Grosso		-5	+5	-5	+5
Mato Grosso do Sul		-5	+5	-5	+15
Goiás	2046-2065	-5	+5	-15	+15
Mato Grosso		-5	+5	-15	+5
Mato Grosso do Sul		-5	+15	-5	+15

Fonte: Adaptado de IPCC (2013)

Vermelho). Fazendo uma referência ao 'plantio direto', levou-se em conta que o solo possuía uma cobertura de 85% de matéria orgânica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fica perceptível a redução na duração do ciclo da 1^a safra do milho no Centro-Oeste, em todos os cenários climáticos analisados (Tabela 3). Isto se deve, pois, à duração do ciclo baseada no conceito dos graus-dia acumulado, leva em conta apenas os dados de temperatura do ar. Assim, de vez que as projeções indicam elevação da temperatura para a região, mais cedo a cultura vai atingir seu requerimento de energia para completar seu ciclo. Essas reduções são de dois a oito dias em curto prazo (2016-2035) e, predominantemente, de seis a 11 dias em médio prazo (2046-2065).

Quanto à produtividade e à eficiência no uso da água na produtividade por água evapotranspirada (EUA) as estimativas para os cenários futuros foram, predominantemente, de aumento no Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (entre 0.037 a 0.286 t ha⁻¹) situação contrária à observada para o Sul de Goiás, salvo a EUA em curto prazo baseado no percentil 75%, além dos desvios mais expressivos quanto à produtividade com reduções entre 0.115 a 0.496 t ha⁻¹.

No que tange à produtividade quando relacionada à duração do ciclo da cultura, há resultados contraditórios. Siqueira et al. (1994) encontraram, trabalhando com projeções médias resultantes de três modelos de circulação atmosférica para 13 locais distribuídos pelo Brasil, em decorrência da elevação da temperatura, diminuição no ciclo fenológico (15%) e na produtividade de milho (em média de 20%) no Centro-Sul do país. Considerando os efeitos fisiológicos do CO₂ (de 330 ppm para 550 ppm), as reduções projetadas na produtividade são menores quando comparadas com os resultados oriundos apenas de cenários climáticos. Mais recentemente, Siqueira et

Tabela 1. Desvios trimestrais de temperatura média do ar (°C) baseados nos percentis 25 e 75% projetados para os estados do Centro-Oeste do Brasil, pelo cenário RCP4.5 do IPCC para os períodos 2016-2035 e 2046-2065

Estados do Centro-Oeste	Período	dez-fev		mar-mai		jun-ago		set-nov	
		25	75	25	75	25	75	25	75
(%)									
Mato Grosso e Goiás	2016-2035	0,7	1,2	0,7	1,2	0,7	1,2	0,7	1,2
Mato Grosso do Sul		0,5	1,0	0,5	0,7	0,7	1,2	0,5	1,0
Mato Grosso e Goiás	2046-2065	1,2	1,7	1,2	1,7	1,2	2,5	1,7	2,5
Mato Grosso do Sul		1,0	1,7	1,2	1,7	1,0	2,0	1,0	2,0

Fonte: Adaptado de IPCC (2013)

Tabela 3. Duração do ciclo após a germinação, produtividade, eficiência no uso da água (EUA), irrigação líquida requerida e índice de colheita (IC) ajustado, estimados para o clima atual (referência) e seus respectivos desvios¹ em diferentes cenários climáticos futuros para o milho semeado em 10 de outubro nos municípios utilizados neste estudo

Semeadura: 10/outubro	Clima atual	2016-2035		2046-2065	
		25	75	25	75
CO ₂ (ppm)	378,8	425,8	425,8	499,55	499,55
Catalão - GO					
Duração do ciclo (dias)	126	-6	-8	-9	-11
Produtividade (t ha ⁻¹)	12.076	-0.236	-0.496	-0.212	-0.334
EUA (kg m ⁻³)	2,85	0,08	-0,03	0,08	0,01
Irrigação líquida (mm)	0	0	0	0	0
IC ajustado (%)	42	42	42	42	42
Rio Verde - GO					
Duração do ciclo (dias)	126	-5	-7	-8	-11
Produtividade (t ha ⁻¹)	12.056	-0.192	-0.408	-0.115	-0.378
EUA (kg m ⁻³)	2.70	0,05	-0,02	0,09	0,01
Irrigação líquida (mm)	0	0	0	0	0
IC ajustado (%)	42	42	42	42	42
Ponta Porã - MS					
Duração do ciclo (dias)	124	-3	-4	-5	-8
Produtividade (t ha ⁻¹)	11.696	0.036	-0.024	0.266	0.019
EUA (kg m ⁻³)	2,74	0,03	0,02	0,11	0,03
Irrigação líquida (mm)	0	0	0	0	0
IC ajustado (%)	42	42	42	42	42
Ivinhema - MS					
Duração do ciclo (dias)	118	-3	-5	-6	-8
Produtividade (t ha ⁻¹)	11.180	0.054	-0.133	0.135	0.059
EUA (kg m ⁻³)	2,57	0,04	-0,02	0,08	0,02
Irrigação líquida (mm)	0	0	0	0	0
IC ajustado (%)	42	42	42	42	42
Diamantino - MT					
Duração do ciclo (dias)	112	-2	-3	-4	-6
Produtividade (t ha ⁻¹)	10.693	0.179	0.037	0.286	0.090
EUA (kg m ⁻³)	2,07	0,06	0,03	0,12	0,07
Irrigação líquida (mm)	0	0	0	0	0
IC ajustado (%)	42	42	42	42	42

¹Os valores do IC ajustado apresentados nos cenários climáticos futuros não se referem a desvios em relação ao estimado para o clima atual

al. (1997) apresentaram, utilizando um modelo fornecido pela NASA, projeções na produção de grãos de milho em função do aumento na concentração de CO₂. Os decréscimos ao longo do período analisado (1990-2060) foram mais expressivos na região Centro-Sul, principalmente após 2030. Minuzzi (2013) encontrou um coeficiente de determinação (r²) de 0,89, estatisticamente significativo a nível de 0,01, na correlação entre a duração do ciclo com a biomassa e/ou produtividade do milho para o Centro Sul do Brasil, ou seja, uma redução no ciclo da cultura implicaria no decréscimo da produtividade.

Indo de encontro aos resultados encontrados neste estudo para o Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, Maracchi et al. (2004) esperam pequenos aumentos na produtividade agrícola da Europa. Giorgi & Lionello (2008) também seguem o mesmo raciocínio para o Norte da Europa e regiões dos Alpes, porém afirmam que o aumento inicial na produtividade agrícola (em níveis moderados de aquecimento) tende a ser suprido por inundações mais frequentes e aumento da instabilidade do solo.

Brown (2008) destaca que, embora as elevadas concentrações de CO₂ que contribuem para a elevação da temperatura do ar possam aumentar a produtividade das

culturas o efeito prejudicial do aumento deste elemento climático na produtividade substitui o efeito de fertilização de CO₂ para as principais culturas; no que tange ao milho, quando as temperaturas são muito elevadas os estigmas secam rapidamente incapacitando de desempenhar sua função no processo de polinização.

Islam et al. (2012) realizaram simulações em quatro diferentes cenários para o milho cultivado no estado do Colorado (Estados Unidos), e mostraram uma diminuição na produtividade devido ao aumento da temperatura e do CO₂. Este comportamento da produtividade, com irrigação, variou de 11,3 a 14% e 17,1 a 21% para os anos 2020 e 2050, respectivamente, embora apenas o CO₂ tenha aumentado a produtividade em torno de 3,5 a 12,8%. A redução na produtividade foi linearmente relacionada à diminuição do ciclo fenológico do milho, resultante do aumento da temperatura. A tolerância de cultivares de ciclo mais longo a maiores temperatura, pode ser uma das prováveis medidas de adaptação que os pesquisadores sugerem diante das mudanças climáticas.

Percebe-se que o efeito do aumento da concentração de CO₂ na atmosfera tem sido intensamente estudado pelos especialistas em fisiologia vegetal; seu funcionamento é bem conhecido no que diz respeito à atividade fotossintética e à sua ação no crescimento das plantas. Projeta-se que a fotossíntese em plantas C3 responda mais fortemente ao enriquecimento de CO₂ do que em plantas C4. Bergonci & Bergamaschi (2002) destacam que plantas C4 apresentam ponto de compensação de CO₂ entre 0 e 5 μmol, que não é afetado pela concentração de CO₂, diferentemente das plantas C3 cujo ponto de compensação varia de 40 a 50 μmol. Considerando os atuais níveis de CO₂ na atmosfera, as plantas se encontram saturadas, ou seja, eventuais elevações na concentração de CO₂, não devem favorecer as plantas com metabolismo C4, como é o caso do milho.

Liu & Tao (2013) atestam como uma planta C3 responde de forma mais expressiva à variação de CO₂. Os pesquisadores encontraram que há maior probabilidade de diminuição (aumento) nas mudanças na produtividade e eficiência do uso de água do trigo cultivado na China, sobre cenários com temperaturas maiores sem (com) consideração dos efeitos de fertilização do CO₂.

Em suma, as projeções de produtividade e EUA para o Centro-Oeste não estão rigorosamente associadas entre si, com a duração do ciclo fenológico ou com as condições climáticas previstas, ou seja, não há qualquer unanimidade quanto a um parâmetro influente nas duas referidas características da cultura.

Apesar das projeções do IPCC para o Centro-Oeste do país baseadas no percentil 25% sugerirem aumento do déficit hídrico no solo (aumento da temperatura e diminuição das chuvas), este comportamento não será suficiente para a primeira safra do milho requerer (VER) irrigação, ou seja, na confirmação das projeções do IPCC o déficit hídrico não deve ser uma preocupação para o cultivo do milho safra na região (Tabela 3).

Os resultados da duração do ciclo do milho safrinha projetados para os cenários futuros em todos os municípios

analisados, ratificam sua relação com a temperatura do ar sendo que, quanto maior a duração do ciclo nas condições atuais maior também a redução projetada para o futuro. Recorrendo às situações extremas como exemplo, em Ponta Porã e Diamantino onde o ciclo do milho dura atualmente 167 e 119 dias em médio prazo, projeta-se que o ciclo reduzirá, respectivamente, entre 20 e 29 dias e 5 a 7 dias, significando que entre 2046-2065 o ciclo do milho cultivado nas condições climáticas de Ponta Porã terá praticamente a mesma duração que a observada atualmente no sul de Goiás e na região de Ivinhema (Tabela 4).

Os desvios projetados quanto à produtividade e à EUA para o milho safrinha sugerem uma relação com a duração do ciclo. Em um contexto geral os resultados sugerem que a produtividade e a EUA tendem, respectivamente, a diminuir e aumentar diante dos cenários climáticos futuros desde que a redução na duração do ciclo não seja pequena, como o previsto para Diamantino. O município do Mato Grosso foi o único a apresentar tendência de aumento (diminuição) na produtividade (EUA), especificamente nas projeções futuras com base no percentil 25%.

Ressalta-se que as projeções obtidas quanto à duração do ciclo, produtividade e EUA desconsideraram situação de estresse hídrico pelo milho, algo que ocorre atualmente e tende

a persistir no futuro para a safrinha, caso não haja irrigação, conforme comprovado nos valores do índice de colheita (IC) ajustados abaixo de 42% obtidos para o Mato Grosso e Goiás. Mesmo com a redução prevista quanto ao requerimento de irrigação líquida, o IC ajustado abaixo de 42% ainda persistirá nos dois estados brasileiros indicando a persistência de estresse hídrico, caso não haja a aplicação das lâminas de irrigação (Tabela 4).

Este comportamento difere parcialmente de alguns estudos como de Todisco & Vergi (2008) os quais sinalizam que em alguns locais da Itália o aumento na tendência do requerimento de água pelo milho é previsto apenas quando ocorrem, simultaneamente, tendência positiva da evapotranspiração e tendência negativa da chuva conclusões essas semelhantes às obtidas por Savé et al. (2012) para a bacia hidrográfica de Fluvia, a nordeste da Espanha. Baseado nos cenários A2 e B1 projetados pelo IPCC para a região (redução da precipitação e aumento da temperatura), o requerimento de água tende a aumentar entre 40 a 250% dependendo da cultura analisada no estudo (milho, alfafe e maçã) devido às variações que deverão ocorrer na evapotranspiração e na fenologia das culturas.

A diminuição do IC ajustado é um reflexo do estresse hídrico na redução no número de grãos. Como o estresse hídrico reduz a abertura dos estômatos, diminui a quantidade

Tabela 4. Duração do ciclo após a germinação, produtividade, eficiência no uso da água (EUA), irrigação líquida requerida e índice de colheita (IC) ajustados, estimados para o clima atual (referência) e seus respectivos desvios¹ em diferentes cenários climáticos futuros para o milho semeado em 10 de fevereiro nos municípios utilizados neste estudo. Entre parênteses constam os desvios de produtividade nas situações em que há indicação de irrigação mas sem a aplicação da referida lâmina de água

Semeadura: 10/fevereiro	Clima atual	2016-2035		2046-2065	
		25	75	25	75
(%)					
CO ₂ (ppm)	378,8	425,8	425,8	499,55	499,55
Catalão - GO					
Duração do ciclo (dias)	142	-9	-14	-14	-20
Produtividade (t ha ⁻¹)	13.853	(-3.856) -0.549	(-3.643) -1.069	(-3.771) -0.724	(3.193) -1.416
EUA (kg m ⁻³)	2,80	0,14	0,08	0,23	0,20
Irrigação líquida (mm)	240,7	-38,9	-61,2	-50,8	-91,1
IC ajustado (%)	38,9	39,8	40,4	40,1	41
Rio Verde - GO					
Duração do ciclo (dias)	140	-7	-11	-12	-16
Produtividade (t ha ⁻¹)	13.625	(-3.243) -0.370	(-3.119) -0.802	(-3.146) -0.492	(-2.622) -0.937
EUA (kg m ⁻³)	2,61	0,10	0,06	0,20	0,18
Irrigação líquida (mm)	221,3	-28	-47	-40,5	-75,2
IC ajustado (%)	39,7	40,2	40,7	40,4	41,1
Ponta Porã - MS					
Duração do ciclo (dias)	167	-12	-19	-20	-29
Produtividade (t ha ⁻¹)	16.668	(-0.845) -0.845	(-1.638) -1.638	(-1.305) -1.305	-2.294
EUA (kg m ⁻³)	2,99	0,08	0,05	0,22	0,20
Irrigação líquida (mm)	60,5	-24,2	-50,9	-32,4	-60,5
IC ajustado (%)	42	42	42	42	42
Ivinhema - MS					
Duração do ciclo (dias)	140	-6	-10	-17	-16
Produtividade (t ha ⁻¹)	13.827	(-0.235) -0.235	(-0.704) -0.704	(-0.410) -0.404	-0.950
EUA (kg m ⁻³)	2,91	0,10	0,05	0,20	0,20
Irrigação líquida (mm)	43,3	-6,9	-35	3,9	-43,3
IC ajustado (%)	42	42	42	42	42
Diamantino - MT					
Duração do ciclo (dias)	119	-3	-5	-5	-7
Produtividade (t ha ⁻¹)	11.512	(-0.435) 0.024	(-0.439) -0.183	(-0.412) 0.130	(-0.187) -0.085
EUA (kg m ⁻³)	2,43	0,02	-0,04	0,06	0,03
Irrigação líquida (mm)	90,1	-1,1	-14,3	1,6	-26,2
IC ajustado (%)	41,8	41,8	41,9	41,7	42

¹Os valores do IC ajustados, apresentados nos cenários climáticos futuros não se referem a desvios em relação ao estimado para o clima atual

de assimilados disponíveis para o desenvolvimento de grãos. Como isto ocorre geralmente na fase de granação e maturação, quando a maioria dos assimilados se destina à formação dos grãos deduz-se que o estresse hídrico no milho nos referidos cenários climáticos que apresentam redução no IC ajustado, ocorra durante as citadas fases fenológicas da cultura.

A grande região produtora do Mato Grosso do Sul é a única do Centro-Oeste que, mesmo havendo uma pequena necessidade de irrigação atualmente (entre 43,3 e 60,5 mm) e diminuindo no futuro, a ausência desta atividade agrícola não surtirá efeito na produtividade devido ao estresse hídrico. Apesar disto, estudos como o de Chen et al. (2012), realizado na Província de Shandong (China), mostraram que o impacto das condições climáticas na produtividade do milho tendeu a aumentar desde meados da década de 1950 e a precipitação foi a variável climática mais influente nesta tendência do que a temperatura do ar.

No Mato Grosso do Sul, como os municípios representativos estão ao sul do Estado, são influenciados mais frequentemente pelas frentes frias e sistemas convectivos oriundos do sul do Paraguai e do norte da Argentina resultando em maiores volumes de chuva e ratificando os menores requerimentos de irrigação líquida em todos os cenários climáticos.

Finger et al. (2011) avaliaram a irrigação como estratégia de adaptação diante dos possíveis impactos das mudanças climáticas na produtividade do milho na região do Planalto Suíço levando em conta diferentes cenários climáticos (aumentos na temperatura do ar, na precipitação e na concentração de CO₂ para 2030 e 2050) e de preços de mercado. Mesmo que a adoção de irrigação do milho leve a produtividades maiores e menos variáveis no futuro, os benefícios econômicos da adoção desta atividade agrícola devem ser pequenos; desta forma, não se espera mudanças no cultivo irrigado do milho no futuro em relação ao adotado atualmente porém os autores atentam que em situações de mudanças climáticas extremas perdas na produtividade do cereal devem ocorrer sendo a irrigação uma provável medida a ser adotada para minimizar esses danos.

Moradi et al. (2013) mostram que o ciclo do milho cultivado no Irã, diminuiu na maioria dos cenários climáticos analisados da mesma maneira como a produtividade (11 a 38%) considerando data de semeadura fixa e mudanças de -61 a 48% em resposta a diferentes requerimentos de irrigação.

Como nem sempre o produtor dispõe de infraestrutura para adoção de irrigação, Bergamaschi & Matzenauer (2009), destacam que se forem implantadas práticas para eliminar o déficit hídrico durante o curto período crítico do milho, sem outras limitações importantes, o produtor pode assegurar rendimentos elevados a nível de lavoura.

Apesar dos avanços tecnológicos, um desafio para simulações futuras mais precisas é a inclusão de eventos extremos como ondas de calor/frio e chuvas intensas nos modelos que, por serem geralmente de curta duração, acabam sendo ocultados quando se utilizam médias mensais. A magnitude dos efeitos na agricultura desses eventos extremos depende do momento de sua ocorrência em relação à fase fenológica, as quais variam entre as espécies.

Como uma medida de mitigação frente a alguns resultados apresentados neste estudo, Wang et al. (2012) mostraram que

o melhoramento genético de culturas e opções de manejo não somente compensam alguns impactos negativos da redução do ciclo fenológico na produtividade, devido ao aumento da temperatura, mas contribuíram significativamente para aumentar a produtividade no cultivo trigo-milho irrigado, no Norte da China.

CONCLUSÕES

1. Diante dos cenários climáticos em curto e médio prazos projetados pelo cenário RCP4.5 do IPCC, a duração do ciclo da primeira safra do milho deverá diminuir e a cultura não sofrerá com estresse hídrico no Centro-Oeste do Brasil.

2. A produtividade e o requerimento de irrigação líquida do milho safrinha tendem a diminuir, quanto maior for a redução na duração do ciclo da cultura.

LITERATURA CITADA

- Bergamaschi, H.; Matzenauer, R. Milho. In: Monteiro, J. E. B. A. Agrometeorologia dos cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. Cap.14, p.239-260.
- Bergonci, J. I.; Bergamaschi, H. Ecofisiologia do milho. In: Congresso Nacional do milho e do sorgo, 24, 2002, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABMS/EMBRAPA/EPAGRI, 2002. CD-Rom
- Brown, L. R. Plan B 3.0. Mobilizing to save civilization. New York: W.W. Norton & Company, 2008. 398p.
- Calzadilla, A.; Rehdanz, K.; Betts, R.; Falloon, P.; Wiltshire, A.; Tol, R.S.J. Climate change impacts on global agriculture. *Climatic Change*, v.120, p.357-374, 2013. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-013-0822-4>
- Chen, G.; Liu, H.; Zhang, J.; Liu, P.; Dong, S. Factors affecting summer maize yield under climate change in Shandong Province in the Huanghuaihai Region of China. *International Journal of Biometeorology*, v.56, p.621-629, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-011-0460-3>
- Demétrio, C. S.; Fornasieri Filho, D.; Cazeta, J. O.; Cazeta, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.1691-1697, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008001200008>
- Finger, R.; Hediger, W.; Schmid, S. Irrigation as adaptation strategy to climate change - a biophysical and economic appraisal for Swiss maize production. *Climatic Change*, v.105, p.509-528, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-010-9931-5>
- Giorgi, F.; Lionello, P. Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, v.63, p.90-104, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>
- Hamada, E.; Gonçalves, R. R. V.; Orsini, J. A. M.; Ghini, R. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: Ghini, R.; Hamada, E. (ed.) Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p.25-73.
- Iglesias, A.; Quiroga, S.; Moneo, M.; Garrote, L. From climate changes impacts to the development of adaptation strategies: Challenges for agriculture in Europa. *Climatic Change*, v.112, p.143-168, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-011-0344-x>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados agregados SIDRA. <http://www.sidra.ibge.gov.br> 5 Jun. 2013.

- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Annex I: Atlas of Global and regional climate projections supplementary material RCP4.5, van Oldenborgh, G. J.; Colins, M.; Arblaster, J.; Christensen, J. H.; Marotzke, J.; Power, S. B.; Rummukainen, M.; T. Zhou, T. (ed.). In: *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Stocker, T. F.; D. Qin, G. K.; Plattner, M.; Tignor, S. K.; Allen, J.; Boschung, A.; Nauels, Y.; Xia, V.; Bex and P. M. Midgley (ed.). <http://www.climatechange2013.org> e <http://www.ipcc.ch> 7 Mai 2014
- Islam, A.; Ahuja, L. R.; Garcia, L. A.; Ma, L.; Saseendran, A. S.; Trout, T. J. Modeling the impacts of climate change on irrigated corn production in the Central Great Plains. *Agricultural Water Management*, v.110, p.94-108, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.04.004>
- Liu, Y.; Tao, F. Probabilistic change of wheat productivity and water use in China for Global mean temperature change of 1, 2 and 3 °C. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v.52, p.114-129, 2013. <http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-12-039.1>
- Maracchi, G.; Sirotenko, O.; Bindi, M. Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe. *Climatic Change*, v.70, p.117-135, 2004. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-005-5939-7>
- McMaster, G. S.; Wilhelm, W.W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.87, p.291-300, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923\(97\)00027-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923(97)00027-0)
- Minuzzi, R. B. Cenários climáticos, a demanda de água e características fenológicas do milho no Centro Sul do Brasil. In: Lana, R. de P.; Guimarães, G.; Lima, G. S. *Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável*, Viçosa: UFV, 2013. p.149-177.
- Moradi, R.; Koocheki, A.; Mahallati, M. N.; Mansoori, H. Adaptation strategies for maize cultivation under climate change in Iran: irrigation and planting date management. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v.18, p.265-284, 2013. <http://dx.doi.org/10.1007/s11027-012-9410-6>
- Sans, L. M. A.; Guimarães, D. P. *Cultura do milho: Zoneamento agrícola*. 6.ed (Versão eletrônica). Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. s.n.p
- Savé, R.; Herralde, F.de; Aranda, X.; Pla, E.; Pascual, D.; Funes, I.; Biel, C. Potential changes in irrigation requirements and phenology of maize, apple trees and alfalfa under global change conditions in Fluvia watershed during XXIst century: Results from a modeling approximation to watershed-level water balance. *Agricultural Water Management*, v.114, p.78-87, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.07.006>
- Siqueira, O. J. W. de; Farias, J. R. B.; Sans, L. M. Potential effects of global climate change for Brazilian agriculture and adaptative strategies for wheat, maize and soybean. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.2, p.115-129, 1994.
- Siqueira, O. J. W. de; Steinmetz, S.; Costa, A. A.; Wozniak, M. A. Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e avaliação de reflexos na produção agrícola brasileira, via modelos de simulação. In: *Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 10, 1997, Piracicaba. Anais... Piracicaba: SBA, 1997. p.167-169.
- Somerville, C.; Briscoe, J. Genetic engineering and water. *Science*, v.292, p.2217, 2001. <http://dx.doi.org/10.1126/science.292.5525.2217>
- Tao, F.; Zhang, Z. Impacts of climate change as a function of global mean temperature: maize productivity and water use in China. *Climatic Change*, v.105, p.409-432, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-010-9883-9>
- Todisco, F.; Vergni, L. Climatic changes in Central Italy and their potential effects on corn water consumption. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.148, p.1-11, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.08.014>
- Valverde, M. C.; Marengo, J. Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais do IPCC AR4. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, p.125-145, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862010000100011>
- Várallyay, G. The impact of climate change on soils and on their water management. *Agronomy Research*, v.8, p.385-396, 2010.
- Wang, J.; Wang, E.; Yang, X.; Zhang, F.; Yin, H. Increased yield potential of wheat-maize cropping system in the North China Plain by climate change adaptation. *Climatic Change*, v.113, p.825-840, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-011-0385-1>