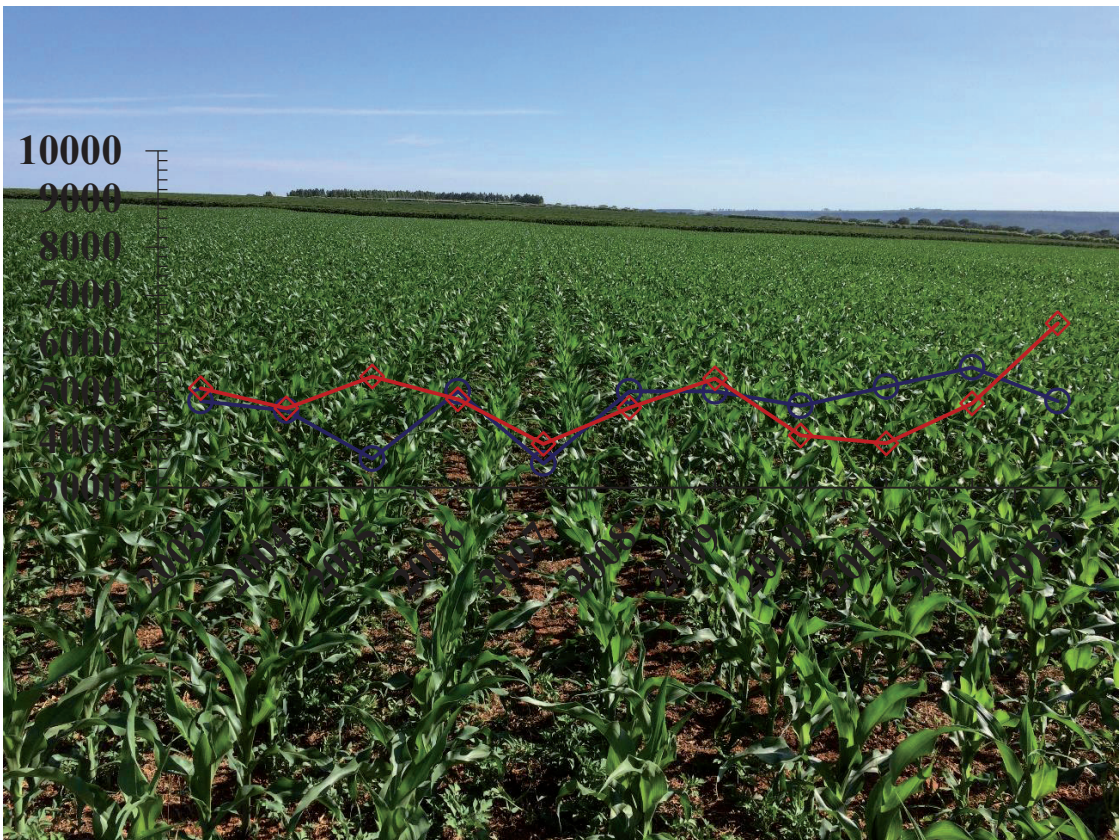


Produtividade Potencial e Variabilidade da Produtividade de Milho, em Regime de Sequeiro, em Rio Verde, Goiás



ISSN 1679-0154
Outubro, 2016

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 140

Produtividade Potencial e Variabilidade da Produtividade de Milho, em Regime de Sequeiro, em Rio Verde, Goiás

Priscila Ponciana Gomes da Silva
Camilo de Lelis Teixeira de Andrade
Bruna Gomes Magalhães
Miguel Marques Gontijo Neto
Bruno Ferreira de Melo

Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2016

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Sidney Netto Parentoni
Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau
Membros: Antonio Claudio da Silva Barros, Cynthia Maria Borges Damasceno, Maria Lúcia Ferreira Simeone, Monica Matoso Campanha, Roberto dos Santos Trindade, Rosângela Lacerda de Castro

Revisão de texto: Antonio Claudio da Silva Barros
Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro
Tratamento de ilustrações: Tânia Mara Assunção Barbosa
Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa
Foto(s) da capa: Miguel Marques Gontijo Neto

1ª edição

Versão Eletrônica (2016)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Milho e Sorgo

Produtividade potencial e variabilidade da produtividade de milho, em regime de sequeiro, em Rio Verde, Goiás / Priscila Ponciana Gomes da Silva ... [et al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2016.
30 p. : il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 140).

1. Modelo de simulação. 2. Semeadura. 3. *Zea mays*. I. Silva, Priscila Ponciana Gomes da. II. Série.

CDD 511.8 (21. ed.)

© Embrapa 2016

Sumário

Resumo	4
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	9
Resultados e Discussão	14
Conclusões	24
Referências	25

Produtividade Potencial e Variabilidade da Produtividade de Milho, em Regime de Sequeiro, em Rio Verde, Goiás

*Priscila Ponciana Gomes da Silva*¹

*Camilo de Lelis Teixeira de Andrade*²

*Bruna Gomes Magalhães*³

*Miguel Marques Gontijo Neto*⁴

*Bruno Ferreira de Melo*⁵

Resumo

A cultura do milho, quando sujeita a instabilidades climáticas, pode sofrer reduções severas no rendimento de grãos. O entendimento e a quantificação dos riscos climáticos envolvidos na produção de milho é, portanto, o primeiro passo para que se estabeleçam estratégias de manejo que possam minimizar esses riscos. Objetivou-se com este trabalho avaliar a variabilidade interanual da produtividade e a diferença entre a produtividade potencial e atingível de milho de sequeiro, para diferentes datas de semeadura, na safra e safrinha, em Rio Verde, Goiás. Empregou-se o modelo CSM-CERES-Maize, previamente parametrizado, juntamente com 33 anos de dados

¹Eng.-Agrôn., Univ. Fed. São João del-Rei, prigomes18@hotmail.com

²PhD, Engenharia de Irrigação, Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 424 Km 65, Sete Lagoas, MG, camilo.andrade@embrapa.br

³Eng. Ambiental, Mestranda em Prod. Vegetal, Univ. Fed. São João del-Rei, UFSJ, bruna@setelagoas.com.br

⁴Eng.-Agrôn., Pesquisador, Dr. Zootecnia e Fitotecnia, Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 424 Km 65, Sete Lagoas, MG, miguel.gontijo@embrapa.br

⁵Graduando, Eng. Ambiental, UNIFEMM, brunoferreiramel@hotmai.com

históricos diários de clima para simular cenários de épocas de semeadura, na safra e safrinha, e para avaliar a capacidade preditiva do modelo no período de 2003 a 2013, considerando o regime de sequeiro e o potencial de produção da cultivar na região. O modelo foi capaz de simular com razoável acurácia as produtividades de milho, tanto na safra, quanto na safrinha, para a maioria dos anos. Na safra, a melhor data de semeadura, indicada pelas simulações, foi 28 de novembro, enquanto na safrinha a data mais adequada foi 9 de janeiro. Grande variação interanual na produtividade simulada foi observada, tanto na safra quanto na safrinha. As simulações indicaram também que, na safra, a produtividade atingível aproximou-se do rendimento potencial da cultivar na maioria dos anos. Em relação à safrinha, observou-se uma diferença de 20% entre as produtividades potencial e atingível, para todos os anos, exceto 2011.

Palavras-chave: *Zea mays* L., DSSAT, data de semeadura.

Maize Yield Potential and Variability for Rainfed Conditions in Rio Verde, Brazil

*Priscila Ponciana Gomes da Silva*¹

*Camilo de Lelis Teixeira de Andrade*²

*Bruna Gomes Magalhães*³

*Miguel Marques Gontijo Neto*⁴

*Bruno Ferreira de Melo*⁵

Abstract

The objective of this study was to evaluate the inter-annual variability and the gap between potential and achievable yield for different sowing dates of maize, at the rainy season and at the off-season, in Rio Verde, Goiás, Brazil. We used the model CSM-CERES-Maize, previously parameterized, to simulate the scenarios, for the 2003-2013 period, considering a rainfed system and a potential production condition in the region. The model was able to simulate with reasonable accuracy maize yield, at both seasons, for most years. At the rainy season, the best sowing date, indicated by the simulations, was November 28, while in the off-season the most appropriate date was January 9. Large inter-annual variation in simulated yield was observed at both seasons. The simulations also indicated that at rainy season the attainable yield approached the potential yield of the cultivar in most years. Regarding the off-season, there was a 20% difference between the simulated potential and attainable yield for all years except 2011.

Keywords: *Zea mays* L., DSSAT, sowing date.

Introdução

O milho é uma das principais culturas cultivadas no Brasil, e a região Centro-Oeste destaca-se como uma das grandes produtoras deste cereal no país. O município de Rio Verde, na região sul do Estado de Goiás, tem um cultivo expressivo de milho, que alcança uma média de produtividade de 9.600 kg ha⁻¹, na safra, e de 4.800 kg ha⁻¹, na safrinha (IBGE, 2016).

Tendo em vista que, em ambas as safras, a produção do milho é predominantemente de sequeiro, é comum a cultura sofrer períodos de estresse por deficiência hídrica intermitente ou no final do ciclo (HEINEMANN et al., 2009) que contribuem para uma produção agrícola altamente variável ao longo dos anos (WOLF et al., 2015). Na agricultura de sequeiro, uma das estratégias de manejo agrícola de grande importância para manter a estabilidade da produção é o plantio na época adequada (EGLI; CORNELIUS, 2009; BALDWIN; COSSAR, 2009; PEREIRA et al., 2013). De acordo com Forsthofer et al. (2006), embora esta prática não tenha efeito no custo de produção, afeta positivamente o rendimento e o lucro do produtor.

Para a tomada de decisão quanto à época de plantio, é importante conhecer os fatores agroclimáticos de riscos, como temperatura, radiação solar, fotoperíodo e precipitação, que tendem a ser minimizados quanto mais eficientes forem o planejamento das atividades relacionadas à produção (SANS; GUIMARÃES, 2006). Ainda segundo esses autores, o sucesso de tal abordagem está fortemente relacionado com a capacidade do agricultor de planejar o período de semeadura.

De acordo com Silva (2010), na escolha da data de semeadura, é fundamental o conhecimento do efeito da deficiência hídrica nos estádios fenológicos da cultura do milho. Para Cruz et al. (2006), a época de semeadura mais adequada é aquela que faz coincidir o período de floração com os dias mais longos do ano e a etapa de enchimento de grãos com o período de temperaturas elevadas e alta disponibilidade de radiação solar.

Segundo Amaral et al. (2014), existem algumas formas de se definir a janela de semeadura para uma determinada região, visando reduzir a possibilidade de perdas de produtividade decorrentes de instabilidades climáticas. A maneira mais tradicional é através da condução de ensaios em campo, com datas de semeaduras escalonadas ao longo do tempo, o que requer um grande esforço de pesquisa em termos de recursos materiais e humanos e com resultados limitados em razão da grande variabilidade climática interanual. O zoneamento de risco climático (ZRC), em uso pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), se baseia na satisfação das necessidades hídricas e térmicas das culturas quando cultivadas em certo município (BRASIL, 2014). Outra alternativa é a utilização de modelos computacionais, baseados em processos, devidamente calibrados e validados, que simulam o crescimento de culturas. Dentre esses destaca-se o *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT), (HOOGENBOOM et al., 2014). O modelo DSSAT possui ferramentas que permitem a realização de ensaios virtuais, em que o plantio pode ser planejado para diferentes datas ao longo de muitos anos. Em estudo realizado por Chisanga et al. (2015), avaliou-se o desempenho do DSSAT para simular o efeito da época de semeadura e do perfil radicular no crescimento e produção de milho, na Zâmbia.

Objetivou-se com este trabalho avaliar a variabilidade inter-anual da produtividade e a diferença entre a produtividade potencial e atingível de milho de sequeiro, para diferentes datas de semeadura, na safra e safrinha, em Rio Verde, Goiás.

Material e Métodos

Empregou-se o modelo CSM-CERES-Maize, versão 4.6.0.040, do sistema DSSAT (HOOGENBOOM et al., 2014), previamente parametrizado e avaliado para a cultivar DKB390PRO (ANDRADE et al., 2016), para simular a produtividade do milho sequeiro na safra e safrinha, para o município de Rio Verde, GO, no período de 2003 a 2013.

No banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) obtiveram-se dados de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação pluvial e número de horas de brilho solar, para o período compreendido entre 1980 e 2013, totalizando 33 anos. A ferramenta *Weatherman* (PICKERING et al., 1994), do sistema DSSAT, foi utilizada para analisar a consistência dos dados, para preencher falhas na temperatura máxima e mínima, na precipitação em períodos curtos (inferiores a 7 dias), e para estimar a radiação solar incidente a partir de dados do número de horas de insolação, usando a equação de Angstrom-Prescott (ANGSTRÖM, 1924; PRESCOTT, 1940). Em virtude da ausência de valores para os coeficientes "a" e "b" para os municípios, padronizaram-se os coeficientes em 0,25 e 0,50, respectivamente, conforme recomendado por Allen et al. (1998).

Em Rio Verde, as temperaturas máximas variam de 27,0 °C, em maio, a 35,0 °C, em setembro; as temperaturas mínimas oscilam

entre 12,1 °C, em julho, e 20,1 °C, em outubro e as temperaturas médias variam de 20,0 °C, em julho, e 26,9 °C, em outubro (Figura 1A). Os valores médios da radiação solar variam de 12,2 MJ m⁻² dia⁻¹, em dezembro, a 23,8 MJ m⁻² dia⁻¹, em outubro (Figura 1B). Na média dos 11 anos empregados na avaliação do modelo, março é o mês que registra o maior volume de chuvas, com uma precipitação média de 277,8 mm. O mês de julho apresenta uma média mínima de precipitação de 6,7 mm (Figura 1C).

Dados de limite superior (capacidade de campo) e inferior (ponto de murcha permanente) de água disponível, porosidade total, pH em água, densidade do solo, soma de bases (SB), capacidade de troca cátions (CTC), capacidade de saturação por bases (V%), saturação por alumínio e outros atributos químicos do solo, para as profundidades 0-0,05 m, 0,05-0,20 m, 0,20-0,40 m, 0,40-0,70 m e 0,70-1,00 m, obtidos na área experimental da FESURV, em Rio Verde, GO, foram preparados no formato de arquivo do DSSAT. Observa-se que na camada 0,4 m do perfil do solo, região em que se concentra o sistema radicular do milho, a soma das bases é de 4,23 cmolc dm⁻³ e a disponibilidade de água acumulada é de 32 mm. O pH varia de 5,1 a 5,7 e a densidade do solo varia de 950 a 1.004 kg m⁻³, sendo o maior valor observado na profundidade 0,10 m e o menor na profundidade 0,40 m.

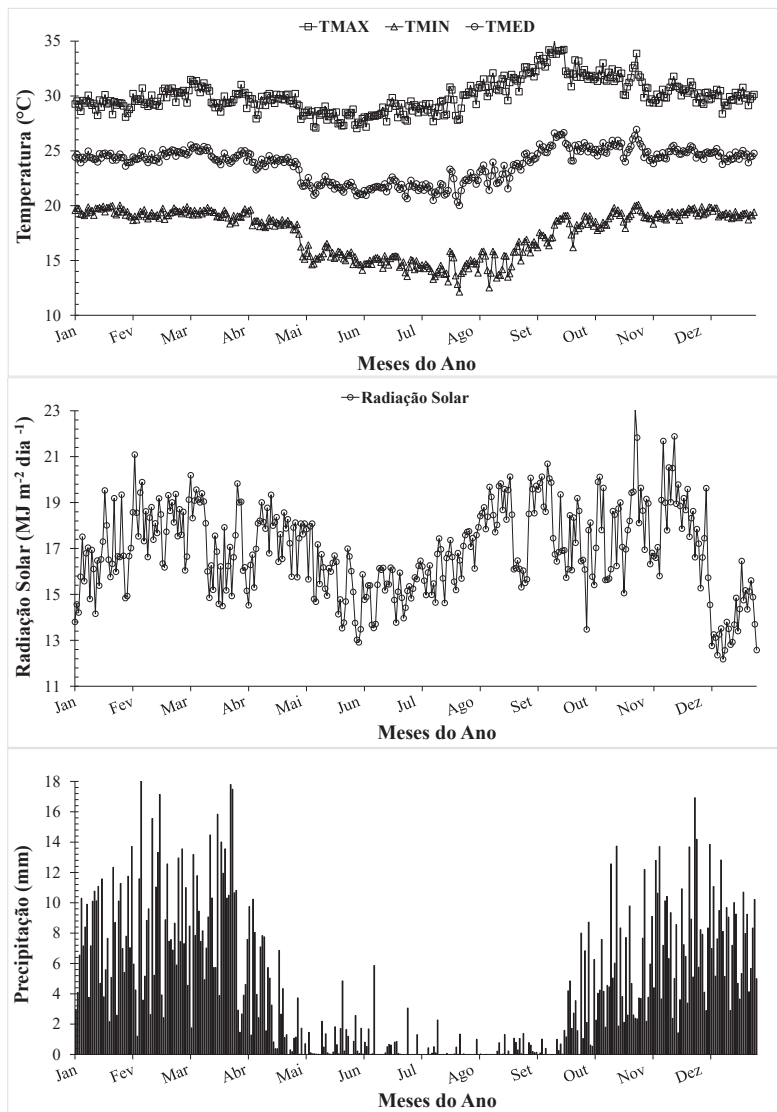


Figura 1. Valores médios diários de temperatura máxima, mínima e média (A), de radiação solar incidente (B) e de precipitação (C), considerando os 11 anos de dados de clima, Rio Verde, GO.

Tabela 1. Características do perfil de solo da área experimental da FESURV em Rio Verde, GO.

Profundidade (m)	Ponto de murcha (m ³ m ⁻³)	Capacidade de campo (m ³ m ⁻³)	Saturação (m ³ m ⁻³)	pH em água	Densidade (kg m ⁻³)
0,10	0,237	0,317	0,40	5,7	1004
0,20	0,223	0,297	0,37	5,6	970
0,40	0,218	0,300	0,37	5,2	950
0,70	0,211	0,289	0,38	5,1	960
1,00	0,213	0,292	0,38	5,3	980
Profundidade (m)	Carbono orgânico (%)	Nitrogênio total (%)	P Mehlich (mg/dm ³)	Ca (cmolc/dm ³)	Mg (cmolc/dm ³)
0,10	1,6	0,13	7,86	2,21	0,32
0,20	1,6	0,13	12,86	0,87	0,07
0,40	1,2	0,11	1,34	0,39	0,01
0,70	0,9	0,10	0,42	0,39	0,01
1,00	0,7	0,09	0,22	0,30	0,00
Profundidade (m)	K (mg/dm ³)	SB (cmolc/dm ³)	CTC (cmolc/dm ³)	V (%)	Sat. Al (%)
0,10	50,09	2,66	6,86	38,75	0,54
0,20	44,84	1,06	5,66	18,24	14,56
0,40	40,82	0,51	4,88	10,39	20,63
0,70	31,44	0,48	3,65	12,88	22,86
1,00	22,54	0,36	2,43	14,72	1,44

No plantio na safrinha, assumiu-se uma população de 50 mil plantas ha⁻¹. A adubação de plantio consistiu de 32 kg ha⁻¹ de N, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de MAP (mono-amônio-fosfato) e 72 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio. A adubação de cobertura, na dose de 28 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia, foi aplicada aos 20 dias após semeadura (DAS). No plantio na safra, assumiu-se uma população de 68 mil plantas ha⁻¹. A adubação de plantio consistiu de 40 kg ha⁻¹ de N, 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de MAP e 72 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto

de potássio. A adubação de cobertura, na dose de 28 kg ha^{-1} de N, na forma de ureia, foi aplicada aos 20 dias após semeadura (DAS) e 80 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de cloreto de potássio, respectivamente. Em cobertura considerou-se 150 kg ha^{-1} de N, na forma de ureia, aplicados aos 25 DAS e 150 kg ha^{-1} de N, na forma de ureia, e 70 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de cloreto de potássio, aplicados aos 40 dias após semeadura (DAS).

Na safra considerou-se que a cultura anterior era braquiária, que deixa um resíduo vegetal de 2.000 kg ha^{-1} , com 1% de nitrogênio. Na safrinha assumiu-se que a cultura anterior era soja, que deixa um resíduo vegetal de 3.500 kg ha^{-1} com 25% de nitrogênio. Em ambos os plantios, a semeadura foi realizada a 0,05 m de profundidade e as simulações foram configuradas para iniciarem um mês antes das datas de semeadura para que o modelo realizasse o balanço de água no solo e estimasse as condições iniciais de umidade no perfil, para o dia do plantio, de forma mais realista.

Utilizou-se a ferramenta de análise experimental do modelo para simular a produtividade da cultura do milho de sequeiro na safra e safrinha. Considerou-se nas simulações que a data de semeadura da safra e safrinha ocorreram conforme o Zoneamento de Risco Climático do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2014). A produtividade da cultura do milho simulada pelo programa foi comparada com a produtividade estimada pelo IBGE para os anos de 2003 a 2013.

A última etapa do trabalho consistiu na simulação da produtividade potencial para a safra e safrinha do milho, para o período de 2003 a 2013. Na simulação da produtividade potencial foram desconsiderados os balanços de água e

nitrogênio no solo, ou seja, a cultura pôde expressar seu potencial de produção em função apenas das condições de temperatura e radiação solar incidente.

Resultados e Discussão

Comparando-se a produtividade da cultura do milho, na safra, estimada pelo IBGE, com a simulada pelo DSSAT, para o mesmo período, observa-se que, para os anos de 2003, 2006, 2007, 2008 e 2009, os valores simulados estão 15,4%, 14,1%, 17,9%, 4,8% e 7,6%, acima da média reportada pelo IBGE, respectivamente (Figura 2A). Em cinco dos 11 anos (2004, 2010, 2011, 2012 e 2013) o modelo subestimou a produtividade em 20,8%, 6,3%, 4,3%, 7,5% e 29,0%, respectivamente. As produtividades médias simuladas ficaram próximas das estimativas do IBGE nos anos de 2005, 2008, 2010 e 2011. As simulações são muito sensíveis às condições iniciais e de manejo cultural e, se tais condições não são corretamente informadas ao modelo, pode ocorrer ora superestimação ora subestimação da produtividade. Para os anos 2003, 2004, 2006, 2007 e 2013 ocorreram as maiores discrepâncias entre valores simulados pelo modelo e estimados pelo IBGE (Figura 2A). Tais discrepâncias podem ser atribuídas, por exemplo, ao nível de tecnologia empregado pelos produtores, incluindo a cultivar, época de semeadura e adubação. Nos levantamentos realizados pelo IBGE não se sabe ao certo se os produtores realizaram o plantio na época adequada, se semearam a cultivar DKB390PRO e quais práticas de manejo foram adotadas, como espaçamento, densidade de plantas, adubação e o uso da irrigação. Outra razão para as discrepâncias nos valores de produtividade pode estar associada a limitações do modelo, que não está configurado para, automaticamente, responder ao controle ou não de

doenças, pragas e plantas daninhas. Outro fator importante refere-se à sensibilidade do modelo às condições climáticas, principalmente em relação à precipitação. Caso ocorra déficit hídrico o modelo penaliza severamente o rendimento final da cultura do milho (FREITAS et al., 2005; SILVA et al., 2013). As produtividades médias simuladas e estimadas pelo IBGE variaram de 5.379 a 7.917 kg ha⁻¹ e de 6.300 kg ha⁻¹ a 9.600 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 2A).

Considerando a safrinha, observa-se que os valores de produtividade média da cultura do milho, simuladas pelo DSSAT, estão acima da média reportada pelo IBGE nos anos 2003, 2005, 2007, 2009 e 2013 (Figura 2B).

Os anos 2005 e 2013 destacaram-se pela superestimação elevada da produtividade simulada, em relação aos demais anos simulados, sendo 32,1% e 25,1%, respectivamente, enquanto que nos anos de 2003, 2007 e 2009 a produtividade foi superestimada em 5,3%, 10,4% e 5,1%, respectivamente. A produtividade do milho na safrinha pode ser influenciada pela cultura antecessora que, no caso, foi a soja. Leguminosas deixam resíduos no solo, que são mineralizados e utilizados como fonte de nitrogênio e, além disso, favorecem o crescimento da planta de milho através da fixação simbiótica do N (SORATTO et al., 2010). É possível que o modelo não tenha sido capaz de capturar corretamente as condições iniciais deixadas pela soja e, assim, tenha superestimado a produtividade do milho. Conforme mencionado anteriormente, não se sabe exatamente as condições iniciais e o manejo adotado pelos produtores, tais como cultivar, espaçamento, população de plantas e adubação. O modelo é sensível à adubação nitrogenada e, como foi configurado para aplicar

na cultura doses elevadas de nitrogênio, é possível que ele tenha superestimado a produtividade do milho. De acordo com Kappes et al. (2009), o milho é uma cultura exigente em fertilizantes nitrogenados, e, em função disso, é altamente responsivo a esse nutriente, apresentando incrementos em várias características que influenciam a produção final.

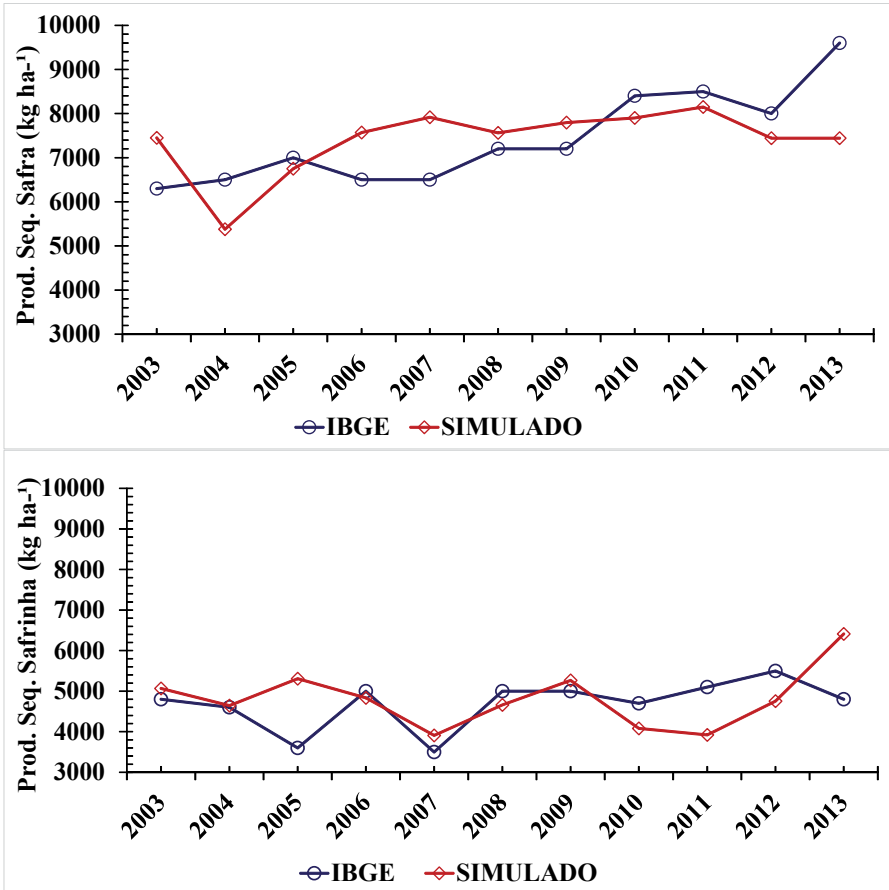


Figura 2. Produtividade média da cultura do milho na safra (A) e na safrinha (B) simulada pelo modelo CSM-CERES-Maize e estimada pelo IBGE, Rio Verde, GO.

Nota-se uma queda acentuada nas produtividades do milho simuladas nos anos (2007, 2010, 2011 e 2012), que estão associadas às instabilidades climáticas que induziram ao estresse hídrico (Figura 2B). As condições climáticas influenciam diretamente as atividades fisiológicas da cultura do milho, interferindo na produção de grãos (CARGNELUTTI FILHO et al., 2009). Os valores estimados pelo IBGE tenderam a se aproximar dos valores simulados nos anos 2004, 2006, 2007, 2008 e 2009 (Figura 2B). Isto pode ser um indício de que os produtores passaram a investir mais em tecnologia de produção, como, por exemplo, utilização de cultivares com maior potencial produtivo, adoção de práticas de conservação de solo e água, entre outras estratégias de manejo cultural. Outra razão seria condições climáticas mais favoráveis durante a safrinha. As produtividades simuladas pelo modelo e estimadas pelo IBGE, durante a safrinha, variaram de 3.923 kg ha⁻¹ a 6.412 kg ha⁻¹ e de 3.500 kg ha⁻¹ a 5.700 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 2B).

De acordo com o ZRC, o período de semeadura do milho na primeira safra para Rio Verde, GO está compreendido entre 24 de outubro e 26 de dezembro. Os resultados da simulação de semeadura, realizada semanalmente dentro do período recomendado pelo ZRC, indicam grande variabilidade interanual da produtividade, em decorrência de instabilidades climáticas, sobretudo no regime de chuvas, que pode causar estresse hídrico (Figura 3A). A maior produtividade mediana simulada, com a maior estabilidade de produção, indicada pela menor amplitude entre valores máximos e mínimos, foi obtida para a semeadura em 28 de novembro, na qual foram apresentadas condições favoráveis de temperatura diurna e noturna, dias ensolarados e precipitação em quantidade e

distribuição adequadas (AMARAL et al., 2014). As menores produtividades medianas foram apresentadas em datas anterior e posterior ao dia 28 de novembro, nos dias 24 e 31 de outubro, 7 e 14 de novembro, 19 e 26 de dezembro, respectivamente, apresentando valores médios de rendimento de 7.268 kg ha⁻¹, 7.447 kg ha⁻¹, 7.625 kg ha⁻¹, 7.632 kg ha⁻¹, 7.964 kg ha⁻¹ e 7.775 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 3A). Estudos realizados por Cruz et al. (2006) indicaram que o atraso na época de semeadura afeta várias características da planta, ocorrendo um decréscimo mais acentuado no número de espigas por planta e no rendimento de grãos. Segundo Forsthofer et al. (2006), o plantio tardio pode ocasionar a formação de grãos mais leves em relação às demais épocas adequadas de semeadura. As maiores amplitudes entre valores máximos e mínimos foram observadas para as datas de plantio de 14 de novembro, 5, 12, e 19 de dezembro, variando de 4.187 kg ha⁻¹ a 11.226 kg ha⁻¹, 3.480 kg ha⁻¹ a 10.020 kg ha⁻¹, 3.913 kg ha⁻¹ a 10.838 kg ha⁻¹ e 3.323 kg ha⁻¹ a 9.836 kg ha⁻¹, respectivamente.

De acordo com o ZRC, o plantio do milho safrinha, em Rio Verde, GO, deve ser realizado entre os dias 2 a 16 de janeiro (Figura 3B). A data que proporcionou a maior produtividade mediana simulada, com a menor variabilidade, foi 2 de janeiro, confirmando observações da literatura de que, o quanto mais cedo for realizada a semeadura na safrinha, melhor o desempenho da cultura (CRUZ et al., 2006). Entretanto, o milho safrinha é plantado após a cultura de verão, geralmente após soja precoce, o que dificulta o planejamento da cultura subsequente. A data de semeadura da safrinha depende da cultura antecessora e de seu ciclo. Sendo assim, o resultado da simulação se presta para ajudar no planejamento da cultura de

verão, visando estabelecer estratégias que facilitem a liberação da área o mais cedo possível (SANS; GUIMARÃES, 2006).

Quando semeado em 9 e 16 de janeiro, verificou-se redução da produtividade, em comparação com a semeadura em 2 de janeiro. Quando semeado com atraso, a produtividade do milho na safrinha pode ser bastante afetada pelo regime de chuvas e por fortes limitações de radiação solar e temperatura na fase final de seu ciclo (SANS; GUIMARÃES, 2006). As semeaduras realizadas em 9 e 16 de janeiro foram as que proporcionaram maior amplitude nos valores da produtividade, em comparação com 2 de janeiro. Na semeadura realizada em 16 de janeiro a produtividade variou de 1.257 kg ha^{-1} a 5.952 kg ha^{-1} , sendo estes os menores valores de produtividade da cultura simulados entre todas as datas. Para a semeadura realizada em 9 de janeiro, a produtividade variou de 2.382 kg ha^{-1} a 7.566 kg ha^{-1} , sendo esta a maior produtividade simulada. Na data de semeadura de 2 de janeiro foi alcançada uma menor amplitude entre os valores máximos e mínimos de produtividade, variando de 2.943 kg ha^{-1} a 7.330 kg ha^{-1} . A maior estabilidade da produção foi obtida para semeadura em 2 de janeiro, proporcionando a maior produtividade mediana de 4.716 kg ha^{-1} . Para as datas de semeadura 9 e 16 de janeiro as medianas foram inferiores, atingindo a 4.559 kg ha^{-1} e 4.433 kg ha^{-1} , respectivamente (Figura 3B).

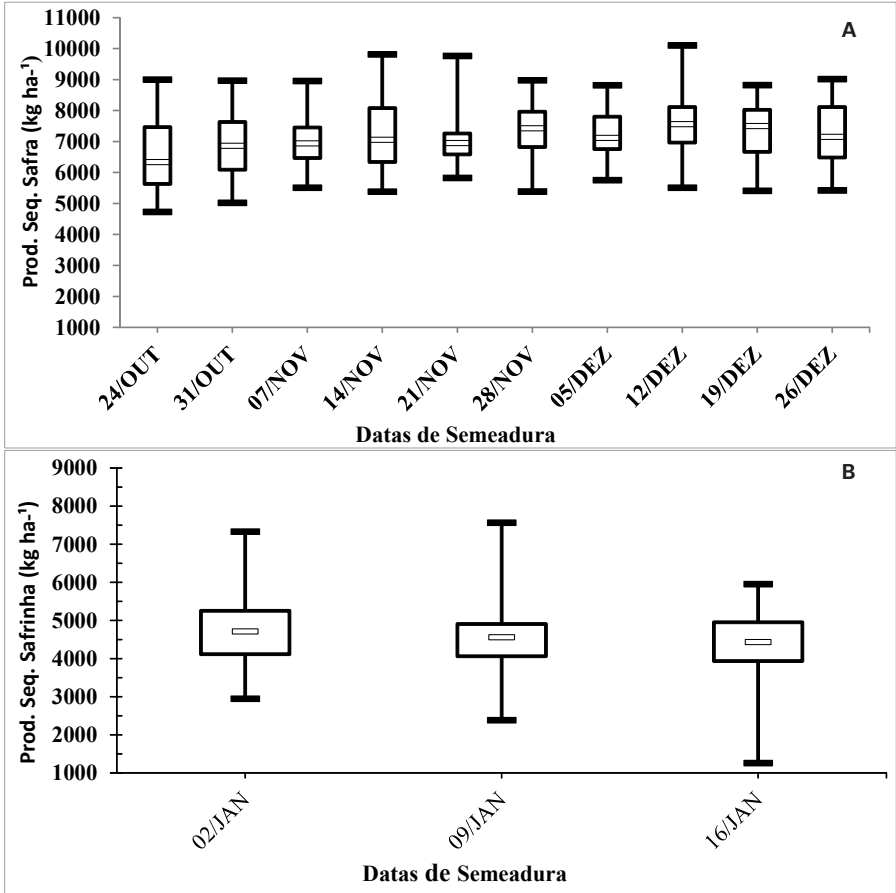


Figura 3. Variação da produtividade de grãos para diferentes datas de semeadura na safrã (A) e na safrinha (B), para as condições edafoclimáticas do município de Rio Verde, GO. Os traços inferior e superior indicam valores mínimos e máximos, respectivamente, a linha central indica a mediana e a base e o topo da caixa indicam os percentis de 25% e 75%, respectivamente.

Nas Figuras 4A e 4B são apresentados valores médios simulados de produtividade potencial e atingível¹ do milho, semeado na safra e safrinha, respectivamente. Na safra, observa-se que nos anos de 2004 e 2005 as produtividades atingíveis foram menores que a produtividade potencial em 34% e 15%, respectivamente. Para os anos de 2006, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013, a produtividade potencial e a produtividade atingível foram próximas, com uma diferença entre elas menor que 11%. Nos anos de 2003 e 2007 a produtividade potencial simulada pelo modelo e a produtividade atingível apresentou uma diferença mínima de 0,02% e 0,26%, respectivamente. (Figura 4A). O fato de a cultura do milho na safra apresentar produtividades atingíveis próximas da produtividade potencial pode ser decorrente das condições climáticas favoráveis em Rio Verde, com chuvas bem distribuídas ao longo do ciclo. Além disso, pode-se atribuir também ao maior investimento em tecnologia empregado pelos produtores, como manejo adequado de pragas, doenças, plantas daninhas e o uso de insumos agrícolas.

¹Produtividade Atingível (PA): produtividade de sequeiro que pode sofrer com as chuvas, tipo de solo e de sua capacidade de água disponível, da evapotranspiração, da declividade do solo e da sensibilidade do genótipo ao déficit hídrico (GILBERT et al., 2011).

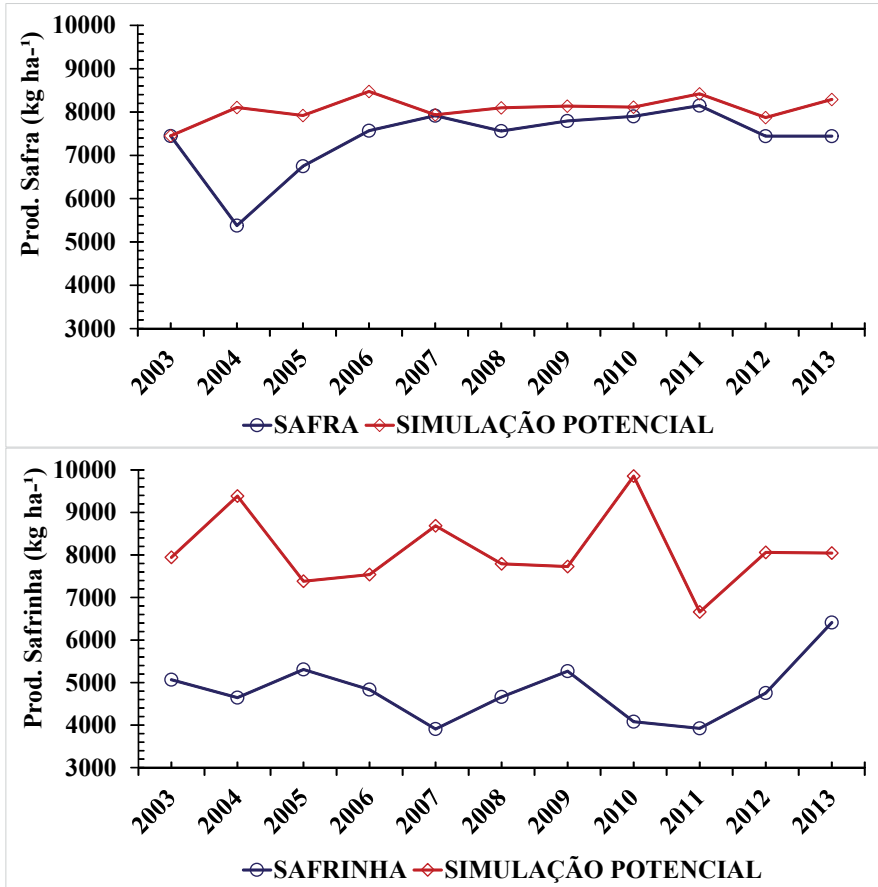


Figura 4. Produtividade potencial e produtividade do milho sequeiro na safra (A) e na safrinha (B) simulada pelo modelo CSM-CERES-Maize, Rio Verde, GO.

Na safrinha, os valores máximos e mínimos de produtividade potencial foram simulados nos anos 2010 e 2011, com rendimento de grãos de 9.854 kg ha⁻¹ e 6.661 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 4B). Em todos os anos da safrinha, exceto em 2011, a produtividade potencial simulada foi superior em 20% a produtividade atingível. As principais causas dessas

grandes diferenças entre a produtividade potencial e a atingível estão relacionadas a fatores climáticos, tendo em vista que a cultura do milho é sensível à variabilidade agroclimática (MALDANER et al., 2014). De acordo com Galon et al. (2010), temperatura, precipitação e radiação solar são os fatores mais impactantes na produtividade de grãos de milho. O déficit hídrico acaba por levar grandes perdas na produtividade desta cultura (KUNZ et al., 2007; CRUZ et al., 2010). De acordo com Wagner et al. (2013), a escassez hídrica é responsável por 50% das perdas nas lavouras de milho. Em estudo realizado por Heinemann et al. (2009), constatou-se que, no Estado de Goiás, a cultura do milho na safra e na safrinha pode sofrer períodos de estresse hídrico intermitente ou terminal, que reduzem o rendimento dos grãos.

Uma forma de amenizar os efeitos do déficit hídrico e diminuir a quebra de produtividade do milho safrinha e da safra é através da utilização de irrigação. Bergamaschi et al. (2004) concluíram em seus trabalhos que o uso de sistemas irrigados aumenta significativamente a produtividade de grãos da cultura do milho. Lobell et al. (2009) afirmam que 80% da produtividade potencial pode ser alcançada com melhorias no manejo da cultura e com o uso de irrigação. Entretanto, em plantios irrigados é preciso observar os períodos em que há maior incidência de radiação e condições ótimas de temperatura, para que a planta atinja seu potencial produtivo (ALVES et al., 2011), pois, de acordo com Assis et al. (2006), a obtenção de valores elevados de produtividade potencial se deve a combinação de valores adequados de temperatura e radiação solar. Uma outra alternativa seria adotar procedimentos de escape da seca, como a utilização de cultivares superprecoces ou cultivares

com tolerância ao déficit hídrico, principalmente na fase de enchimento de grãos (HEINEMANN et al., 2009).

Conclusões

Em ambas as safras, o modelo ora subestimou ora superestimou a produtividade da cultura do milho. Entretanto, na safra dos anos de 2005, 2008, 2010 e 2011 e na safrinha os anos de 2004, 2006, 2007, 2008 e 2009, os valores de produtividade média simulada pelo modelo foram similares aos valores reportados pelo IBGE. As maiores discrepâncias entre os valores simulados de produtividade dos grãos e os estimados pelo IBGE ocorreram nos anos 2003, 2004, 2006, 2007 e 2013, para a safra, e nos anos 2005 e 2013, para a safrinha.

A semeadura em 28 de novembro, na safra, e em 2 de janeiro, na safrinha, apresentaram as menores variabilidades nos valores simulados de produtividade.

Na safrinha, o estresse hídrico é o principal fator climático responsável pela quebra de produtividade, tendo ocorrido em todos os anos simulados e causado as maiores diferenças entre a produtividade potencial e a atingível.

Na safra, a pequena diferença entre a produtividade potencial e a produtividade atingível do milho, na maioria dos anos, pode ser atribuída ao alto nível de tecnologia empregado pelos produtores.

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper n° 56).

ALVES, M. E. B.; ANDRADE, C. L.T.; RUIZ-CÁRDENAS, R.; AMARAL, T. A.; SILVA, D. F. Identificação e quantificação do efeito de fatores ambientais na produtividade da cultura do milho na região de Janaúba, MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 5, n. 3, p. 188- 201, 2011.

AMARAL, T. A.; ANDRADE, C. de L. T. de; LIMA, A. C. R. de; SILVA, S. D. dos A. e. **Períodos de semeadura do milho para a microrregião de Pelotas-RS**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. 26 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 171).

ANDRADE, C. L.T.; SILVA, P. P. G.; MAGALHÃES, B. G.; PAIXÃO, J. S.; MELO, B. F.; TIGGES, C. H. T. Parametrização do modelo CSM-CERES-Maize para uma cultivar de alta produtividade. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Inovações, mercado e segurança alimentar: anais**. Sete Lagoas: ABMS, 2016.

ANGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Berks, v. 50, p. 121-125, 1924.

ASSIS, J. P.; DOURADO NETO, D.; REICHARDT, K.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N.; BONNECARRÈRE, R. A. G. Dados climáticos

simulados e produtividade potencial do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 5, p. 731-737, 2006.

BALDWIN, B. S.; COSSAR, R. D. Castor yield in response to planting date at four locations in the south-central United States. **Industrial Crops and Products**, v. 29, n. 2/3, p. 316-319, 2009.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; MENEGASSI, C. A.; MULLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento agrícola de risco climático**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>>. Acesso em: 08 maio 2015.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; RIBOLDI, J.; GUADAGNIN, J. P. Associação entre métodos de adaptabilidade e estabilidade em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 2, p. 340-347, 2009.

CHISANGA, A. B.; PHIRIZ, E.; SHEPANDEZ, C.; SICHINGABULAS, H. Evaluating CERES-Maize model using planting dates and nitrogen Fertilizer in Zambia. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 7, n. 3, p. 79-97, 2015.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; MATRANGOLO, W. J. R.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. Plantio. In: CRUZ, J. C.

(Ed.). **Cultivo do milho**. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 1).

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F. de; SANTANA, D. P. **Manejo da cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 12 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 87).

EGLI, D. B.; CORNELIUS, P. L. A regional analysis of the response of soybean yield to planting date. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, n. 2, p. 330-335, 2009.

FORSTHOFER, E. L.; SILVA, P. R. F.; STRIEDER, M. L.; MINETTO, T.; RAMBO, L.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SUHRE, E.; SILVA, A. A. Desempenho agrônômico e econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 3, p. 399-407, mar. 2006.

FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, L. C. Penalização da produtividade da cultura do milho imposta pelo modelo CERES-Maize. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 97-105, 2005.

GALON, L.; TIRONI, S. P.; ROCHA, A. A.; CONCENÇO, G.; ALBERTO, C. Influência dos fatores abióticos na produtividade da cultura do milho. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 4, p. 18-38, 2010.

GILBERT, M. E.; HOLBROOK, N. M.; ZWIENIECKI, M. A.; SADOK, W.; SINCLAIR, T. R. Field confirmation of genetic variation

in soybean transpiration response to vapor pressure deficit and photosynthetic compensation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 124, p. 85-92, 2011.

HEINEMANN, A. B.; ANDRADE, C. L. T.; GOMIDE, R. L.; AMORIM, A. O.; PAZ, R. L. Padrões de deficiência hídrica para a cultura de milho (safra normal e safrinha) no estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 1026-1033, 2009.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; WILKENS, P. W.; PORTE, C. H.; BOOTE, K. J.; HUNT, L. A.; SINGH, U.; LIZASO, J. L.; WHITE, J. W.; URYASEV, O.; ROYCE, F. S.; OGOSHI, R.; GIJSMAN, A. J.; TSUJI, G. Y. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer**: version 4.6. Washington: DSSAT Foundation, 2014.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=839&z=p&o=28&i=P>>. Acesso em: 20 maio 2016.

KAPPES, C.; CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M.; SILVA, J. A. N. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 251-259, 2009.

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 11, p. 1511-1520, 2007.

MALDANER, L. J.; HORING, K.; SCHNEIDER, J. F.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D.; GRZESIUCK, A. E. Exigência agroclimática da cultura do milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 13-23, 2014.

LOBELL, D. B.; CASSMAN, K. G.; FIELD, C. B. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto, v. 34, n. 1, p. 179, 2009.

PEREIRA, A. F.; SILVA NETO, S. P.; SOUSA, T. R.; GONÇALVES, R. N.; FREITAS, R. J. Avaliação de híbridos de milho em safrinha, em Ipameri, GO, em 2013. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 12., 2013, Dourados. **Estabilidade e produtividade: anais**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 1 CD-ROM.

PICKERING, N. B.; HANSEN, J. W.; JONES, H.; GODWIN, D. Weatherman: a utility for managing and generating daily weather data. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, n. 2, p. 332-337, 1994.

PRESCOTT, J. A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. **Transactions Royal Society of South Australia**, v. 64, p. 114-118, 1940.

SANS, L. M. A.; GUIMARÃES, D. P. **Zoneamento agrícola de riscos climáticos para a cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 5 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 82).

SILVA, L. H. B. R.; SILVA, A. L. B. R.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIAS JUNIOR, C. A.; DEMENECK-VIEIRA, P. V. Penalização da produtividade da cultura do milho imposta pelo modelo

ceres-maize. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA CESUMAR, 8., 2013, Maringá. **Anais eletrônico**. Maringá: CESUMAR, 2013.

SILVA, D.F.; AMARAL, T. A.; ANDRADE, C. L. T.; GOMIDE, R. L.; ALBUQUERQUE, P. E. P. de; ARAÚJO, S. G. Avaliação da produtividade de milho (*Zea mays* L.) sob condições de três regimes hídricos em Sete Lagoas, MG. In: PEREIRA, L. S.; VICTORIA, F. R. B.; PAREDES, P.; GARCÍA, M.; PALACIOS, E.; TORRECILLAS, A. (Ed.). **Tecnologias para o uso sustentável da água em regadio**. Lisboa: Edições Colibri, 2010. cap. 7.1, p. 145-146.

SORATTO, R. P.; PEREIRA, M.; COSTA, T. A. M.; LAMPERT, V. N. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 511-518, 2010.

WAGNER, M. V.; JADOSKI, S.; MAGGI, M. F.; SAITO, L. R.; LIMA, A. S. Estimativa de produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 170-179, 2013.

WOLF, K.; OUATTARA, I.; SUPIT, I. Sowing rules for estimating rainfed yield potential of sorghum and maize in Burkina Faso. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 214/215, p. 208-218, 2015.

