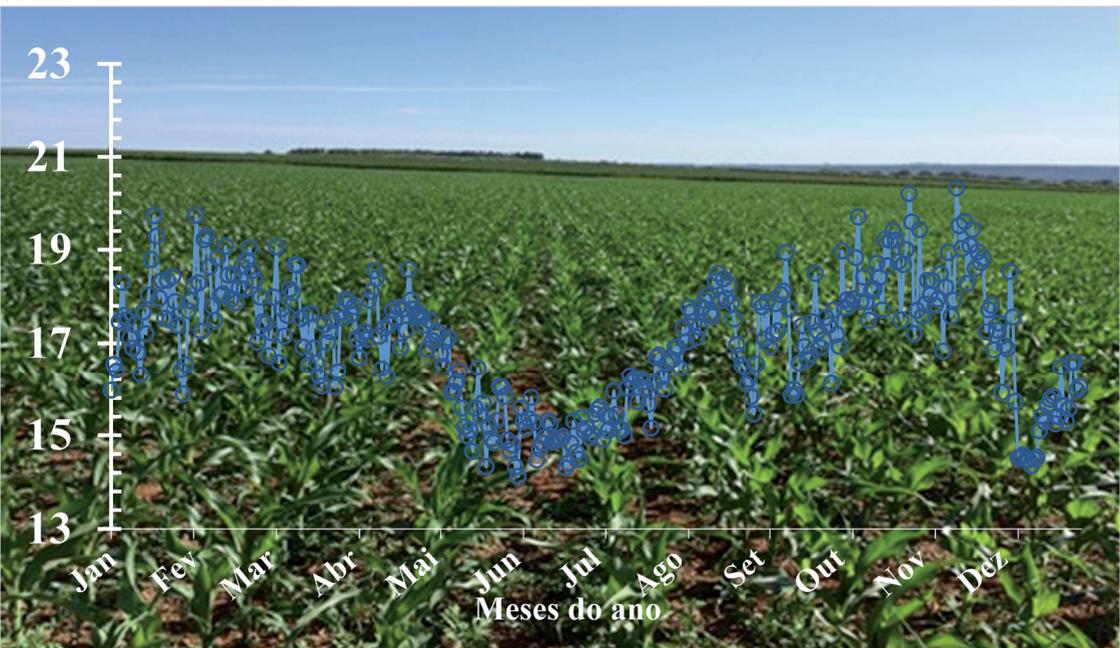


Avaliação, Empregando Modelagem, de Estratégias de Manejo para Incrementar a Produtividade de Milho na Segunda Safra



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

Documentos 204

Avaliação, Empregando Modelagem, de Estratégias de Manejo para Incrementar a Produtividade de Milho na Segunda Safra

Bruna Gomes Magalhães
Camilo de Lelis Teixeira de Andrade
Priscila Ponciana Gomes da Silva
Daniela de Carvalho Lopes
Bruno Ferreira de Melo
Axel Garcia y Garcia
Miguel Marques Gontijo Neto

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. Montagem: Bruna

Gomes Magalhães

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

Avaliação, empregando modelagem, de estratégias de manejo para incrementar a produtividade de milho na segunda safra / Bruna Gomes Magalhães... [et al.]. -- Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2016.

28 p. : il. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 204).

1. Modelo. 2. Simulação. 3. Safrinha. 4. *Zea mays*. I. Magalhães, Bruna Gomes. II. Série.

CDD 003.3 (21. ed.)

© Embrapa 2016

Autores

Bruna Gomes Magalhães

Mestranda em Ciências Agrárias, Univ. Fed. Sao Joao del Rei, bruna@setelagoas.com.br

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade

Eng.-Agríc., PhD Eng.Irrigação/Modelagem, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 424 km 65, Cx. Postal 151, Sete Lagoas, MG
camilo.andrade@embrapa.br

Priscila Ponciana Gomes da Silva

Graduanda em Eng. Agrônoma, Universidade Federal de São João del Rei, Sete Lagoas, MG,
prigomes18@hotmail.com

Daniela de Carvalho Lopes

Professora Adjunta, Universidade Federal de São João del Rei, Sete Lagoas, MG
danielalopes@ufsj.edu.br

Bruno Ferreira de Melo

Graduando em Eng. Ambiental, Centro Universitário de Sete Lagoas -UNIFEMM,
brunoferreiramelo@hotmail.com

Axel Garcia y Garcia

Professor Adjunto, University of Minnesota
Cropping Systems, Department of Agronomy and Plant Genetics, Lamberton, MN, axel@umn.edu

Miguel Marques Gontijo Neto

Eng.-Agrôn., D. Sc., pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 424, km 65, Cx Postal 151, CEP 37701-970, Sete Lagoas, MG,
miguel.gontijo@embrapa.br

Apresentação

A maior parte do milho produzido no País é feita no regime de sequeiro, na segunda safra ou safrinha, geralmente em sucessão à soja. A cultura fica, então, sujeita a instabilidades climáticas, notadamente o estresse hídrico de final de ciclo, que causa redução de produtividade. Quando ocorre atraso na semeadura da soja ou variações no regime de chuvas ao longo do ciclo, a situação se agrava e as perdas de rendimento tendem a ser maiores. Diante disso, a pesquisa agrícola deve buscar solução, mesmo que parcial, para este tipo de problema. A modelagem é uma das ferramentas que auxiliam na abordagem deste tipo de problema, pois possibilita a avaliação de diversos cenários envolvendo a resposta da cultura do milho a estratégias de manejo que têm o potencial para atenuar os efeitos deletérios das instabilidades climáticas. Neste trabalho, os autores avaliaram a eficácia de diferentes estratégias de manejo de cultura para estabilizar a produtividade do milho safrinha, tomando como referência as condições do município de Rio Verde-GO. Foi possível quantificar os efeitos benéficos de se utilizar cultivar de milho com sistema radicular mais profundo, manutenção de palhada na superfície do solo, associados com doses adequadas de fertilização nitrogenada. O estudo aponta para a necessidade de pesquisas em melhoramento de plantas e em manejo de solo e de cultura, bem como esforços de transferência de tecnologia para conscientização de produtores quanto a importância da correção adequada do solo e do uso do sistema de plantio direto para manutenção de palhada na superfície do solo.

Antonio Alvaro Corsetti Purcino
Chefe-Geral
Embrapa Milho e Sorgo

Sumário

Resumo	6
Introdução	7
Material e Métodos	9
Resultados e Discussão	15
Cenário Nb - Dose de Nitrogênio Recomendada para a Safrinha ..	15
Cenário Na – Dose Elevada de Nitrogênio	18
Alta Dose de Nitrogênio Versus Baixa Dose de Nitrogênio	19
Conclusões	23
Referências	23

Avaliação, Empregando Modelagem, de Estratégias de Manejo para Incrementar a Produtividade de Milho na Segunda Safra

Bruna Gomes Magalhães

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade

Priscila Ponciana Gomes da Silva

Daniela de Carvalho Lopes

Bruno Ferreira de Melo

Axel Garcia y Garcia

Miguel Marques Gontijo Neto

Resumo

O cultivo de milho na safrinha em condições de sequeiro pode ser afetado pelas incertezas climáticas. Algumas alternativas para atenuar esses efeitos são: a manutenção de palhada na superfície do solo e a utilização de plantas com sistema radicular mais profundo. O estudo teve como objetivo avaliar, empregando simulação, o efeito de diferentes combinações de palhada na superfície do solo, com diferentes profundidades de sistema radicular, e de doses de adubação nitrogenada na produtividade do milho safrinha em Rio Verde-GO. Utilizou-se a ferramenta de análise sazonal do modelo CSM-CERES-Maize para simular cenários de combinação entre as profundidades de sistema radicular (0,30; 0,50 e 0,70 m) e as quantidades de palhada de soja sobre na superfície do solo (0 t; 3,5 e 5,0 t ha⁻¹). Adicionalmente, para cada combinação de sistema radicular e palhada, simularam-se dois cenários de fertilização, sendo um considerando alta dose de nitrogênio e outro com a dose recomendada para safrinha. O aprofundamento do sistema radicular e a manutenção de quantidades maiores de palhada

na superfície do solo favoreceram maior produtividade de grãos. A estratégia de manejo combinando o sistema radicular concentrado nos 0,70 m do perfil do solo e uma quantidade de 5 t ha⁻¹ de palhada é a melhor alternativa para incremento de produtividade nos cenários com baixa e alta dose de nitrogênio. Para o cenário de dose elevada de nitrogênio, embora a variabilidade interanual seja grande, os valores medianos da produtividade são também mais elevados, em comparação com o cenário de baixa dose de nitrogênio.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; plantio direto; sistema radicular, modelagem.

Introdução

A maior parte do milho produzido no Brasil é proveniente da semeadura em safrinha, que é praticada especialmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste. Na região de Rio Verde-GO, o milho se tornou a principal cultura em sucessão à soja e, como é semeado em regime de sequeiro, está sujeito às incertezas climáticas, principalmente em relação à disponibilidade hídrica. Como consequência, a produtividade pode não alcançar o nível potencial esperado (LEITE et al., 2013), apresentando um rendimento médio de 4.800 kg ha⁻¹ (IBGE, 2015). Para que haja uma produtividade satisfatória, a cultura do milho requer no mínimo 300 a 350 mm de água nos plantios sem irrigação (DOURADO NETO et al., 2004).

Uma forma de atenuar o efeito do estresse hídrico em semeaduras de safrinha é a manutenção de palhada na superfície do solo que, além dos efeitos benéficos para controle da erosão e agilidade no plantio, auxilia na manutenção da

umidade no solo. Restos culturais mantidos na superfície favorecem o incremento do teor de matéria orgânica e ajuda na manutenção da temperatura e, principalmente, na preservação de água no perfil do solo (MOREIRA et al., 2011). Indiretamente, pode também amenizar os impactos na produtividade decorrentes de incertezas nas condições hídricas. A palhada mantida na superfície e o não revolvimento do solo podem, também, refletir de forma positiva na infiltração da água (FLOSS, 2002).

Outra forma de minimizar o efeito do estresse hídrico é a utilização de culturas ou cultivares com sistema radicular mais profundo, que tenham a capacidade de explorar um maior volume de solo em busca de água e nutrientes (ALVARENGA; CRUZ, 2003). De modo geral, o sistema radicular da cultura do milho varia de 40 a 50 cm de profundidade (ALBUQUERQUE; RESENDE, 2002).

Além de aspectos genéticos relacionados à tolerância ao Al^{3+} , um dos fatores que influenciam no desenvolvimento do sistema radicular das culturas é a condição de acidez do solo. A presença do alumínio Al^{3+} pode comprometer o crescimento do sistema radicular e, conseqüentemente, a absorção de água e nutrientes, principalmente em situações de estresse hídrico. Para corrigir esse problema utilizam-se a calagem e a gessagem. A calagem eleva o pH do solo e neutraliza o alumínio tóxico, e o gesso fornece cálcio e magnésio, nutrientes fundamentais para o crescimento de raízes (ZANDONÁ et al., 2015).

Inúmeros ensaios de campo já foram conduzidos para se avaliar a resposta das culturas à calagem e à gessagem.

Entretanto, são poucos os ensaios nos quais se avaliaram as interações com as condições climáticas (ZANDONÁ et al., 2015). Nesse sentido, o uso da modelagem apresenta vantagens para estudar este tipo de problema, pois permite a realização de experimentos virtuais, repetidos por muitos anos, aumentando, assim, a amostragem dos efeitos do clima. O sistema DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) (HOOGENBOOM et al., 2014) consiste em um conjunto de modelos, baseados em processos, para diversas culturas, que dispõe de rotinas que permitem avaliar as interações da planta com diferentes condições de manejo cultural e com os elementos do clima. O modelo CSM-CERES-Maize (JONES et al., 2003), do sistema DSSAT, foi empregado em estudos preliminares para avaliar efetividade de estratégias de manejo para mitigar efeitos de mudanças climáticas na cultura do milho e demonstrou ser uma ferramenta capaz de capturar as diversas interações da cultura com o solo e com o clima (AMARAL et al., 2014; BABEL; TURATUNGA, 2015; KASSIE et al., 2015; SILVA et al., 2014; SOUZA et al., 2014). Verificou-se, então, que esta ferramenta poderia ser útil em estudos de avaliação de estratégias de manejo para minimizar efeito de adversidades climáticas na cultura do milho safrinha. Diante do exposto, propôs-se este trabalho objetivando avaliar a efetividade de algumas estratégias de manejo para minorar os efeitos do estresse hídrico, decorrentes da ocorrência de veranicos ou seca, na cultura do milho safrinha.

Material e Métodos

O estudo de caso foi realizado para Rio Verde-GO, por ser um município em que o cultivo milho safrinha é expressivo. Obteve-se junto ao Instituto Nacional de Meteorologia

(INMET) uma série histórica com 33 anos de dados diários de temperatura máxima e mínima, precipitação e insolação (Figura 1A, 1B e 1C). Analisou-se a consistência dos dados e utilizou-se a ferramenta *WEATHERMAN* (PICKERING et al., 1994), do modelo DSSAT, para completar falhas menores que sete dias.

Falhas por períodos mais longos foram completadas com dados de uma estação próxima, localizada no município de Jataí-GO, com altitude similar e aproximadamente 85 km de distância de Rio Verde-GO. Os valores de radiação solar incidente foram estimados a partir de dados diários de horas de brilho solar, empregando a equação de Angström-Prescott (ANGSTRÖM, 1924; PRESCOTT, 1940), implementada no *WEATHERMAN*. Calcularam-se as médias dos valores diários de temperatura máxima, mínima e média, de radiação solar estimada e de precipitação. As médias das temperaturas máximas variam de 27,6 °C, em maio, a 32,5 °C, em outubro; as médias das temperaturas mínimas variam de 13,1 °C, em julho, a 19,9 °C, em novembro; e as médias das temperaturas médias variam de 20,5 °C, em julho, a 26,0 °C, em outubro (Figura 1A). A precipitação ocorre em todos os meses do ano. Os meses de janeiro a março são os mais chuvosos, com uma precipitação média de 250 milímetros, e julho é o mês mais seco, com uma precipitação média de 16 mm. A precipitação média anual é de 1.630 mm (Figura 1B). Valores médios de radiação solar de 14,1 e 20,3 MJ m⁻² dia⁻¹ foram observados em junho e novembro, respectivamente (Figura 1C).

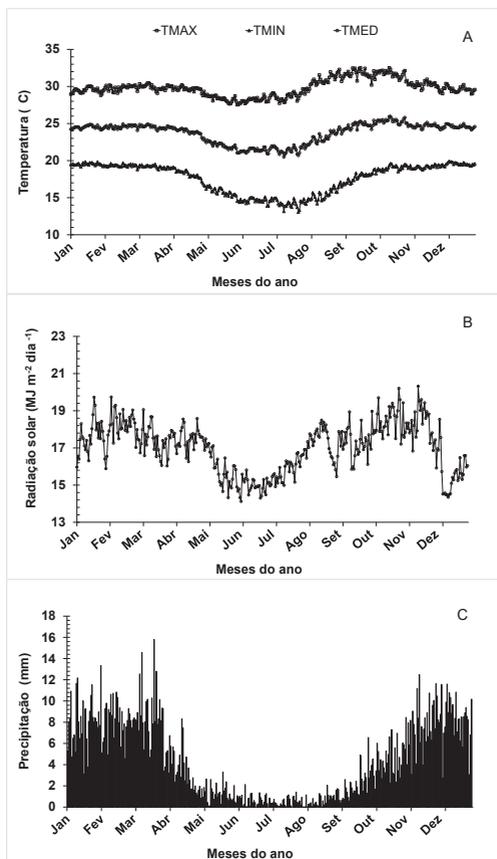


Figura 1. Valores médios de temperatura máxima, mínima e média (A), de radiação solar (B) e de precipitação (C) considerando os 33 anos de dados de clima.

Dados completos de atributos químicos e físico-hídricos de um perfil de solo, localizado na área experimental da FESURV, em Rio Verde-GO, foram analisados e consistidos para serem empregados como entrada no modelo (Tabela 1). As densidades do solo nas camadas avaliadas variaram de 950 a 1.004 kg m⁻³, sendo esse maior valor observado na camada até 0,10 m. Os

valores para densidade não incorrem em impedimento para o desenvolvimento de sistema radicular da cultura do milho. A disponibilidade de água nas camadas foi similar, em torno de 8 mm, no entanto, a disponibilidade de água acumulada na camada até 0,4 m do perfil de solo, na qual se concentra o sistema radicular do milho, foi de 32 mm. A soma de bases acumulada nas camadas até 0,40 m é de 4,23 cmolc dm⁻³, o que é um valor considerado muito bom em termos de qualidade química do solo. O pH em água nas camadas variou de 5,1 a 5,7, valores indicativos de acidez média. (RIBEIRO et al., 1999).

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

Empregou-se o modelo CSM-CERES-Maize, versão 4.6.0.040 – *develop*, do sistema DSSAT (JONES et al., 2003; HOOGENBOOM et al., 2014), previamente parametrizado e avaliado para a cultivar DKB390PRO, para simular a produtividade do milho semeado em sucessão à soja, em 2, 9 e 16 de janeiro de cada ano. Estas datas compreendem o período de semeadura de 2ª safra, recomendado pelo Zoneamento de Risco Climático (ZRC) do Mapa (BRASIL, 2014). Assumiu-se um espaçamento entre linhas de 0,5 m e uma população de 50 mil plantas ha⁻¹. Configuraram-se as simulações para iniciarem um mês antes das datas de semeadura para que o modelo realizasse o balanço de água e nitrogênio no solo e estimasse com maior exatidão as condições iniciais de umidade e nitrogênio no perfil do solo, no dia do plantio.

Simularam-se cenários considerando o uso de cultivares ideotipadas com diferentes profundidades de sistema radicular e também diferentes quantidades de palhada deixadas na superfície do solo pela cultura da soja, conforme apresentado na Tabela 2. Diferenças na profundidade do sistema radicular podem ser decorrentes da correção ou não do perfil do solo, empregando calagem e gessagem, ou o uso de cultivares de milho com alguma tolerância ao Al³⁺. Diferentes quantidades de palhada na superfície do solo podem ser consequência do nível de manejo utilizado no sistema de produção envolvendo a rotação e a sucessão de culturas. Adicionalmente, foram simulados dois cenários de doses de nitrogênio: “Nb” (recomendado para safrinha) – com 60 kg ha⁻¹ de N, sendo 32 kg ha⁻¹, na forma de MAP (mono-amônio-fosfato), no plantio e 28 kg ha⁻¹, na forma de ureia, em cobertura 25 dias após a semeadura. No total foram simuladas aplicações de 320 kg ha⁻¹ de MAP e 62 kg ha⁻¹ de ureia; e “Na” (dose arbitrariamente

elevada) – com 340 kg ha^{-1} de N, sendo 40 kg ha^{-1} , na forma de MAP, no plantio, e 300 kg ha^{-1} , em cobertura, na forma de ureia, parcelada aos 25 e 40 dias após o plantio. No total, foram simuladas aplicações de 400 kg ha^{-1} de MAP e 135 kg ha^{-1} de ureia. Embora as rotinas do modelo para fósforo e potássio não tenham sido ligadas, as doses destes nutrientes foram estabelecidas de forma a não serem limitantes à cultura.

Para cada cenário de adubação (N_b e N_a), assumiu-se como padrão (*baseline*) um sistema de produção de sequeiro, em que uma cultivar com sistema radicular de 0,50 m de profundidade foi semeada sobre $3,5 \text{ t ha}^{-1}$ de palhada de soja (Rz50Cob3,5). Analisaram-se os dados de produtividade simulados e também as variações das produtividades de cada cenário, em comparação com o padrão. Foram considerados na análise dados médios de produtividade simulada, oriundos de 33 anos e três datas de semeadura da safrinha (02, 09 e 16 de janeiro).

Tabela 2. Identificação de tratamentos simulados envolvendo a combinação de diferentes profundidades de sistema radicular e quantidades de palhada na superfície do solo.

Cenário	Profundidade do sistema radicular (m)	Quantidade de palhada (t ha ⁻¹)
Rz30Cob0	0,30	0,0
Rz30Cob3,5	0,30	3,5
Rz30Cob5	0,30	5,0
Rz50Cob0	0,50	0,0
Rz50Cob3,5	0,50	3,5
Rz50Cob5	0,50	5,0
Rz70Cob0	0,70	0,0
Rz70Cob3,5	0,70	3,5
Rz70Cob5	0,70	5,0

Resultados e Discussão

Cenário Nb - Dose de Nitrogênio Recomendada para a Safrinha

O rendimento de grãos de milho foi afetado, tanto pela quantidade de resíduo deixada na superfície do solo pela cultura da soja quanto pela profundidade do sistema radicular do cultivar (Figura 2). Independentemente da profundidade do sistema radicular, a cultura do milho respondeu à quantidade de palhada de soja deixada na superfície do solo. A resposta foi maior quando se passou de 0 para 3,5 t ha⁻¹, em comparação com o incremento de 3,5 para 5,0 t ha⁻¹ de palhada.

Tomando-se a profundidade de 0,50 m e 3,5 t ha⁻¹ de palhada como referência, nota-se que o uso de uma cultivar com sistema radicular mais raso (0,30 m) ou a correção inadequada do perfil do solo reduziu em 44,8%; 49,0% e 58,7% a produtividade de grãos com a manutenção de 5,0; 3,5 e 0 t ha⁻¹ de palhada na superfície, respectivamente. Para uma cultivar com sistema radicular de 0,5 m de profundidade, a ausência de palhada na superfície do solo pode reduzir em até 15,0% a produtividade.

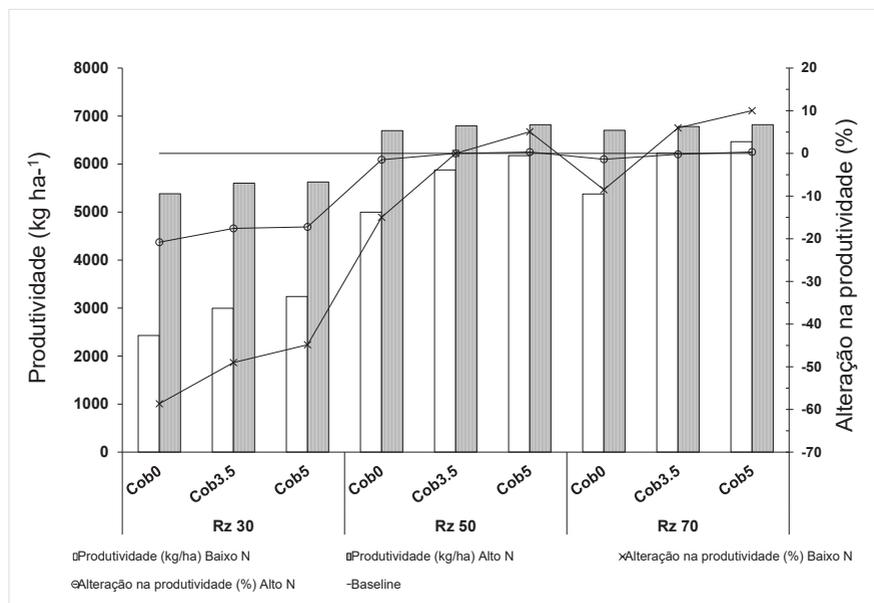


Figura 2. Produtividade e alteração na produtividade para diferentes cenários de profundidade de sistema radicular, quantidade de palhada na superfície do solo e níveis de adubação.

Uma redução de 8,5% na produtividade ocorreu quando se utilizou uma cultivar com sistema radicular de 0,7 m e ausência

de palhada na superfície do solo. Em contrapartida, o emprego combinado de cultivar com sistema radicular mais profundo, com maior quantidade de palhada na superfície (Rz70/Cob5), tem o potencial para aumentar o rendimento em 10%, sendo esta a melhor combinação para incrementar o rendimento de milho em sucessão à soja, na safrinha em Rio Verde-GO.

Um dos fatores que afetam o crescimento radicular das culturas é o alto teor de alumínio, aliado a baixas concentrações de cálcio. A aplicação de gesso tem sido utilizada para fornecer cálcio e magnésio, prática capaz de fomentar o desenvolvimento do sistema radicular das culturas (ZANDONÁ et al., 2015). Neste estudo, a utilização do gesso proporcionou um incremento de 11,4% e 9,3% na produtividade de grãos de soja e de milho, respectivamente. Raízes mais profundas possibilitam um maior acesso à água, o que é benéfico ao desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, à produtividade (ALVARENGA; CRUZ, 2003).

Efeito positivo do manejo de plantas de cobertura sobre a produtividade de milho em sistema de plantio direto foi observado por Carvalho et al. (2015). Os autores avaliaram o efeito do manejo de plantas de cobertura sobre a produtividade de milho e inferiram que a *Braquiária ruziziensis* e a *Crotalaria juncea*, cultivadas no final da estação chuvosa, podem influenciar positivamente a produtividade do milho cultivado em plantio direto. Para essas duas plantas de cobertura foram observadas produtividades de 12,78 t ha⁻¹ e 12,71 t ha⁻¹, enquanto que para outras plantas de cobertura produtividades menores foram registradas como, por exemplo, 11,67 t ha⁻¹, no caso do plantio em sucessão ao trigo.

Em um estudo realizado, empregando modelagem, para avaliar o efeito de mudanças climáticas na cultura do milho, constatou-se que a manutenção de palhada na superfície do solo e o uso de cultivares com sistema radicular mais profundo têm potencial para mitigar os efeitos de redução do volume de precipitação durante o ciclo da cultura (SOUZA et al., 2014).

Cenário Na – Dose Elevada de Nitrogênio

De modo análogo ao cenário com baixas doses de nitrogênio, o incremento no aporte de palhada de soja na superfície do solo apresentou tendência de aumentar a produtividade, especialmente quando se utilizou uma cultivar com sistema radicular raso. Tomando-se como padrão o cenário de 3,5 t ha⁻¹ de palhada de soja na superfície do solo e uma cultivar com sistema radicular de 0,5 m (Rz50/Cob3,5), observa-se que, quando não se corrigiu adequadamente o solo ou empregou-se uma cultivar com sistema radicular de 0,3 m, mesmo com o aumento da quantidade de palhada de 0 para 3,5 e para 5,0 t ha⁻¹, a produtividade reduziu em 20,1%, 17,1% e 16,2%, respectivamente (Figura 2). Para este cenário de alta dose de nitrogênio, a resposta da cultura à quantidade de palhada na superfície do solo foi muito pequena quando se utilizam cultivares com sistema radicular de 0,5 ou 0,7 m de profundidade. Nota-se que, nestes dois cenários de sistema radicular, a produtividade caiu apenas 1,4%, quando não se manteve palhada na superfície do solo. O incremento de produtividade, quando se manteve 5 t ha⁻¹ de palhada na superfície do solo, foi próximo à zero.

Ao se deixar a palhada da cultura antecessora na superfície do solo, além da contribuição, em termos de atributos químicos,

físicos e biológicos, preserva-se a umidade e a temperatura do solo, que por sua vez, minimizam os efeitos do estresse hídrico, acarretando incrementos na produtividade das culturas. Em estudo feito por Peres et al. (2010), a presença de palhada na superfície do solo reduziu pela metade as perdas de água do solo, em comparação com um solo descoberto. No solo sem palhada as perdas de água foram por evaporação, enquanto no solo com palhada as perdas de água foram decorrentes da percolação para camadas inferiores.

Alta Dose de Nitrogênio Versus Baixa Dose de Nitrogênio

A resposta da cultura do milho à quantidade de palhada na superfície do solo e à utilização de cultivares com diferentes profundidades de sistema radicular foi diferente para níveis contrastantes de adubação nitrogenada simulada (Figura 2). As quedas na produtividade, em decorrência da correção inadequada do solo ou do uso de cultivares com sistema radicular mais raso, associado com pouca palhada na superfície do solo, foram expressivamente maiores no cenário com baixa dose de nitrogênio, em comparação com aquele em que se utilizou alta dose. Para o cenário em que se empregou uma cultivar com sistema radicular mais raso, independentemente da quantidade de palhada na superfície, doses elevadas de nitrogênio proporcionaram maiores produtividades médias, em comparação com o cenário com adubação mais baixa (Figura 2).

Este resultado médio de 33 anos indica que, para o cenário com nível de adubação elevada, em anos com suprimento de água adequado, a cultura do milho foi mais eficiente no uso do nitrogênio, proporcionando rendimentos maiores.

Entretanto, quando se utilizou cultivar com sistema radicular de 0,5 m ou de 0,7 m de profundidade, a adubação nitrogenada mais elevada não proporcionou produtividades mais elevadas quando comparadas entre si. Efeitos de adição de diferentes quantidades de palhada ou de sistemas radiculares em profundidades diferenciadas tendem a não ser bem expressivos com adubação maior, como foi o caso do presente estudo.

Analisando-se os dados de distribuição de frequência da produtividade simulada, nota-se grande variabilidade interanual, representada pela elevada amplitude entre os valores máximos e mínimos e também entre os diferentes percentis (Figura 3). Embora a variabilidade tenha sido menor para os cenários em que se utilizou cultivar com sistema radicular de 0,3 m, os valores medianos de produtividade foram consideravelmente menores, em comparação com os cenários de cultivar com sistema radicular de 0,5 m e 0,7 m de profundidade. A aplicação de doses elevadas de nitrogênio favoreceu o aumento da produtividade para todos os cenários de profundidade de sistema radicular e quantidade de palhada na superfície do solo. Todavia, a resposta da cultura à adubação foi maior nos cenários em que se utilizou cultivar com sistema radicular mais raso e menor quantidade de palhada na superfície, em comparação com os demais cenários. Em anos com condições hídricas favoráveis, a cultivar DKB390PRO respondeu à aplicação de uma maior dose de nitrogênio e vice-versa, fazendo com que a variabilidade interanual da produtividade fosse maior e elevando os valores da mediana. Nestas condições, foi possível também a obtenção de produtividades elevadas de milho na safrinha em Rio Verde-GO, pois os demais elementos climáticos estavam adequados.

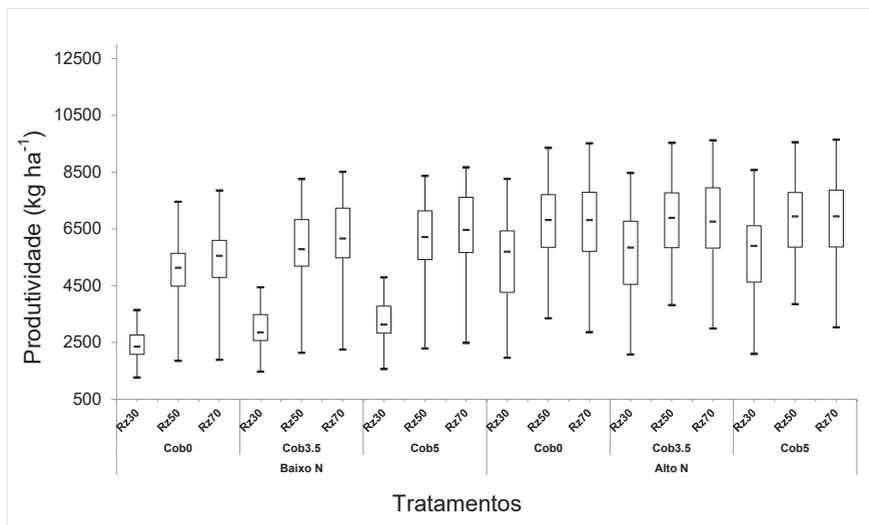


Figura 3. Distribuição de frequência dos valores da produtividade de grãos nos diferentes cenários de profundidade de sistema radicular, quantidade de palhada na superfície do solo e doses de nitrogênio.

O milho é uma cultura muito exigente em adubação nitrogenada e é altamente responsivo a esse nutriente (KAPPES et al., 2009). No cultivo de milho safrinha, tem-se recomendado doses menores de adubação nitrogenada, principalmente por ser cultivado, na maioria das vezes, após a soja (SHIOGA et al., 2004). No entanto, o adubo aplicado na semeadura, mesmo na safrinha, é muito importante e favorece a cultura, tendo em vista que o N presente na matéria orgânica leva um tempo para ser mineralizado por microrganismos e se tornar disponível para a planta (LARA CABEZAS et al., 2004). No plantio direto essa maior necessidade de N está relacionada à velocidade de decomposição da matéria orgânica e à relação C/N da palhada presente no solo. Quanto maior a quantidade de palhada

e maior a relação C/N, mais lenta é a decomposição, o que pode comprometer o aporte de N ao solo, devido a potencial imobilização deste nutriente (FIORENTIN et al., 2011). A palhada de leguminosas, como no caso a soja, quando comparada à de gramíneas, tem relação C/N menor e, portanto, apresenta uma decomposição rápida e, sendo assim, não se observa considerável perda de N por imobilização.

O aporte de N para o milho ainda pode ser comprometido caso a maior parte ou em sua totalidade, a adubação seja em cobertura. Isso porque este N estará sujeito a volatilização, principalmente quando a fonte utilizada é a ureia e quando a ocorrência de chuvas é irregular, como pode ser o caso do cultivo em segunda safra (KAPPES et al., 2009).

Ragagnin et al. (2010) estudaram a influência de doses e épocas de aplicação de N, nos atributos agronômicos do milho safrinha no município de Jataí-GO, em plantio direto e em sucessão à cultura da soja. Eles verificaram que, em relação à época de aplicação da adubação nitrogenada, não houve efeito na produtividade, enquanto em relação às doses de nitrogênio observaram que a dose de 50 kg ha⁻¹ foi suficiente para alcançar a produtividade desejada, mas afirmaram, ainda, que a distribuição de chuvas durante o experimento foi suficiente nos estádios vegetativos, fornecendo, então, as condições adequadas para o desenvolvimento da cultura na safrinha.

Sendo assim, é crucial o prognóstico do clima para que se possa ajustar a adubação da cultura do milho semeado na safrinha na região de Rio Verde-GO, em função da expectativa de produtividade que pode ser estimada com auxílio de modelos de simulação.

Conclusões

A estratégia de manejo combinando uma cultivar com sistema radicular de 0,70 m de profundidade e 5 t ha⁻¹ de palhada de soja é a melhor alternativa para incremento de produtividade do milho na safrinha em Rio Verde-GO e, efetivamente, com maior potencial para diminuir o efeito de estresse hídrico decorrente de veranico e seca.

As quedas na produtividade, em decorrência da correção inadequada do solo ou do uso de cultivares com sistema radicular mais raso, associado com pouca palhada na superfície do solo, são expressivamente maiores no cenário com baixa dose de nitrogênio, em comparação com aquele em que se utilizou alta dose.

Para o cenário de dose elevada de nitrogênio, embora a variabilidade interanual seja grande, os valores medianos da produtividade são, também, mais elevados, em comparação com o cenário de baixa dose de nitrogênio.

Referências

ALBUQUERQUE, P. E. P.; RESENDE, M. **Cultivo do milho**: manejo da irrigação. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 8 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 47).

ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C. Manejo de solos e agricultura irrigada. In: RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; COUTO, L. **A cultura do milho irrigado**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 70-106.

AMARAL, T. A.; ANDRADE, C. L. T.; LIMA, A. C. R.; SOUZA, I. R. P.; SOUZA, A. A. C.; TEIXEIRA, T. C.; PAIXÃO, J. S. Análise da sensibilidade da cultura do milho às mudanças climáticas empregando modelos de simulação: 3 - resposta às alterações na taxa de radiação solar. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO; SIMPÓSIO SOBRE LEPDÓPTEROS COMUNS A MILHO, SOJA E ALGODÃO, 2014, Salvador. **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global**: resumos expandidos. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014.

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

BABEL, M. S.; TURYATUNGA, E. Evaluation of climate change impacts and adaptation measures for maize cultivation in the western Uganda agro-ecological zone. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 119, n. 1/2, p. 239-254, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 217, de 20 de novembro de 2014. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 24 nov.2014. Seção 1. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=558585825>>. Acesso em: 14 out. 2015.

CARVALHO, A. M.; COSER, T. R.; REIN, T. A.; DANTAS, R. de A.; SILVA, R. R.; SOUZA, K. W. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 7, p. 551-561, 2015.

DOURADO NETO, D.; SPAROVEK, G.; FIGUEREDO JÚNIOR, L. D.; FANCELLI, A. L.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P. Modelo para estimação da produtividade de grãos de milho deplecionada com base no balanço hídrico no solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 359-367, 2004.

FIORENTIN, C. F.; LEMOS, L. B.; JARDIM, C. A.; FORNASIERI FILHO, D. Formação e manutenção de palhada de gramíneas concomitante à influência da adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro irrigado em sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 917-924, 2011.

FLOSS, E. L. Aveia, um sustentáculo do sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 72, p. 14-18, 2002.

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: 13 out. 2015.

KAPPES, C.; CARVALHO, M. A. C. de; YAMASHITA, O. M.; SILVA, J. A. N. da. 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.

KASSIE, B. T.; ASSENG, S.; ROTTER, R. P.; HENGSDIJK, H.; RUANE, A. C.; VAN ITTERSUM, M. K. Exploring climate change impacts and adaptation options for maize production in the Central Rift Valley of Ethiopia using different climate change scenarios and crop models. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 129, n. 1/2, p. 145-158, 2015.

JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; BOOTE, K. J.; BATCHELOR, W. D.; HUNT, L. A.; WILKENS, P. W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A. J.; RITCHIE, J. T. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v. 18, n. 3, p. 235-265, 2003.

LARA CABEZAS, W. R. L.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; SANTANA, D. G. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1005-1013, 2004.

LEITE, L. F.; OLIVEIRA, E. P. de; SANTOS, A. dos; MARLON, L. Desempenho de milho safrinha em duas épocas de semeadura e populações de plantas, em Dourados, MS. In: SEMINÁRIO NACIONAL [DE] MILHO SAFRINHA, 12., 2013, Dourados. **Estabilidade e produtividade**: anais. Brasília, DF: Embrapa; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. 1 CD-ROM.

MOREIRA, J.; STONE, L.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. Eficiência de uso de água pela cultura do milho (*Zea mays*) em função da cobertura do solo pela palhada no sistema plantio direto. **Cadernos de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 6, n. 2, p. 1-6, dez. 2011. Edição dos Resumos do 7º Congresso Brasileiro de Agroecologia, Fortaleza, dez. 2011.

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.

PERES, J. G.; SOUZA, C. F.; LAVORENTI, N. A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 30, p. 875-886, 2010.

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

RAGAGNIN, V. A.; SENA JUNIOR, D. G.; KLEIN, V.; LIMA, R. S.; COSTA, M. M.; OLIVEIRA NETO, O, V. Adubação nitrogenada em milho safrinha sobre plantio direto em Jataí-GO. **Global Science and Technology**, v. 3, n. 2, p. 70-77, 2010.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P.T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5a. aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.

SHIOGA, P. S.; OLIVEIRA, E. L.; GERAGE, A. C. Densidade de plantas e adubação nitrogenada em milho cultivado na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 3, p. 381-390, 2004.

SILVA, P. P. G.; ANDRADE, C. de L. T.; ANTÔNIO, T. A. Análise da sensibilidade da cultura do milho às mudanças climáticas empregando modelos de simulação: 1 - resposta às alterações

na temperatura do ar. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO; SIMPÓSIO SOBRE LEPDÓPTEROS COMUNS A MILHO, SOJA E ALGODÃO, 2014, Salvador. **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global**: resumos expandidos. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014.

SOUZA, A. A. C.; ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; SILVA, P. P. G.; TEIXEIRA, T. C.; PAIXÃO, J. S. Análise da sensibilidade da cultura do milho às mudanças climáticas empregando modelos de simulação: 2 - resposta às alterações na precipitação. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO; SIMPÓSIO SOBRE LEPDÓPTEROS COMUNS A MILHO, SOJA E ALGODÃO, 2014, Salvador. **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global**: resumos expandidos. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.

