

Simulação dos impactos da concentração de dióxido de carbono, morfologia radicular e palhada na produtividade do milho

Tales Antônio Amaral⁽¹⁾; Camilo de Lelis Teixeira de Andrade⁽²⁾; Isabel Regina Prazeres de Souza⁽³⁾; Ana Cláudia Rodrigues de Lima⁽⁴⁾; Aline Aparecida de Castro Souza⁽⁵⁾; Talita Coutinho Teixeira⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Biólogo, Doutorando UFPEL, Universidade Federal de Pelotas; ⁽²⁾ Pesquisador, PhD Eng. Irrigação/Modelagem, Embrapa Milho e Sorgo, camilo.andrade@embrapa.br; ⁽³⁾ Pesquisadora, PhD Biologia Molecular, Embrapa Milho e Sorgo; ⁽⁴⁾ Professora, FAEM/UFPEL, Eng. Agrícola, PhD; ^(5, 6) Graduanda Engenharia Ambiental e Sanitária pela UNIFEMM, Sete Lagoas, MG.

RESUMO: A concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera vem aumentando nos últimos anos, sem perspectivas de redução. Essas alterações podem afetar o metabolismo e os processos fisiológicos do milho. O objetivo deste estudo foi avaliar a produtividade do milho, mediante simulações de diferentes combinações de cenários de CO₂, profundidade de sistema radicular e quantidade de palhada na superfície do solo. Não se observaram alterações significativas na produtividade para as diferentes concentrações de CO₂ simuladas. A quantidade de palhada na superfície do solo, embora tenha reduzido a evapotranspiração acumulada no ciclo da cultura, praticamente não teve influência sobre a produtividade. As diferenças no rendimento foram mais evidentes em função da profundidade do sistema radicular.

Termos de indexação: mudanças climáticas, DSSAT, estratégias de mitigação, *Zea mays* L.

INTRODUÇÃO

O milho é uma planta C₄, com elevado potencial produtivo. Grande parte da matéria seca do milho (90%) provém da fixação de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, através da fotossíntese (Magalhães et al., 2002). A concentração de CO₂ na atmosfera aumentou cerca de 85 ppm nos últimos 100 anos (Lal, 2004) e deve continuar, caso nenhuma mudança aconteça nas atividades humanas (IPCC, 2007). O CO₂, em elevada concentração, pode provocar alterações no metabolismo e nos processos fisiológicos do milho que, na maioria das vezes, derivam em benefícios ao desenvolvimento das plantas (Santos, 2010).

A capacidade do milho em explorar o solo, em busca de água e nutrientes, depende grandemente da distribuição de raízes no perfil do solo que, por sua vez, depende das condições físicas e químicas, as quais são passíveis de alterações em função do manejo aplicado (Alvarenga & Cruz, 2003). Os

sistemas radiculares que se desenvolvem mais profundamente podem obter água de camadas mais profundas do solo e, conseqüentemente, em tese, favorecer a cultura.

A manutenção de restos culturais na superfície e o não revolvimento do solo podem refletir no incremento de infiltração da água devido à melhor relação entre macro e microporos, na redução da variação de temperatura superficial, no aumento da estabilidade de agregados e no aumento da disponibilidade de nutrientes provenientes da decomposição do material vegetal (Floss, 2002).

Embora muitos trabalhos venham estudando o comportamento de cultivares de milho sobre a influência da concentração de CO₂, desenvolvimento radicular e quantidade de palhada no solo, poucos buscaram avaliar o desempenho do milho quando esse três fatores são combinados.

A modelagem pode ser uma ferramenta muito útil neste caso, pois, além de possibilitar a simulação de cenários diversos de manejo dos fatores de produção, permite o entendimento da dinâmica dos processos envolvidos no sistema e também o isolamento do efeito de alguns fatores na produtividade das culturas. O modelo de crescimento de culturas, DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) (Hoogenboom et al., 2013) vem se destacando nesta área, pois possibilita a análise da dinâmica da água, do solo e de nutrientes, do efeito das práticas de manejo das culturas e da rentabilidade das explorações.

O objetivo do trabalho foi avaliar a produtividade do milho, simulando diferentes combinações de concentração de CO₂, profundidade do sistema radicular e quantidade de palhada na superfície do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

A experimentação foi conduzida na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, Brasil (19°27'18.25" Sul, 44°10'25.28" Oeste, altitude 729 m), empregou-se o modelo

CSM-CERES-Maize, versão 4.5.1.023 do sistema DSSAT (Hoogenboom et al., 2013), previamente parametrizado e avaliado para o híbrido simples BRS 1030 (Santana et al., 2010), para simular a resposta às alterações na concentração de CO₂, profundidade do sistema radicular e quantidade de palhada na superfície do solo.

Considerou-se nas simulações a semeadura do milho, em regime de sequeiro, realizada em 24 de outubro de 2009, data que proporciona o maior valor médio de produtividade simulada para a região (Amaral et al., 2009). Assumiu-se espaçamento de 0,8 m entre linhas e 67 mil plantas ha⁻¹, adubação de 400 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16 (N, P₂O₅, K₂O), no sulco de plantio, 300 kg ha⁻¹ da fórmula 20-02-20, em cobertura, aos 20 dias após a semeadura (DAS) e 112,5 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia, em cobertura, aos 26 DAS.

Simularam-se alterações na concentração de CO₂ de 350, 380, 450, 650 e 750 ppm, combinadas com cultivares de milho ideotipadas com sistema radicular predominantemente concentrado nos 0,30 m, 0,50 m e 0,70 m do perfil do solo e também o uso de 0 t, 2 t ha⁻¹ e 4 t ha⁻¹ de palhada de braquiária, com 1% de nitrogênio, disposta na superfície do solo. Assumiu-se como padrão um sistema de produção de sequeiro com as condições climáticas de outubro de 2009, com concentração de CO₂ atmosférico de 380 ppm, uma cultivar com sistema radicular de 0,50 m de profundidade e 2 t ha⁻¹ de palhada na superfície do solo (cenário 380 ppm, R=50/P=2).

Foram avaliadas, em relação ao padrão, as porcentagens de alteração da evapotranspiração da cultura no ciclo (ETcciclo), do índice de área foliar máximo (IAFmax) e do rendimento de grãos (Prod).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em comparação com uma cultivar com sistema radicular de 0,50 m de profundidade e 2 t ha⁻¹ de palhada na superfície do solo, nota-se que um aumento considerável da concentração de CO₂ atmosférico reduziu em apenas 2,3% a evapotranspiração acumulada no ciclo (ETcciclo) da cultura do milho (Figura 1). Esta tendência está em concordância com os dados de Hussain et al. (2013), que verificaram, em condições de sequeiro, valores menores de evapotranspiração em concentrações elevadas de CO₂ relativas ao controle. Com relação à palhada na superfície do solo, reduções elevadas na ETcciclo foram também obtidas com o aumento na quantidade desta, independentemente da concentração de CO₂. Vieira (1984) afirma que fatores, como cobertura vegetal, perfil do solo com menor revolvimento, mantendo a palhada da cultura anterior, em muitas situações, proporcionam maiores conteúdos de água disponível para as plantas. Decréscimos na evapotranspiração possibilitam uma maior retenção da umidade no solo, retardando o estresse durante períodos secos (Markelz et al., 2011). Hussain et al

(2013) obtiveram para milho de sequeiro uma redução de 9% na evapotranspiração (ET), em três épocas de cultivo, sob concentrações elevadas de CO₂. Além disso, obtiveram uma relação linear entre condutância estomática (gs) e ET, onde um decréscimo de 29% na condutância estomatal correspondeu a um decréscimo de 7% na ET do milho. Uma das mais consistentes respostas das plantas em concentrações elevadas de CO₂ é o decréscimo na condutância estomatal (Medlyn et al., 2001). Entretanto, ao considerarmos apenas a profundidade do sistema radicular, verifica-se que a ETcciclo foi alterada de forma oposta ao da palhada, isto é, à medida que se aumentou a profundidade do sistema radicular, houve aumento proporcional na ETcciclo (Figura 1) pois a disponibilidade de água do solo às plantas aumentou.

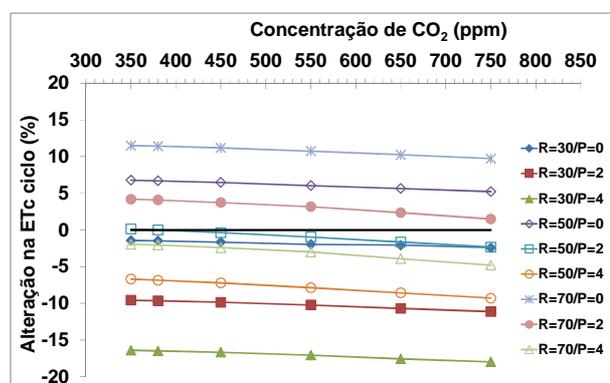


Figura 1. Variação na evapotranspiração acumulada no ciclo da cultura do milho em função da concentração de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, profundidade do sistema radicular (R) e quantidade de palhada (P) na superfície do solo.

O índice de área foliar máximo (IAFmax) da cultura do milho foi proporcionalmente mais afetado pela profundidade do sistema radicular e pela quantidade de palhada na superfície do solo do que por alterações na concentração de CO₂ (Figura 2). Entretanto, o efeito da palhada foi maior para uma cultivar com sistema radicular concentrado na camada 0-0,30 m. Para uma profundidade de sistema radicular de 0,70 m e mais de 2 t ha⁻¹ de palhada na superfície do solo verificou-se um incremento de até 17,5% no IAFmax. Este maior IAF evidencia a extração de água de camadas mais profundas devido ao comprimento radicular.

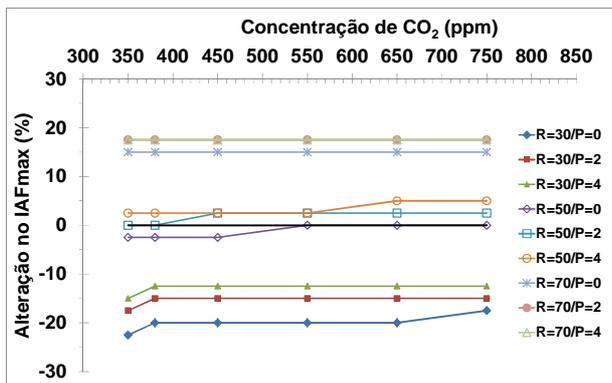


Figura 2. Variação no índice de área foliar máximo da cultura do milho em função da concentração de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, profundidade do sistema radicular (R) e quantidade de palhada (P) na superfície do solo.

O aumento na concentração de CO₂ não afetou o IAFmax em cultivares com sistema radicular de 0,50 e 0,70 m. Apenas para a cultivar com sistema radicular de 0,30 e sem palhada na superfície do solo houve um discreto aumento do IAFmax a partir da concentração de CO₂ de 650 ppm. Este aumento no IAFmax pode estar associado ao correspondente decréscimo na ETcciclo (**Figura 1**). Esta observação vai de encontro ao verificado por Hussain et al (2013) em milho de sequeiro, em que o decréscimo na evapotranspiração em elevada concentração de CO₂, associado a mudanças na umidade do solo suportava a afirmativa de que elevada concentração de CO₂ pode levar à conservação da umidade do solo, principalmente nas camadas superiores. Para esta observação específica, pode-se inferir que o CO₂ afetando a ET (**Figura 1**) estaria indiretamente contribuindo para a manutenção da umidade no solo e, consequentemente, para o aumento do IAFmax. Entretanto, para condições de ausência de seca, a redução na condutância estomática (menor ETcciclo) em elevada concentração de CO₂ não é compensada por maior área foliar do dossel (Leakey et al., 2006).

Considerando as condições de outubro de 2009, uma cultivar com sistema radicular de 0,5 m e 2 t ha⁻¹ de palhada na superfície, o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera proporcionou um aumento máximo de 2,4% no rendimento de grãos de milho (**Figura 3**). Características fotossintéticas e de crescimento de espécies C₄ geralmente não respondem a condições de elevadas concentrações de CO₂, exceto durante condições de seca (Leaky et al, 2009).

Para o cenário climático de outubro de 2009, o uso de uma cultivar com sistema radicular 0,20 m mais profundo pode proporcionar um aumento na produtividade de 17%. Por outro lado, se por questões de barreira física ou química, o sistema radicular do milho crescer somente até 0,30 m, a redução na produtividade pode chegar a 30%. O efeito da profundidade do sistema radicular no

rendimento da cultura foi consideravelmente mais relevante que as alterações na concentração de dióxido de carbono na atmosfera e que a quantidade de palhada mantida na superfície do solo. Portanto, medidas que favoreçam o aprofundamento do sistema radicular, quer via correção do solo, quer via melhoramento genético, são estratégias para manter ou aumentar a produtividade da cultura do milho.

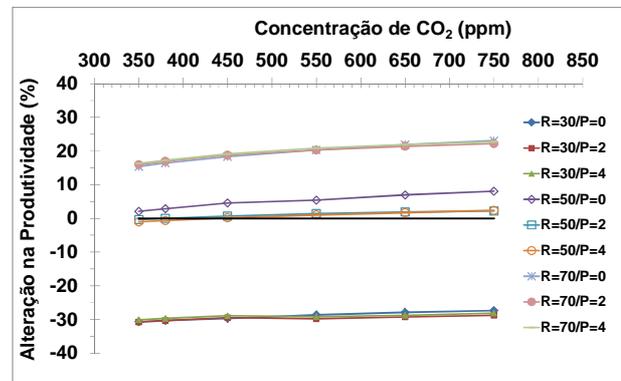


Figura 3. Variação da produtividade de grãos da cultura do milho em função da concentração de dióxido de carbono (CO₂), profundidade do sistema radicular (R) e quantidade de palhada (P) na superfície do solo.

CONCLUSÕES

A resposta da cultura do milho, em regime de sequeiro, ao aumento da concentração de dióxido de carbono atmosférico acima de 380 ppm foi pequena e dependente da profundidade do sistema radicular da cultivar empregada. O uso de uma cultivar com sistema radicular 0,20 m mais profundo que o 0,50 m considerado padrão pode proporcionar aumentos de produtividade de até 22% para concentrações elevadas de CO₂. O efeito da profundidade do sistema radicular no rendimento é muito mais significativo que o aumento da concentração de CO₂ e que o uso de palhada na superfície do solo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPEMIG e à Embrapa pelos recursos financeiros destinados à apresentação do artigo no congresso.

REFERÊNCIAS

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.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, D. F.; SANTANA, C. B.; MOURA, B. F.; CASTRO, L. A. **Metodologia para o estabelecimento do período de semeadura de milho**. Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 12 p.(Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, 88).

- FLOSS, E. L. Aveia, um sustentáculo do Sistema de Semeadura Direta. *Revista Plantio Direto*. n. 72, (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 4.5.1.013. Honolulu: University of Hawaii, 2013. 1 CD-ROM.
- HUSSAIN MZ; VANLOOKE A, SIEBERS MH, RUIZ-VERA U M, MERKELZ RJC, LEAKEY AD, ORT D, BERNACCHI CJ. Future carbon dioxide concentration decreases canopy evapotranspiration and soil water depletion by field-grown maize . *Global Change Biology* (2013), doi: 10.1111/gcb.12155.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press: Cambridge, 2007.
- LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, 304, 1623-1627, 2004.
- LEAKEY, A. D. B.; URIBELARREA, M.; AINSWORTH, E. A.; NAIDU, S. L.; ROGERS, A.; ORT, D.R.; LONG, S.P. Photosynthesis, productivity, and yield of maize are not affected by open air elevation of CO₂ concentration in the absence of drought. *Plant Physiology*, 140, 779–790, (2006).
- LEAKEY, A. D. B.; AINSWORTH, E. A.; BERNACCHI, C. J.; ROGERS, A.; LONG, S.P.; ORT, S. R. Elevated [CO₂] effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE. *Journal of Experimental Botany*, 60, 2859–2876, 2009.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P., PAIVA, E. **Fisiologia do Milho**. Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 23 p.(Circular Técnica/ Embrapa Milho e Sorgo, 22).
- MARKELZ, R. J. C.; STRELLNER, R. S.; LEAKEY, A. D. B. Impairment of C4 photosynthesis by drought is exacerbated by limiting nitrogen and ameliorated by elevated [CO₂] in maize. *Journal of Experimental Botany*, 62, 3235–3246, 2011.
- MEDLYN, B. E.; BARTON, C. V. M.; BROADMEADOW, M. S. J. Stomatal conductance of forest species after long-term exposure to elevated [CO₂] concentration: a synthesis. *New Phytologist*, 149, 247–264, 2001
- SANTANA, C. B.; ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; SILVA, D. F.; MOURA, B. F.; CASTRO, L. A. Parametrização do modelo Ceres-Maize para cultivares de milho. In: I **Seminário de Iniciação Científica PIBIC/BIC Júnior**, 2010, Sete Lagoas.
- SANTOS, M. S.; GHINI, R. Efeito do aumento da concentração de CO₂ do ar sobre a comunidade microbiana da rizosfera de mudas de Eucalyptus. In: 43 CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 2010, CUIABA. *Tropical Plant Pathology* (Impresso). BRASÍLIA: BRAZILIAN PHYTOPHATHOLOGICAL SOCYETY, 2010. v. 35. p. S291-S291.
- VIEIRA, M. J. Propriedades físicas do solo. In: IAPAR (Londrina, PR). **Plantio direto no estado do Paraná**.

