

## Avaliação, empregando simulação, da diferença na produtividade (*yield gap*) do milho em Minas Gerais

Bruna Gomes Magalhães <sup>(1)</sup>; Camilo de Lelis Teixeira da Andrade <sup>(2)</sup>; Priscila Ponciana Gomes da Silva <sup>(3)</sup>; Bruno Ferreira Melo <sup>(4)</sup>; Christoph Hermann Passos Tigges <sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> Mestranda em Ciências Agrárias, Universidade Federal de São João del-Rei <sup>(2)</sup> Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, camilo.andrade@embrapa.br; <sup>(3)</sup> Graduanda em Engenharia Agrônoma, Universidade Federal de São João del-Rei; <sup>(4)</sup> Graduando em Engenharia Ambiental, UNIFEMM – Centro Universitário de Sete Lagoas; <sup>(5)</sup> Graduando em Engenharia Agrônoma, Universidade Federal de São João del-Rei.

**RESUMO:** O milho tem grande importância para o país pois, além de suprir a cadeia de produção de carne e leite e de alimentos humanos, faz parte da pauta de exportações. Todavia, a produtividade de sequeiro em algumas regiões ainda é baixa, demandando estudos para se conhecerem as causas e estabelecerem estratégias que permitam aumentar o rendimento. Este tipo de pesquisa é facilitado com a utilização de simulações empregando modelos de crescimento de culturas, como os do sistema DSSAT. Objetivou-se neste trabalho avaliar, através de simulações, as diferenças entre as produtividades de milho (*yield gaps*) para diferentes municípios do estado de Minas Gerais. Empregou-se o modelo CSM-CERES-Maize, do sistema DSSAT, para simular as produtividades médias potencial e atingível do milho na safra, em regime de sequeiro, em cada município. A produtividade real média, de cada município, foi obtida junto à base de dados do IBGE. Com estes dados determinaram-se as diferenças (*gaps*) entre a produtividade potencial e a produtividade atingível, entre a produtividade potencial e a produtividade real e entre a produtividade atingível e a produtividade real. Posteriormente, calcularam-se as porcentagens de quebra devido ao estresse hídrico e devido ao manejo da cultura. Quebras de produtividade, decorrentes do estresse hídrico, acima de 60% foram determinadas em Aimorés, Bambuí, Ituiutaba, Paracatu e Viçosa; da mesma forma, quebras acima de 60%, relativas ao manejo, foram simuladas para Araçuaí, Caratinga, Itamarandiba, Pompéu e Uberaba. Investimentos em irrigação e em tecnologia de cultivo tem o potencial de elevar o rendimento de milho dessas localidades para valores próximos às produtividades potenciais simuladas.

**Termos de indexação:** *Yield gap*; modelagem; DSSAT; *Zea mays* (L.).

### INTRODUÇÃO

O aumento do rendimento das culturas visando o incremento da produção agrícola são grandes desafios, principalmente quando se leva em consideração a importância da cultura do milho na cadeia de produção de leite e carne e de alimentos humanos. A produtividade desta cultura é influenciada por diversos fatores, abióticos ou não, que podem levar à rendimentos aquém do esperado (SENTELHAS et al., 2015).

Sentelhas & Battisti (2015) classificaram as produtividades das culturas em: produtividade potencial (PP), produtividade atingível (PA) e produtividade real (PR). A PP representa a produtividade que é obtida sem nenhum estresse biótico ou abiótico. A PA refere-se a uma produtividade de sequeiro, ou seja, penaliza-se a PP se houver restrição hídrica. Considera-se que na PA há também um déficit nutricional, pois, a água é o veículo para a absorção de nutrientes do solo. Por último, a PR, que além das restrições hídricas e nutricionais, é penalizada por outras condições de manejo da cultura como controle de pragas e doenças, adubação, épocas de semeadura etc. As quebras de produtividade, também conhecidas como *yield gaps*, representam as diferenças ou defasagens entre estes tipos de produtividade (SENTELHAS & BATTISTI, 2015; VAN ITTERSUM, et al., 2013). As principais causas dessas quebras estão relacionadas à fatores climáticos, tendo em vista que a cultura do milho é sensível à variabilidade agroclimática (MALDANER et al., 2014) e às condições de manejo.

Para Lobell et al. (2009), é importante avaliar e conhecer essas quebras de produtividade, primeiro porque pode-se direcionar estratégias de manejo para reduzi-las e, segundo, porque auxilia nas projeções de rendimento e no direcionamento de esforços de aumento da produtividade, de acordo com cada localidade.

Considerando a interação existente entre os fatores que afetam a produção agrícola e a importância de se avaliarem as quebras de produtividade, o uso da modelagem é indicado, pois permite minimizar custos com experimentação e agilizar as análises. Neste sentido, o modelo de

crescimento de culturas CSM-CERES-Maize (JONES et al., 1986), do sistema DSSAT (JONES et al., 2003), vem ganhando destaque, pois permite a análise da dinâmica da água e nutrientes no solo e a avaliação do efeito das práticas de manejo no desempenho das culturas.

O presente estudo teve por objetivo avaliar, através de simulações, as quebras de produtividade de milho na safra (*yield gaps*), em diferentes municípios do estado de Minas Gerais.

### MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em 19 cidades, de modo a representar as mesorregiões do estado de Minas Gerais, sendo: Aimorés, Araçuaí, Araxá, Bambuí, Caratinga, Curvelo, Ituiutaba, Itamarandiba, Janaúba, Lavras, Machado, Montes Claros, Patos de Minas, Paracatu, Pompéu, Sete Lagoas, Unai, Uberaba e Viçosa.

Séries históricas de clima, contendo 33 anos de dados diários de temperatura mínima e máxima, precipitação e insolação, foram obtidas da base do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Em propriedades agrícolas dos mesmos municípios, foram coletadas amostras, em cinco camadas do perfil do solo, para determinação dos atributos físico-hídricos e químicos do solo.

Dados de clima e de solos foram preparados como arquivos de entrada do modelo CSM-CERES-Maize, do sistema DSSAT, versão 4.6.1 (HOOGENBOOM et al., 2014), previamente parametrizado e avaliado para a cultivar DKB390PRO. A cultivar foi escolhida por se tratar de um híbrido que era altamente utilizado no período do estudo de calibração (ANDRADE et al., 2016). Simulou-se a produtividade potencial, desconsiderando a demanda de água e de nitrogênio, e a produtividade atingível, compatível com um cultivo de safra em sequeiro, para cada município. Dados de rendimento simulados semanalmente foram utilizados para determinar a melhor data de semeadura para a produção de milho, em regime de sequeiro, em cada município, seguindo a metodologia proposta por Amaral et al. (2009). Os rendimentos obtidos na melhor data de semeadura de cada município foram utilizados para determinar as *yield gaps*. A produtividade real média de cada município foi obtida junto à base de dados do Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA (IBGE, 2015).

Considerou-se uma lavoura de milho de alta produtividade, semeada em sistema plantio direto, compatível com o elevado potencial produtivo do híbrido DKB390PRO. A população de plantas foi de 68 mil plantas por hectare, com um espaçamento entre fileiras de 0,50 metros. A semeadura ocorreu

a uma profundidade de 0,05 m. Não foi simulado o efeito de fertilizações com fósforo e potássio e nem o efeito de estresses decorrentes de pragas, doenças e plantas invasoras.

A adubação de plantio consistiu em 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, 140 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ambos na forma de monoamônio fosfato (MAP); e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de cloreto de potássio (KCl). Na adubação de cobertura considerou-se 150 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, na forma de ureia, aplicados 25 dias após semeadura (DAS), e 70 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de cloreto de potássio, aplicados aos 40 DAS. Essa configuração foi adotada como entrada para o modelo de simulação.

Para determinação das quebras de produtividade, foram comparadas as PP, PA e PR e calculadas as diferenças entre elas. A partir da diferença, foi calculado o percentual de quebra de produtividade relativa à limitação hídrica e relativa ao manejo, conforme descrito em Sentelhas & Battisti (2015). A diferença entre a PP e a PA indica a quebra devido ao estresse hídrico, enquanto a diferença entre a PA e a PR indica a quebra devido ao manejo da cultura. Estas diferenças foram comparadas, em percentual, com a diferença total entre a PP e a PR.

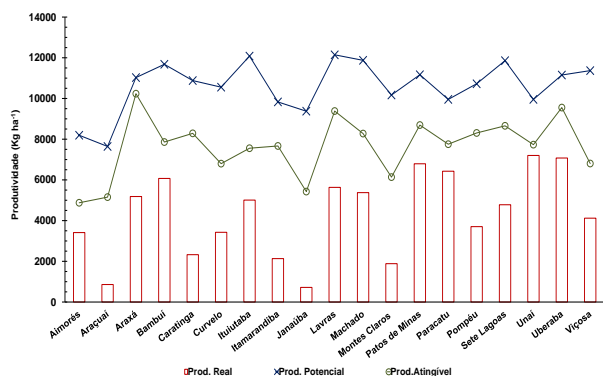
### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se considerável diferença, tanto nos valores de produtividade potencial, quanto nos de produtividade atingível para os diferentes municípios (**Figura 1**). A PP variou de 7.643 kg ha<sup>-1</sup>, em Araçuaí, a 12.082 kg ha<sup>-1</sup>, em Ituiutaba, enquanto a PA variou de 4.876 kg ha<sup>-1</sup>, em Aimorés, a 10.235 kg ha<sup>-1</sup>, em Araxá. Tais diferenças nas produtividades entre os municípios estão relacionadas aos fatores climáticos, como temperatura, precipitação e radiação solar (GALON et al., 2010).

Os municípios de Aimorés, Paracatu e Unai apresentaram produtividades médias reais (IBGE, 2015) mais próximas da PA. Nessas localidades, possivelmente, há um investimento maior em tecnologias de cultivo, como o uso de cultivares de elevado potencial produtivo, adubações para altas produtividades e controle mais rigoroso de pragas e doenças. É possível que alguns produtores destes municípios, como Aimorés, estejam também utilizando irrigação nas lavouras de milho.

Araxá, Janaúba e Montes Claros apresentaram produtividades reais bem aquém das produtividades atingíveis e potenciais. Nessas localidades, as condições edafoclimáticas proporcionam um potencial de produção de milho mais elevado do que atualmente é obtido pelos produtores,

demandando, portanto, maior compreensão dos fatores ligados a estas baixas produtividades. Os municípios de Araxá e Uberaba chamam a atenção por apresentarem produtividades atingíveis, bem próximas das produtividades potenciais. Isso é decorrente das condições climáticas favoráveis à cultura do milho, principalmente quanto ao regime hídrico e térmico, com chuvas bem distribuídas e temperaturas noturnas mais amenas.



**Figura 1.** Produtividade potencial (PP), produtividade atingível (PA) e produtividade real (PR) em kg ha<sup>-1</sup> de 19 cidades do estado de Minas Gerais.

Ao se avaliar o percentual de redução de produtividade relativa a água, nota-se que o município de Unai apresentou a maior defasagem, com 80,7% de quebra (Tabela 1), indicando que os produtores deste município empregam alta tecnologia de produção no manejo da cultura, fazendo com que a PR se aproxime da PA. Vale ressaltar que, apesar do maior percentual de quebra pra essa localidade ser devido à água, nessa região o cultivo do milho na safra é feito em grande parte sob pivô central, o que confere altos valores de produtividade. Sendo assim incrementos nesse sistema de irrigação podem ainda elevar mais a produtividade próxima a potencial. Lobell et al. (2009) afirmam que 80% da PP pode ser alcançada com melhorias no manejo da cultura e com o uso de irrigação.

Outros municípios, como Aimorés, Bambuí, Ituiutaba, Paracatu e Viçosa, também apresentaram quebra de produtividade, devido à água, acima de 60%, indicando que a irrigação possa garantir o aumento da produtividade para valores próximos do PP. A quebra de produtividade relativa à água foi diferenciada entre os municípios, devido principalmente às condições climáticas e ao nível tecnológico, relacionado à irrigação, adotado pelos produtores.

Meireles et al. (2003), avaliando épocas de

semeadura com intuito em minimizar quebras em produtividade para a cultura do feijão em Goiás, encontrou defasagens no rendimento, relativa à água, de até 98%. Eles concluíram que, em determinadas épocas de cultivo na seca, a cultura só deve ser produzida com irrigação, devido à alta possibilidade de perda.

O maior percentual de defasagem do rendimento, relativo ao manejo (controle de pragas e doenças, adubação, épocas de semeadura), foi de 86,4%, no município de Araxá. Percentuais maiores que 60% de quebra de produtividade relativa ao manejo foram observados nas cidades de Araçuaí, Caratinga, Itamarandiba, Pompéu e Uberaba. Esses valores evidenciam que os níveis tecnológicos de manejo empregados nesses municípios de Minas Gerais tendem a não serem suficientes para obtenção de produtividades elevadas no regime de sequeiro. É possível que a data de semeadura não seja a mais recomendada, ou que as cultivares utilizadas não possuem o potencial produtivo capaz de responder positivamente às condições climáticas dos municípios.

**Tabela 1.** Percentual de quebra de produtividade, relativa à água e relativa ao manejo da cultura, em 19 cidades do estado de Minas Gerais.

Cidade MG	Quebra relativa à água (%)	Quebra relativa ao Manejo (%)
Aimorés	69,4	30,6
Araçuaí	36,7	63,3
Araxá	13,6	86,4
Bambuí	68,1	31,9
Caratinga	30,3	69,7
Curvelo	52,7	47,3
Ituiutaba	64,0	36,0
Itamarandiba	28,1	71,9
Janaúba	45,6	54,4
Lavras	42,4	57,6
Machado	55,4	44,6
Montes Claros	48,7	51,3
Patos de Minas	56,5	43,5
Paracatu	62,4	37,6
Pompéu	34,4	65,6
Sete Lagoas	45,2	54,8
Unai	80,7	19,3
Uberaba	39,2	60,8
Viçosa	63,0	37,0

Quebras de produtividade relativas ao manejo com valores tão altos como em Araxá, Pompéu e Uberaba podem estar relacionados com o cultivo do milho na safrinha. Os valores simulados foram para safra e nessas localidades a produção do milho tem sido substituída pela soja, e o milho plantado mais na safrinha, o que pode ter conferido a redução na produtividade real dessas cidades.

De modo análogo a este estudo, produtividades de soja potenciais, atingíveis e reais foram determinadas para algumas regiões brasileiras. Pelos valores encontrados, os autores encontraram níveis de quebra de produtividade diferentes entre as localidades, sendo que as maiores quebras foram devidas à restrição hídrica (SENTELHAS et al., 2015), indicando que a tecnologia de produção de soja, possivelmente, seja mais elevada da empregada na cultura do milho.

### CONCLUSÕES

As maiores quebras de produtividade (yield gaps), relativas à restrição hídrica, foram observadas em Aimorés, Bambiú, Ituituba, Paracatu, Unaí e Viçosa. Investimentos em irrigação têm o potencial de elevar a produtividade nessas localidades.

Araxá, Araçuaí, Caratinga, Itamarandiba, Pompéu e Uberaba foram os municípios com as maiores defasagens relativas ao manejo da cultura do milho. O incremento na tecnologia de cultivo (controle de pragas e doenças, adubação, épocas de semeadura) nesses locais tem potencial para aproximar a produtividade real da produtividade que se pode atingir no regime de sequeiro no período de semeadura determinado para cada localidade.

### REFERÊNCIAS

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. Documento n.88, 13p. **Embrapa Milho e Sorgo**. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, 2009.

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

GALON, L.; TIRONI, S. P.; DA ROCHA, A. A.;

SOARES, E. R.; CONCENÇO, G.; ALBERTO, C. M. Influência dos fatores abióticos na produtividade da cultura do milho. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 4, n. 3, 2011.

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. DSSAT Foundation, Prosser, Washington, 2014.

IBGE. 2015. **Sistema IBGE de Recuperação Automática-SIDRA**: tabela 839 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida e rendimento médio de milho, 1ª e 2ª safras. Disponível em: <http://http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=839&z=p&o=28>. Acesso em: 01 nov. 2015.

Jones, C. A.; Kiniry, J. R.; Dyke, P. T. CERES-Maize: A Simulation Model for Maize Growth and Development. A&M University Press, **College Station**, TX, USA, 1986.

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

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

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

MEIRELES, E. J. L.; PEREIRA, A. R.; SENTELHAS, P. C.; STONE, L. F.; & ZIMMERMANN, F. J. P. Risco climático de quebra de produtividade da cultura do feijoeiro em Santo Antônio de Goiás, GO. **Bragantia**, v. 62, n. 1, p. 163-171, 2003

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; & NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil—magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **The Journal of Agricultural Science**, v. 153, n. 08, p. 1394-1411, 2015.

SENTELAS, P. C.; BATTISTI, R. Clima e Produtividade da Soja: Efeitos nas produtividades



potencial, atingível e real. **Boletim Técnico 2015/2016**. Fundação Mato Grosso. Santa Cruz do Sul, RS. Editora Gazeta, 2015.

VAN ITTRSUM, M. K.; CASSMAN, K. G.; GRASSINI, P.; WOLF, J.; TITTONELL, P.; HOCHMAN, Z. Yield gap analysis with local to global relevance—a review. **Field Crops Research**, v. 143, p. 4-17, 2013.



# XXXI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO

"Milho e Sorgo: inovações,  
mercados e segurança alimentar"

---