

Calibração e avaliação do modelo CSM-Ceres-Maize para cultivares crioulas e melhoradas de milho

Stefanía Dalmolin da Silva⁽¹⁾; Nereu Augusto Streck⁽²⁾; Isabel Lago⁽³⁾, Angélica Durigon⁽⁴⁾; Josana Andrea Langner⁽⁵⁾;

⁽¹⁾Doutoranda em Engenharia Agrícola, PPGEA, Depto de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria/Santa Maria – RS; (tefa.ds@hotmail.com); ⁽²⁾ Orientador, Professor, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria/Santa Maria – RS; ⁽³⁾ Professora, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria/Santa Maria – RS; ⁽⁴⁾ Professora, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria/Santa Maria – RS; ⁽⁵⁾ Doutoranda em Engenharia Agrícola, PPGEA, Depto de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria/Santa Maria – RS;

RESUMO: O objetivo deste estudo foi calibrar e validar o modelo CSM-Ceres-Maize, para duas cultivares crioulas de milho (‘Cinquentinha’ e ‘Bico de Ouro’), e duas cultivares melhoradas de milho [uma do tipo polinização aberta (VPA) (‘BRS Missões’) e um híbrido simples (‘AS1573PRO’)] na condição sem limitação hídrica na região subtropical do Rio Grande do Sul, Brasil. O modelo utilizado neste estudo foi o modelo CSM-Ceres-Maize, disponível na plataforma DSSAT v4.5. A calibração do modelo foi realizada com dados de um experimento com semeadura em 04/11/2013 e teste com dados independentes de três datas de semeaduras, 20/08/2013, 03/02/2014 e 15/08/2014. O modelo foi capaz de simular a fenologia das quatro cultivares, captando a evolução de cada uma no decorrer do seu ciclo.

Termos de indexação: modelagem agrícola, variedade local

INTRODUÇÃO

O milho é uma das três principais culturas agrícolas de verão no Rio Grande do Sul, tendo papel importante na alimentação básica mundial, pois é o segundo alimento mais produzido no mundo (FAO, 2016). As cultivares crioulas de milho, do tipo polinização aberta (VPAs), têm ganhado importância em algumas comunidades de pequenos agricultores familiares no RS, pois são cultivares mais resistentes a fatores bióticos e abióticos (Machado et al., 2011), e possibilitam a produção de semente pelo próprio agricultor com redução dos custos da lavoura (Araujo & Nass, 2002), o que é importante na sustentabilidade e na economia familiar destas comunidades.

A modelagem agrícola é uma ferramenta que, através de equações matemáticas, descreve o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade

das culturas agrícolas. Quando devidamente calibrados e testados para as condições locais de estudo, os modelos agrícolas são ferramentas que auxiliam na tomada de decisão de práticas de manejo (Streck et al., 2003,a,b), em estudos da resposta das culturas à variabilidade climática e de mudança climática (Streck & Alberto, 2006a,b; Streck et al., 2008; Streck et al., 2011) e atualmente tem sido utilizado na previsão e acompanhamento de safras (Shin et al., 2006; Streck et al., 2013).

Entre os modelos de simulação para a cultura do milho, o modelo CSM-Ceres-Maize é um dos mais conhecidos e usados em estudos numéricos. CSM-Ceres-Maize é um modelo ecofisiológico dinâmico, determinístico, baseado em processos (*Process-based model*) bastante usado mundialmente (Carberry et al., 1989; Liu et al., 1989; Asadi & Clemente, 2003; Gedanken et al., 2003). Com este modelo é possível simular o crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do milho, considerando-se o efeito de cultivar, densidade de planta, clima, estresse hídrico e nutricional, efeito de pragas e doenças e eventos extremos do clima (Jones & Kiniry, 1986).

Como qualquer modelo agrícola, no CSM-Ceres-Maize existem coeficientes genéticos que necessitam de calibração, para poder representar a genética de cada cultivar. Os coeficientes P1, P2, P5 e PHINT são aqueles que governam a fenologia, enquanto G2 e G3 governam a produtividade de grãos da cultura do milho no modelo. P1 representa graus-dia da emergência até o fim do estágio juvenil ($T_b=8^{\circ}\text{C}$), P2 é um coeficiente de sensibilidade ao fotoperíodo, P5 é graus-dia do florescimento feminino até a maturidade fisiológica ($T_b=8^{\circ}\text{C}$), G2 representa o número potencial de grãos por planta, G3 é a taxa potencial de enchimento de grãos ($\text{mg grão}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) e PHINT representa o filocrono ($^{\circ}\text{C dia}$) (Jones et al., 2003).

O objetivo deste trabalho foi calibrar e avaliar o modelo CSM-Ceres-Maize para cultivares crioulas e melhoradas de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento a campo foi realizado no ano agrícola 2013/2014 na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, RS.

O delineamento foi de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo cada repetição uma parcela com dimensões de 5.0x4.5 m (22.5 m²). Cada parcela continha 5 linhas, onde as 3 linhas centrais seriam utilizadas para marcação de plantas para avaliação de dados necessários ao modelo. O espaçamento entre minhas foi de 0.9m e entre plantas foi de 0.2m, totalizando uma densidade de plantas de 5.5 pl m⁻².

As cultivares utilizadas neste estudo foram duas cultivares crioulas, 'Cinquentinha' (Ciclo Precoce) e 'Bico de Ouro' (Ciclo Tardio); e duas cultivares melhoradas, uma de polinização aberta (VPA), 'BRS Missões' (Ciclo Precoce), e um híbrido simples, 'AS 1573PRO' (Ciclo Precoce).

Foram realizadas três datas de sementeiras, uma cedo em 20/08/2013, uma intermediária em 04/11/2013 e uma tardia em 03/02/2014, a fim de expor as plantas a diferentes condições meteorológicas. Nas cultivares melhoradas foram avaliadas 15 plantas, enquanto que nas crioulas, por apresentarem maior variabilidade genética, foram avaliadas 45 plantas.

As variáveis avaliadas foram: emergência (EM), florescimento (R1) e maturidade fisiológica (R6), quando 50% desses estágios ocorriam e contato o número final de folhas.

Para calibrar o modelo CSM-Ceres-Maize foi utilizado os dados coletados durante a segunda data de sementeira (04/11/2013), pois é nessa data em que as plantas passaram por condições ótimas para seu desenvolvimento e crescimento. A primeira e terceira data de sementeira (20/08/2013 e 03/02/2014) foram utilizadas como dados independentes para testar o modelo.

As estatísticas utilizadas para avaliar o desempenho do modelo em o desenvolvimento foram a Raiz do Quadrado Médio do Erro (RMSE) (Janssen and Heuberger, 1995), RMSE normalizado (Loague & Green, 1991), Correlação de Pearson (Willmott, 1981) e Índice BIAS (Wallach, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **Tabela 1** estão os parâmetros genéticos calibrados para as quatro cultivares utilizadas. O P1

variou de 225 a 360 °C dia⁻¹, P2 variou de 0,0 a 0,8 dias, P5 variou de 639,6 a partir de 896.0°C dia⁻¹, G2 variou de 400 a 900 grãos por planta, G3 variou de 8 a 21 mg.dia⁻¹ e PHINT variou de 41,66 a 45,45 °C day⁻¹ (a cultivar 'BRS Missões' tem a maior taxa de aparecimento de folhas).

O observado vs. Simulado de dias após a sementeira (DAS) para a emergência (EM), florescimento (R1) e maturação fisiológica (R6) (A), e o número final de folhas (NFF) (B) para os quatro cultivares estão na **Figura 1**. No geral, o RMSE foi de 4,3 dias, o modelo subestimou as datas fases (BIAS=-0.03), mas outras estatísticas (r e NRMSE) indicou excelente desempenho do modelo na simulação da fenologia de todas as cultivares (**Figura 1A**). Na primeira época de sementeira, a data emergência foi superestimada para todas as cultivares (RMSE = 1 dia) (**Tabela 2**), a data de R1 foi subestimada por 'Cinquentinha' (RMSE=12 dias) e superestimada para 'Bico de Ouro' (RMSE=2 dias). Para 'BRS Missões' e 'AS 1573PRO1', a data de ocorrência do estágio R1 foi subestimada (RMSE=4 dias, RMSE=3 dias, respectivamente) (**Tabela 2**) e para a data do estágio R6, o modelo subestimou em todas as cultivares, para 'Cinquentinha' em 10 dias, 'Bico de Ouro' em 3 dias, 'BRS Missões' em 6 dias e 'AS 1573PRO' em 3 dias (**Tabela 2**). Para a terceira época de sementeira, data da emergência simulada pelo modelo foi a mesma que a data observado para 'Cinquentinha', 'Bico de Ouro' e 'BRS Missões' (RMSE=0 dia) (**Tabela 2**) e para 'AS 1573PRO' o modelo superestimou (RMSE = 1 dia) (**Tabela 2**), a data de R1 foi superestimada para 'Cinquentinha', 'Bico de Ouro' e 'AS 1573PRO' em 1, 6 e 1 dias, respectivamente (**Tabela 2**). Os dados de maturidade fisiológica na terceira época de sementeira não foram utilizados na comparação observado x simulado, porque uma geada em 20 de Junho 2014 matou as plantas no campo e o modelo CSM-Ceres-Maize não mata as plantas por geada.

Para a variável número final de folha (NFF), o RMSE geral foi de 1,99 folhas e o modelo ligeiramente superestimou (BIAS=0,02), mas outras estatísticas (r e NRMSE) indicam que o desempenho do modelo foi bom (**Figura 1B**). Na primeira época de sementeira, o modelo subestimou a NFF das cultivares 'Cinquentinha' e 'AS 1573PRO' (RMSE=4,1; RMSE=0,6), e superestimou para 'Bico de Ouro' e 'BRS Missões' (RMSE = 0,9) (**Tabela 2**). Na terceira época de sementeira, o modelo superestimou o NFF de 'Bico de Ouro', 'BRS Missões' e 'AS1573PRO' (RMSE=2,6; RMSE =1,5; RMSE=2) e para 'Cinquentinha' o modelo foi excelente (RMSE=0,3) (**Tabela 2**).

CONCLUSÕES

O modelo CSM-Ceres-Maize foi calibrado e testado para variedades de polinização aberta, seja crioula ou melhorada, conseguindo captar com boa precisão a fenologia destes materiais.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, P.M.; NASS, L.L. Caracterização e avaliação de populações de milho crioulo. **Scientia Agricola**, v.59, n.3, p.589-593, 2002.
- ASADI, M.E.; CLEMENTE, R.S. Evaluation of CERES-Maize of DSSAT model to simulate nitrate leaching, yield and soil moisture content under tropical conditions. **Food, Agriculture and Environment**, v.1, p. 270-276, 2003.
- CARBERRY, P.S.; MUCHOW, R.C.; McCOWN, R.L. Testing the CERES-Maize Simulation model in a Semi-Arid Tropical Environment, **Field Crops Research**, v.20, p. 297-315, 1989.
- FAO. Food And Agriculture Organization Of The United Nations. **Boletín de Agricultura familiar de América Latina y el Caribe, Julio-Septiembre, 2012**. Online. Disponível na Internet: http://www.rlc.fao.org/uploads/media/baf_201209.pdf. Acessado em: 28 de Junho de 2016.
- JANSSEN, P.H.M.; HEUBERGER, P.S.C. Calibration of process-oriented models. **Ecological Modelling**, v.83, p.55-56, 1995.
- JONES, C.A.; KINIRY, J.R. **Ceres-Maize: A simulation model of maize growth and development**. Texas A&M University Press, College Station, Texas, 1986. 94p.
- JONES et al. The DSSAT cropping system model. **European journal of agronomy**, v. 18, n. 3, p. 235-265, 2003.
- LIU, W.T.H.; BOTNER, D.M.; SAKAMOTO, C.M. Application of Ceres-Maize model to yield prediction of a Brazilian maize hybrid*. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.45, p. 299-312, 1989.
- LOAGUE, K., GREEN, R.E., 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, v.7, p.51-73, 1991.
- MACHADO, A.T.; MACHADO, C.T.T.; NASS, L.L. Manejo da diversidade genética e melhoramento participativo de milho em sistemas agroecológicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, RS, v.6, n.1, p. 127-136, 2011.
- SHIN, D. W.; BELLOW, J. G.; LAROW, T. E.; COCKE, S.; O'BRIEN, J. J. The role of an advanced land model in seasonal dynamical downscaling for crop model application. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 45, p. 686-701, 2006.
- STRECK, N. A.; WEISS, A.; XUE, Q.; BAENZIGER, S. Incorporating a chronology response into prediction of leaf appearance rate in winter wheat, **Annals of Botany**, v. 92, p. 181-190, 2003a.
- STRECK, N. A.; WEISS, A.; XUE, Q.; BAENZIGER, S. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: a modified Wang and Engel model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 115, p. 139-150, 2003b.
- STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 424-433, 2006a.
- STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1351-1359, 2006b.
- STRECK., N.A.; SILVA, S.D.; LAGNER, J.A. Assessing the response of maize phenology under elevated temperature scenarios. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, p. 1-12, 2011.
- STRECK, N.A.; SILVA, M.R.; ROSA, H.T.; WALTER, L.C.; BENEDETTI, R.P.; CARLI, C.; CHARÃO, A.S.; MARCOLIN, E.; FERRAZ, S.E.T.; MARCHESAN, E. Acompanhamento da safra 2012/2013 de arroz irrigado no Rio Grande do Sul por modelagem numérica. **Ciência e Natura**, Edição Especial, p. 368-372, 2013.
- WALLACH, D. **Evaluating crop models**. p. 11-50. In D. Wallach et al. (ed.) Working with dynamic crop models: Evaluation, analysis, parameterization, and applications. Elsevier, Amsterdam. 2006.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**. v.2, p.184-194, 1981.

Tabela 1 – Parâmetros genéticos calibrados do modelo CSM-Ceres-Maize para duas cultivares crioulas ‘Cinquentinha’ e ‘Bico de Ouro’, e duas cultivares melhoradas, uma variedade de polinização aberta ‘BRS Missões’ e um híbrido simples ‘AS 1473PRO’.

Cultivar	Parâmetros					
	P1	P2	P5	G2	G3	PHINT
‘Cinquentinha’	225.0	0.800	896.0	500.0	8.0	45.45
‘Bico de Ouro’	360.0	0.000	824.0	400.0	10.0	43.47
‘BRS Missões’	300.0	0.000	639.6	700.0	17.0	41.66
‘AS 1573PRO’	290.0	0.500	773.8	900.0	21.0	45.45

Tabela 2 – Raiz Quadrada Média do (RMSE) dos valores para a simulação da emergência (EM), florescimento (R1), maturidade fisiológica (R6) e número final de folhas (NFF) para duas cultivares crioulas ‘Cinquentinha’ e ‘Bico de Ouro’, e duas cultivares melhoradas, uma variedade de polinização aberta ‘BRS Missões’ e um híbrido simples ‘AS 1473PRO’ com o modelo CSM-Ceres-Maize, em Santa Maria, RS, em duas datas de semeadura.

Cultivar	EM	R1	R6	FLN
	Dias			Folhas planta ⁻¹
Data de semeadura: 20/08/2013				
‘Cinquentinha’	1	12	10	4.1
‘Bico de Ouro’	1	2	6	0.9
‘BRS Missões’	1	4	3	0.9
‘AS 1573PRO’	1	3	6	0.6
Data de semeadura: 03/02/2014				
‘Cinquentinha’	0	1	-	0.3
‘Bico de Ouro’	0	6	-	2.6
‘BRS Missões’	0	0	-	1.5
‘AS 1573PRO’	1	1	-	2.0

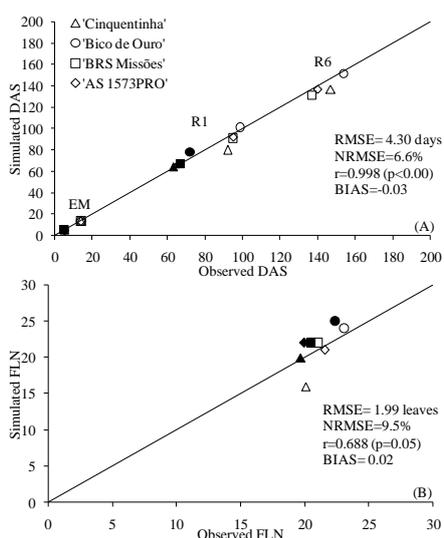


Figura 1. Dias após a semeadura (DAS) observado vs. simulado (A) para a emergência (EM), florescimento (R1) e maturidade fisiológica (R6), e Número final de folhas (FLN) (B) para duas cultivares crioulas ‘Cinquentinha’ e ‘Bico de Ouro’, e duas cultivares melhoradas, uma variedade de polinização aberta ‘BRS Missões’ e um híbrido simples ‘AS 1473PRO’ com o modelo CSM-Ceres-Maize, em Santa Maria, RS, em

duas datas de semeadura usando o modelo CSM-Ceres-Maize. Símbolos brancos são dados da primeira data de semeadura (20/08/2013), símbolos em preto são para dados da terceira data de semeadura (03/02/2014).