

## Simulação do Número de Folhas de Cultivares Crioulas e Melhoradas de Milho com Modelos Agrícolas

**Nereu Augusto Streck<sup>(1)</sup>; Josana Andrea Langner<sup>(2)</sup>; Stefanía Dalmolin da Silva<sup>(3)</sup>; Angélica Durigon<sup>(4)</sup>; Isabel Lago<sup>(5)</sup>;**

<sup>(1)</sup>Professor, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria/Santa Maria – RS ([nstreck2@yahoo.com.br](mailto:nstreck2@yahoo.com.br)); <sup>(2)</sup> Doutoranda em Engenharia Agrícola, PPGEA, Depto. de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria/Santa Maria – RS; <sup>(3)</sup> Doutoranda em Engenharia Agrícola, PPGEA, Depto. de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria/Santa Maria – RS; <sup>(4)</sup> Professora, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria/Santa Maria – RS; <sup>(5)</sup> Professora, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria/Santa Maria – RS

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi comparar a simulação da emissão de folhas de cultivares crioulas e melhoradas de milho realizada pelos modelos CSM-CERES-Maize (modelo linear), e Wang e Engel (modelo não linear). Foram realizados dois experimentos nas safras agrícolas 2013/2014 e 2014/2015, com delineamento de blocos ao acaso. Os coeficientes dos modelos foram calibrados a partir de um conjunto de dados de número de folhas totais de plantas, coletados na data semeadura de 04/11/2013, do ano 2013/14, para as cultivares crioulas ‘Cinquentinha’ e ‘Bico de ouro’ e o híbrido simples ‘AS 1573PRO’. Para a variedade de polinização aberta melhorada ‘BRS Planalto’, os coeficientes foram estimados com dados da semeadura de 13/12/2014, do ano 2014/15. A avaliação dos modelos foi realizada com dados independentes das datas de semeaduras dos anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015 em Santa Maria, RS, Brasil. A melhor estimativa do número total de folhas, tanto para cultivares crioulas como melhoradas, foi obtida com o modelo Wang e Engel. A raiz do quadrado médio do erro do modelo Wang e Engel foi de 1,0 folha, em comparação com o modelo linear CSM-Ceres-Maize, em que a raiz do quadrado médio do erro foi de 1,5 folha.

**Termos de indexação:** ciclo de desenvolvimento, *Zea mays* L., modelagem das culturas

### INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) tem importante papel socioeconômico devido a sua variedade de utilizações, tanto na alimentação humana e animal, quanto na indústria. Considerando sua variabilidade genética, as cultivares de milho podem ser agrupadas em cultivares locais, tradicionais ou crioulas (CLTCs), todas do tipo variedades de

polinização aberta (VPA), e em cultivares melhoradas, que incluem VPAs e híbridos (Morris et al., 2003).

O número de folhas é uma importante variável, que está relacionada com o surgimento de estágios de desenvolvimento, com a expansão da área foliar e algumas práticas de manejo (Streck et al., 2009a).

A modelagem das culturas agrícolas é uma ferramenta que descreve, a partir de equações matemáticas, o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas. Quando o modelo está com parâmetros genéticos devidamente calibrados e testados para as condições de estudo, pode auxiliar na tomada de decisão de práticas de manejo (Streck et al., 2003), e na compreensão da resposta das culturas à variabilidade climática e mudança climática (Streck & Alberto, 2006; Streck et al., 2008; Streck et al., 2012).

Os modelos agrícolas de desenvolvimento de plantas podem ser separados em lineares e não lineares, ambos em função da temperatura do ar, porém com respostas distintas. Um exemplo de modelo linear é o modelo CSM-Ceres-Maize (Jones & Kiniry, 1986), e um modelo não linear é o Wang & Engel (Wang & Engel, 1998).

O objetivo deste trabalho foi comparar a simulação de emissão de folhas totais de cultivares crioulas e melhoradas de milho realizadas pelos modelos CSM-Ceres-Maize (linear) e Wang e Engel (não linear).

### MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos nos anos agrícolas de 2013/2014 e 2014/2015, em Santa Maria, RS, Brasil. O solo do local é uma transição entre a Unidade de Mapeamento São Pedro (Argissolo Vermelho Distrófico arênico) e a Unidade de Mapeamento Santa Maria (Alissolo Hipocrômico

Argilúvico típico) (Streck, E. V., et al., 2008). O clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida, segundo a classificação de Köppen.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, cada uma composta por cinco linhas com 5 m de comprimento. O espaçamento entre linhas foi de 0,90 m, e entre plantas de 0,20 m (densidade de 5,5 pl m<sup>-2</sup>). Informações de preparo do solo, adubação, irrigação, etc.?

No experimento do ano 13/14, as datas de semeadura foram 20/08/2013, 04/11/2013 e 03/02/2014, enquanto que no experimento do ano 14/15 as datas de semeaduras foram 15/08/2014, 13/12/2014 e 07/01/2015. No experimento do ano 13/14 foram utilizadas duas cultivares crioulas, a ‘Cinquentinha’ (ciclo Precoce) e a ‘Bico-de-ouro’ (ciclo Tardio), e um híbrido simples, ‘AS 1573PRO’ (ciclo Precoce). No experimento do ano 14/15 foram utilizadas as mesmas cultivares crioulas e o híbrido, porém a cultivar VPA ‘BRS Missões’ foi substituída pela VPA ‘BRS Planalto’ (ciclo Precoce). Foram avaliadas 45 plantas nas cultivares crioulas, devido a sua maior variabilidade genética, e 15 plantas nas cultivares melhoradas. Nestas, semanalmente, foi contado o número de folhas totais (NFT, folhas pl<sup>-1</sup>) (a partir de que momento/estágio da planta? Até que momento? Qual critério?).

Os dados diários de temperatura mínima (Tmin, °C) e máxima (Tmax, °C) do ar foram coletados na estação automática do 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (DISME/INMET), localizada próxima da área experimental.

No modelo CSM-Ceres-Maize, o número de folhas totais (NFT, folhas pl<sup>-1</sup>), foi calculado por:

$$\text{NFT} = \text{Sta} / \text{FILO} \quad (1)$$

em que: STa é a soma térmica acumulada durante o período de emissão de folhas (°C dia) e FILO é o filocrono (°C dia folha<sup>-1</sup>).

A soma térmica acumulada (STa, °C dia) foi calculada por:

$$\text{STa} = \sum \text{STd} \quad (2)$$

em que: STd é a soma térmica em um dia (°C dia). A soma térmica diária (STd) utilizada foi a calculada pelo modelo CSM-Ceres-Maize (Jones & Kiniry, 1986).

No modelo Wang & Engel, o NFT foi calculado por (Wang & Engel, 1998, Streck et al., 2009a):

$$\text{NFT} = \sum \text{TAF} \quad (3)$$

em que: TAF é a taxa de aparecimento de folhas em um dia (folha dia<sup>-1</sup>). A TAF foi calculada por:

$$\text{TAF} = \text{TAFmax} \cdot f(T) \quad (4)$$

em que: f(T) é a função de resposta à temperatura do ar. A f(T) é uma função beta que varia de zero a um (Wang & Engel, 1998):

$f(T) = \frac{[2(T-T_b)]^\alpha [(T_{ot}-T_b)]^\alpha - (T-T_b)^{2\alpha}}{(T_{ot}-T_b)^{2\alpha}}$  quando  $T_b \leq T \leq T_B$ , e igual a  $f(T) = 0$  quando  $T < T_b$  ou  $T > T_B$ , com:

$$\alpha = \ln(2) / \ln[T_B - T_b / T_{ot} - T_b]$$

em que: T<sub>b</sub>, T<sub>ot</sub> e T<sub>B</sub> são as temperaturas cardinais para a cultura o milho (basal inferior, ótima e basal superior), e T representa as temperaturas mínima e máxima diárias do ar.

As temperaturas cardinais do milho no modelo CSM-Ceres-Maize e WE foram T<sub>b</sub>=8°C, T<sub>ot</sub>=31°C e T<sub>B</sub>=44°C (Jones & Kiniry, 1986; Streck et al., 2009b). Os coeficientes filocrono e TAFmax são dependentes do genótipo e foram estimados com dados do NFT observados nas cultivares ‘Cinquentinha’, ‘Bico de ouro’ e ‘AS 1573PRO’ na semeadura de 04/11/2013. Para a cultivar ‘BRS Planalto’, a estimativa destes coeficientes foi obtida a partir de dados observados na data de semeadura 13/12/2014. O filocrono foi estimado pelo inverso do coeficiente angular da regressão linear entre NFT e STa (Streck et al., 2009b). A TAFmax foi estimada pelo método dos mínimos quadrados, que minimiza os resíduos entre valores observados e simulados do NFT (Erpen et al., 2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **Figura 1** encontra-se o NFT para as épocas de semeadura e cultivares. Os valores das estatísticas calculadas para todas as cultivares em todas as datas de semeadura confirmam o melhor desempenho do modelo WE em simular a emissão de folhas em milho (**Figura 1B**). A RQME foi menor com o modelo de WE (1,0 folha) (**Figura 1B**), comparado com o modelo CSM-Ceres-Maize (1,5 folha) (**Figura 1A**), resultado próximo ao encontrado para a VPA ‘BRS Missões’ quando o RQME foi 0,8 folha para o WE e 1,29 folha para o CSM-Ceres-Maize (Streck et al., 2010).

Os valores negativos da estatística BIAS iguais a -0,12 para o CSM-Ceres-Maize e -0,01 para o WE indicam que, de maneira geral, os modelos subestimaram a emissão de folhas para todas as cultivares, mas com menor subestimativa pelo modelo WE.

A superioridade do WE é confirmada pelo RQMEN, com 9,3% de erro, enquanto que para o modelo CSM-Ceres-Maize esse valor é de 13,8 %. A estatística r foi elevada para WE e CSM-Ceres-Maize (0,98), ambos com alta correlação (**Figura 1A e 1B**).

## CONCLUSÕES

Os dois modelos conseguem simular o NFT captando a diferença de épocas e cultivares, porém

o modelo WE apresenta melhores resultados em relação ao modelo CSM-Ceres-Maize.

WANG, E.; ENGEL, T. Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural Systems**, v.58, p.1-24, 1998.

### REFERÊNCIAS

ERPEN, L.; STRECK, N.A.; UHLMANN, L.O.; LANGNER, J.A.; WINCK, J.E.M; GABRIEL, L.F. Estimativa das temperaturas cardinais e modelagem do desenvolvimento vegetativo em batata-doce. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1230-1238, 2013.

JONES, C.A.; KINIRY, J.R. **CERES-Maize: a simulation model of maize growth and development**. College Station. Texas: A & M University, 1986. 194 p.

MORRIS, M.; MEKURIA, M.; GERPACIO, R. Impacts of CIMMYT maize breeding research. In: EVENSON, R.E.; GULLIN, D. (Eds.), **Crop variety improvement and its effect on productivity: The impact of international agricultural research**. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2003. p. 135–158.

STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2008. 126 p.

STRECK, N.A.; WEISS, A.; XUE, Q.; BAENZIGER, P.S. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: A modified Wang and Engel model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.115, p.139-150, 2003.

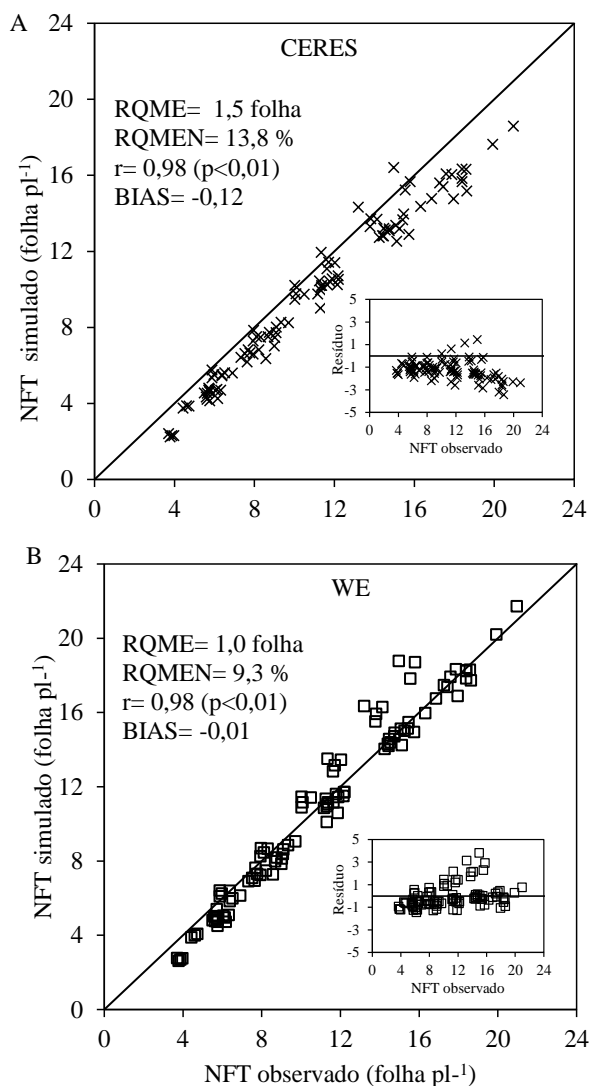
STRECK, N.A.; ALBERTO, C.M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1351-1359, 2006.

STRECK, N.A.; GABRIEL, L.F.; SAMBORANHA, F.K.; LAGO, I.; SCHWANTES, A.P.; SCHONS, A. Comparing two versions of a non-linear model for simulating leaf number and developmental stages in maize based on air temperature. **Ciência Rural**, v.39, p.642-648. 2009a.

STRECK, N.A.; GABRIEL, L.F.; BUSKE, T.C.; LAGO, I.; SAMBORANHA, F.K.; SCHWANTES, A. P. Simulating leaf appearance in a maize variety. **Bioscience Journal**, v.26, p.384-393, 2010.

STRECK, N.A.; LAGO, I.; SAMBORANHA, F. K.; GABRIEL, L.F.; SCHWANTES, A.P.; SCHONS, A. Temperatura base para aparecimento de folhas e filocrono da variedade de milho BRS Missões. **Ciência Rural**, v.39, p.224-227, 2009b.

STRECK, N.A.; SILVA, S.D. da; LANGNER, J.A. Assessing the response of maize phenology under elevated temperature scenarios. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, p.1-12, 2012.



**Figura 1.** Número de folhas totais (NFT folha  $pl^{-1}$ ) observado versus simulado com modelo CSM-Ceres-Maize (CERES) (A) e com o modelo Wang e Engel (WE) (B) para as cultivares de milho 'Cinquentinha', 'Bico de ouro', 'BRS Missões', 'BRS Planalto' e 'AS 1573PRO', nas cinco datas de semeadura usadas como dados independentes (20/08/2013, 03/02/2014, 15/08/2014, 13/12/2014 e 07/01/2015). A linha cheia é a linha 1:1. RQME: raiz do quadrado médio do erro, RQMEN: raiz do quadrado médio do erro normalizado, r: coeficiente de correlação, BIAS: índice Bias.