

MODELO DE CRESCIMENTO LOGÍSTICO PARA O MILHO BR 106 EM FUNÇÃO DOS GRAUS-DIAS ACUMULADOS NA REGIÃO DOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS

GUILHERME B. LYRA¹, JOSÉ LEONALDO DE SOUZA², GUSTAVO B. LYRA³, IEDO TEODORO⁴, LUCAS A. DE HOLANDA⁵, GIVALDO D. SAMPAIO NETO⁵

1- Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Dep. de Solos, Engenharia e Economia Rural, Centro de Ciências Agrárias, UFAL, Rio Largo – AL, (82) 8854-1975, gbastoslyra@yahoo.com.br;

2- Meteorologista, Prof. Associado, Instituto de Ciências Atmosféricas, UFAL, Maceió – AL;

3 - Prof. Adjunto, Dep. de Ciências Ambientais, Instituto de Florestas, UFRRJ, Seropédica - RJ;

4- Prof., Assistente, Dep. de Solos, Engenharia e Economia Rural, Centro de Ciências Agrárias, UFAL, Rio Largo – AL;

5- Graduando em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, UFAL, Rio Largo – AL.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de setembro de 2009 - Grandarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções, Belo Horizonte, MG

RESUMO: Determinações de variáveis de crescimento, tais como, matéria seca da parte aérea, requerem métodos destrutivos, com a remoção da planta. O ajuste de modelos de crescimento permite avaliar a resposta das culturas ao ambiente e às interações com práticas culturais e estimar variáveis de crescimento. Objetivou-se avaliar o ajuste do modelo logístico à matéria seca (foliar, caulinar, espigas e total) para a variedade de milho BR 106, em três diferentes épocas de plantio, em função da variável independente graus-dias acumulados. Foram conduzidos três experimentos, com plantio em abril de 2000, junho de 2001 e janeiro de 2002, em Rio Largo - AL. No primeiro e segundo experimentos, não se utilizou irrigação, implementada apenas no ano de 2002. As análises mostraram ajustes significativos do modelo logístico para a variável graus-dias, com coeficiente de regressão superior a 0,86 e coeficiente de concordância de Willmontt maior que 0,93, o que indica a viabilidade de utilização desse modelo.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays* L., modelo logístico e matéria seca.

LOGISTIC GROWTH MODEL OF MAIZE BR 106 IN FUNCTION OF DEGREE-DAYS IN REGION OF COASTAL PLAINS OF ALAGOAS

ABSTRACT: Determination of growth of variables shoot dry matter with destructive methods require the removal of the plant. The fit of models of growth to assess the response of crops to the environment and the interactions with cultural practices and estimation of growth variables. The aim was evaluate the fit of logistic model of dry matter (leaf, bole, ear and total) for the variety of BR106 maize in three different sowings, depending on of independent variable accumulated degree-days. Three experiments out carried, with sowings in April of 2000, July of 2001 and January of 2002, in Rio Largo, Alagoas State, Brazil. Irrigation was not used in the first and second experiment, implemented only in 2002. The logistic model had satisfactory fits to the independent variable degree-days, with regression coefficient greater than 0.86 and Willmontt's correlation coefficient higher than 0.93, indicating its feasibility of using these models.

KEYWORDS: *Zea mays* L., logistic model, dry matter.

INTRODUÇÃO: Embora modelos mecanísticos tenham formulação científica, modelos empíricos fornecem informações e estimativas úteis, principalmente se baseados em coeficientes que permitam

interpretação biológica (Tei et al., 1996). O modelo logístico é avaliado quanto às suas características matemáticas e quanto ao método de estimar seus coeficientes, sendo frequentemente aplicado ao crescimento animal e vegetal (Lyra *et al.* 2003). A classificação das cultivares quanto à duração do ciclo de maturação é fundamentada no acúmulo de graus-dias até o florescimento. O aumento na taxa de crescimento e a diminuição na duração do período de enchimento dos grãos são causados pelo aumento da temperatura. O crescimento, o desenvolvimento e a produção do milho, além de serem afetados pelas condições do ambiente de cultivo, sofrem ação de fatores como a partição de matéria seca na formação de grãos e práticas agrícolas, tais como, no regime hídrico (sequeiro ou irrigado). O ajuste de modelos de crescimento permite avaliar a resposta das culturas ao ambiente e às interações com práticas culturais e sistemas de produção vegetal (Tei et al., 1996; Lyra et al., 2003). O objetivo do presente trabalho foi avaliar o ajuste do modelo logístico a matéria seca da parte aérea (caule, folhas, espiga e total) da cultura do milho, variedade BR 106, em função dos graus-dias acumulados, em diferentes épocas de plantio e de manejo, no município de Rio Largo - AL.

MATERIAL E MÉTODOS: Os experimentos com a cultura do milho, variedade BR 106, foram conduzidos nos anos de 2000, 2001 e 2002, na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, localizada em Rio Largo (09°28'02" S, 35°49'43" W e 127 m), região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. No monitoramento do armazenamento de água no solo (ARM, mm) utilizou-se o balanço hídrico sequencial (BH) do solo de Thornthwaite & Mather (1955). As simulações do BH foram realizadas com passo de tempo de cinco dias. Considerou-se um fator de disponibilidade de água (f) igual a 0,40 e a profundidade efetiva do sistema radicular (z) variando de 0,1 a 0,6 m, entre a emergência e a senescência, respectivamente (Ritchie et al., 2003). A capacidade de água disponível foi obtida pela relação $CAD = 1000 (\theta_{cc} - \theta_{pm}) z$, em que, θ_{cc} ($= 0,255 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) é a umidade volumétrica na capacidade de campo e θ_{pm} ($= 0,153 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) no ponto de murcha permanente. A água facilmente disponível (AFD, mm) foi calculada como $AFD = f CAD$. Estimou-se a evapotranspiração de referência (ET_o) pelo modelo de Penman-Monteith, e a evapotranspiração da cultura (ET_c), pelo método do K_c único ($ET_c = K_c ET_o$), ambos conforme o boletim FAO-56 (Allen et al., 1998).

O plantio do primeiro experimento ocorreu em 28/04/00 e a colheita foi realizada em 22/08/00. O espaçamento entre linhas foi de 1,0 m, o que resultou em densidade de 40.000 plantas por hectare. Quando as plantas apresentaram de seis a oito folhas completamente expandidas, efetuou-se a adubação de cobertura, com 60 kg ha^{-1} de nitrogênio, na forma de uréia. O regime hídrico do período experimental foi de sequeiro. O segundo experimento foi realizado no período de 04/06 a 28/09/01, na mesma área do experimento de 2000. O cultivo foi em regime de sequeiro e seguiu procedimentos análogos para o plantio, espaçamento e densidade populacional do experimento anterior. No período de 01/01 a 07/05/02 conduziu-se o terceiro experimento. Utilizou-se o espaçamento de 0,90 m entre linhas, com sete plantas por metro linear (70.000 plantas por hectare). Na adubação de cobertura, foram aplicados 200 kg ha^{-1} de uréia, em duas aplicações (20 e 40 dias após o plantio). A irrigação foi realizada com um sistema de aspersão convencional, aplicação média de $10,6 \text{ mm h}^{-1}$. A quantidade de água aplicada foi monitorada por tensiômetros de mercúrio, mantendo o solo próximo à capacidade de campo.

Nos três experimentos foram feitas semanalmente avaliações botânicas em dez plantas aleatórias. As variáveis analisadas foram: matéria seca da folha, caule e espiga. No laboratório, as plantas foram divididas em folha, caule e espiga, em seguida colocadas separadamente em sacos de papel e levadas à estufa, para secar, durante 72 h, a temperatura de $72 \text{ }^\circ\text{C}$. A fenologia da cultura do milho foi determinada segundo a escala apresentada por Fancelli & Dourado Neto (2000), associada com observações diárias das características morfológicas determinantes de cada fase de desenvolvimento da cultura do milho.

Os graus-dias acumulados necessários à cultura do milho foram determinados pela relação $GB = \sum (T_{m,i} - T_b)$, em que, GD ($^\circ\text{C}$) são os graus-dias acumulados; T_m ($^\circ\text{C}$) é a temperatura média do ar do dia i , com i de 1 (data de emergência) até n dias (colheita) e T_b ($10 \text{ }^\circ\text{C}$) é a temperatura basal (Lima, 1995).

O modelo logístico foi ajustado à variável dependente matéria seca do caule, folhas, espigas e total, em função dos graus-dias acumulados (GD):

$$w = w_f / \left[1 + \left(\frac{w_f}{w_o} - 1 \right) \exp(-rGD) \right] \quad (1)$$

em que: w (g) é a matéria seca; GD ($^{\circ}C$) representa os graus-dias acumulados; w_o e w_f (g) correspondem a matéria seca inicial e final do ciclo da cultura, respectivamente, e r ($g\ g^{-1}\ ^{\circ}C^{-1}$) é a taxa máxima de crescimento relativo. O ajuste dos modelos foi avaliado pelo coeficiente de regressão (R^2). As taxas máximas de crescimento relativo e a matéria seca final ajustados pelo modelo logístico para as variáveis matéria seca do caule, folhas, espigas e total foram comparadas com as respectivas taxas máximas de crescimento relativo determinadas as observações do período inicial das coletas, similar ao considerado por Tei et al. (1996) e Lyra et al. (2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Durante o primeiro experimento (2000) ocorreram chuvas em 86,3% dos dias, com total de 1.247 mm e intensidade média por evento de 10,7 mm d^{-1} . No experimento de 2001, a chuva total foi de 847 mm, com intensidade média de 7,3 mm d^{-1} , sendo observados eventos de chuva em 70% do ciclo. Contudo, de 95 (07/09) dias após a emergência (DAE) até o final desse experimento, ocorreram chuvas em apenas 14% dos dias, ou seja, um evento a cada sete dias, com intensidade média de 1,2 mm d^{-1} , o que caracterizou veranico no período. No ensaio de 2002, a chuva total foi de 680 mm, distribuída em 78% dos dias, com intensidade média de 5,7 mm d^{-1} , não sendo caracterizado nenhum período de veranico. Durante os experimentos de 2000 e 2002 o ARM foi acima da AFD (Fig. 1). Para o experimento de 2002, essa condição foi resultado do suprimento adequado de água pela irrigação. Ou seja, nos dois experimentos, a cultura não sofreu estresse hídrico. Entretanto, no período de 95 DAE até o final do experimento de 2001, o ARM foi inferior a AFD. Esse período, apesar de representar apenas 24% do ciclo, coincidiu com as fases de florescimento e polinização até a fase de grãos maduros fisiologicamente.

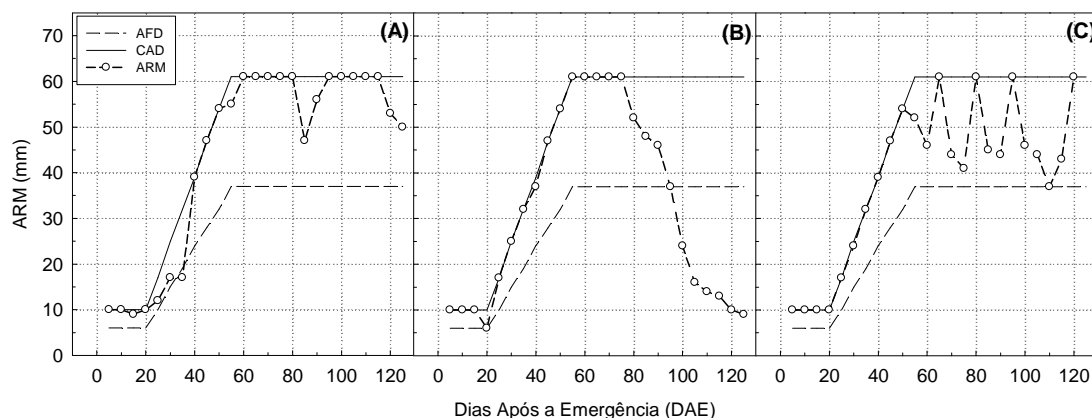


Figura 1- Variação do armazenamento de água no solo (ARM, mm) durante os ciclos do milho, em função dos dias após a emergência, nos anos de (A) 2000, (B) 2001 e (C) 2002,

O modelo logístico mostrou ajuste estatístico significativo ($p < 0,01$) para as variáveis matéria seca foliar (MSF), caulinar (MSC), da espiga (MSE) e total (MST), em função dos graus-dia acumulados. Os coeficientes de regressão para o ajuste do modelo foram superiores a 0,86 (MSF, 2000), com a maior parte dos ajustes com $R^2 > 0,97$ (Tabela 1). Resultados análogos para o ajuste do modelo logístico à matéria seca da alface, cebola e beterraba, cultivadas em campo, em função dos graus-dia acumulados e dos dias após o plantio, foram observados por Tei et al. (1996), com $R^2 > 0,98$. Lyra et al. (2003) observaram coeficientes de regressão para os ajustes do modelo logístico à matéria seca da parte aérea de cultivares de alface, em sistema hidropônico, sob condições de casa-de-vegetação, em função da variável independente graus-dias acumulados acima de 0,99.

Tabela 1- Valores ajustados da matéria seca (w_o , g) e final (w_f , g) e da taxa máxima de crescimento relativo (r , $g\ g^{-1}C^{-1}$), pelo modelo logístico para material seca das folhas (MSF), caule (MSC), espigas (MSE) e total (MST) do milho BR 106, tendo como variável independente graus-dia acumulados (GD)

Parâmetros	Graus dias acumulados			
	MSF	MSC	MST	MSE
2000				
w_f	32,3**($\pm 2,0$)	50,4**($\pm 6,2$)	195,4**($\pm 14,9$)	90,8**($\pm 2,8$)
w_o	1,2 ^{ns} ($\pm 0,9$)	2,7*($\pm 1,2$)	6,9**($\pm 0,8$)	0,0 ^{ns} ($\pm 0,0$)
R	0,0074**($\pm 0,002$)	0,0043**($\pm 0,001$)	0,0034**($\pm 0,0002$)	0,0106**($\pm 0,0006$)
R ²	0,86	0,89	0,99	0,99
2001				
w_f	20,9**($\pm 1,8$)	28,9**($\pm 4,6$)	106,7**($\pm 8,9$)	63,2**($\pm 3,0$)
w_o	0,02*($\pm 0,007$)	0,01ns($\pm 0,003$)	0,04*($\pm 0,008$)	0,00 ^{ns} ($\pm 0,000$)
r	0,0086**($\pm 0,0007$)	0,0094**($\pm 0,0010$)	0,008**($\pm 0,0004$)	0,0113**($\pm 0,0011$)
R ²	0,98	0,97	0,99	0,99
2002				
w_f	39,7**($\pm 2,8$)	74,5**($\pm 5,4$)	174,8**($\pm 19,2$)	143,5*($\pm 46,4$)
w_o	0,01*($\pm 0,01$)	0,01**($\pm 0,00$)	0,04*($\pm 0,02$)	0,06 ^{ns} ($\pm 0,08$)
r	0,0130**($\pm 0,0010$)	0,0120**($\pm 0,0006$)	0,0107**($\pm 0,0009$)	0,0061**($\pm 0,0014$)
R ²	0,99	0,99	0,98	0,97

** significativo a $p < 0,01$; * significativo a $p < 0,05$ e ^{ns} não significativo pelo teste t.

Os valores observados de w_f para matéria seca mostraram diferenças em relação aos valores ajustados pelo modelo de até 24,3 % em módulo (MST 2002). Contudo, a maior parte (73 %) dessas diferenças foi entre 0 (MSC, 2000) e 14,3% (MSC, 2002). As maiores diferenças foram observadas para w_f de espigas (21,9%) e total (-24,3%), no experimento de 2002. Esses resultados se devem basicamente ao incremento da matéria seca observada das espigas e total, que não apresentaram tendência assintótica ao final do ciclo (Fig. 2C). Essa tendência foi diferente da observada nos demais experimentos (Fig. 2A e 2B), onde a taxa de variação da matéria seca das espigas e a total em função dos graus-dias acumulados manteve-se aproximadamente constante e tendeu a zero no final do ciclo. No experimento de 2002, devido a suas características matemáticas, o modelo logístico, no ajuste, ou extrapolou o valor de w_f , como observado para matéria seca de espigas, ou aproximou pelo valor médio, como no caso da matéria seca total. Isso resultou na superestimativa de w_f para espiga e subestimativa para matéria seca total.

No experimento de 2001, observou-se a menor w_f total, das folhas, do caule e das espigas, em relação aos ensaios de 2000 e 2002. Esse resultado foi forçado pela ocorrência de déficit hídrico e a ausência de controle de plantas daninhas no período de florescimento e polinização, no ensaio de 2001. Em 2000, a época de plantio foi similar à de 2001. Contudo, em 2000, não se observou déficit hídrico e realizou-se o controle de plantas daninhas. Os maiores valores de matéria seca da parte aérea foram obtidos no experimento de 2002, em que foi aplicada irrigação, com turno de rega variado de acordo com a necessidade hídrica da cultura, e a época de plantio coincidiu com a de maior disponibilidade de radiação solar para a região. Esses dois fatores associados resultaram nas maiores matérias secas para 2002, em relação aos demais anos.

Pelo modelo logístico, os maiores valores da taxa máxima de crescimento relativo (r) foram obtidos no experimento de 2002, para as variáveis MSF, MSC e MST. A exceção foi MSE, que apresentou maior r , no experimento de 2001, enquanto o menor foi observado em 2002. Os valores estimados de r pelo modelo logístico mostraram diferenças elevadas e superior a 14,4% (MSC, 2000) em relação aos valores observados. As taxas máximas de crescimento relativo, nos três experimentos, nas variáveis MSF, MSC e MST, ocorreram no período de desenvolvimento foliar, entre os estádios fenológicos V4 e V12.

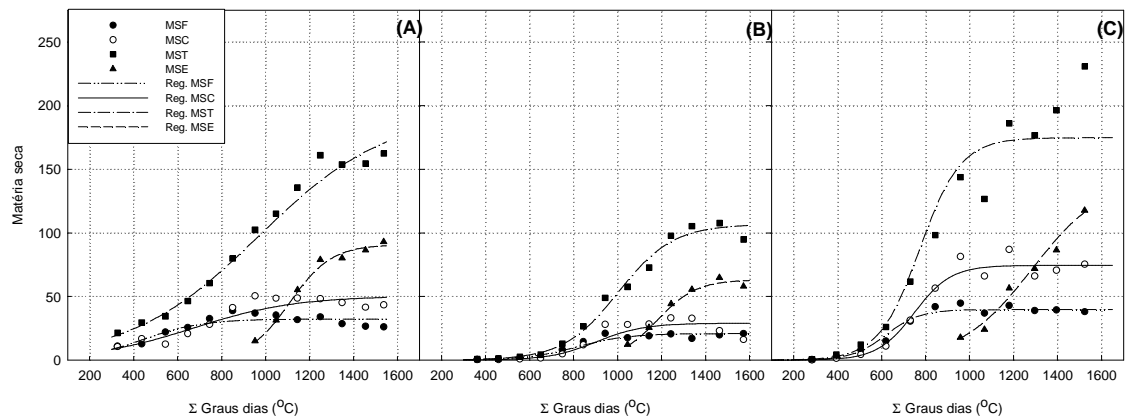


Figura 2- Valores observados da matéria seca das folhas (MSF), do caule (MSC), das espigas (MSE) e total (MST) para o milho BR 106, nos experimentos de (A) 2000, (B) 2001 e (C) 2002, e curvas ajustadas pelo modelo logístico, em função dos graus-dias acumulados (Σ GD, °C), em Rio Largo – AL.

O acúmulo de graus-dias para completar o ciclo da cultura mostrou-se dependente da época de plantio, variando de 1523°C (2002) a 1573 °C (2001). A abordagem dos graus-dias não considera diretamente a disponibilidade de radiação solar nos processos metabólicos e se baseia na premissa de que a cultura encontra-se em ótimas condições hídricas e fitossanitárias. Como as épocas de plantio ocorreram em períodos com diferentes disponibilidades de radiação solar e de água no solo, como discutido anteriormente, os graus-dias acumulados para completar o ciclo diferiram nos três experimentos.

CONCLUSÕES: O modelo logístico mostra ajustes significativos à matéria seca da parte aérea (caule, folhas, espigas e total) do milho BR 106 em função dos graus-dia acumulados independente da época de plantio. Déficit hídrico durante a fase de florescimento até o final do ciclo do milho ocasiona atraso nos estádios fenológicos e conseqüentemente, necessidade de maior acúmulo de graus-dias para a cultura completar seu ciclo.

AGRADECIMENTO: CT-HIDRO/CNPq-504068/03-2, CNPQ Universal 479143/2007-2, FAPEAL, CAPES, CNPq-PIBIC-UFAL.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.
- LIMA, M. G. **Calibração e validação do modelo CERES-MAIZE em condições tropicais do Brasil.** 1995. 119 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1995.
- LYRA G. B. et al. Modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa-de-vegetação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, p. 69-77, 2003.
- RITCHIE, S. W. et al. **Como a planta do milho se desenvolve.** Piracicaba: POTAFOS, 2003. 20 p. (Potafos.Arquivo do Agrônomo, 15).
- TEI, F.; SCAIFE, A.; AIKMAN, D. P. Growth of lettuce, onion and red beet. 1. Growth Analysis, Light Interception, and Radiation Use Efficiency. **Annals of Botany**, v. 78, n. 5, p. 633-643, 1996.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance.** Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1)