

MODELO DE CRESCIMENTO LOGÍSTICO E EXPONENCIAL PARA O MILHO BR 106, EM TRÊS ÉPOCAS DE PLANTIO

GUILHERME BASTOS LYRA¹, JOSÉ LEONALDO DE SOUZA¹, GUSTAVO BASTOS LYRA¹, IEDO TEODORO¹ e GILSON MOURA FILHO¹

¹*Universidade Federal de Alagoas (UFAL) - Campus A. C. Simões, Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT), Laboratório de Agrometeorologia e Radiometria Solar (LARAS), BR 104 - Norte, Km 97, Cidade Universitária, Tabuleiro dos Martins - Maceió - AL, CEP 57072-970.*

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.7, n.3, p. 211-230, 2008

RESUMO – Determinações de variáveis de crescimento, tais como, índice de área foliar e 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 altura de planta e matéria seca (foliar, caular, espigas e total) e do modelo exponencial ao índice de área foliar, para a variedade de milho BR 106, em épocas de plantio distintas, em função das variáveis independentes graus-dias acumulados ou dias após a emergência. Foram conduzidos três experimentos, nos anos de 2000, 2001 e 2002, em Rio Largo - AL. No primeiro e no segundo experimentos, não foi utilizada irrigação, implementada apenas no ano de 2002. As análises de ajuste dos modelos exponencial e logístico mostraram conformações significativas, independente da variável graus-dias ou dias após a emergência, 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 desses modelos.

Palavras-chave: *Zea mays* L., índice de área foliar, modelo logístico e matéria seca.

LOGISTIC AND EXPONENTIAL GROWTH MODELS FOR MAIZE BR106 IN THREE PLANTING SEASONS

ABSTRACT – The determination of growth parameters such as leaf area index and shoot dry matter require destructive methods and plant removal. The adjustment of the growth models allows to evaluate the response of crops to the environment and to the interactions with cultural practices, and also to estimate growth variables. The objective

of the present work was to evaluate the adjustment of the logistic model for plant height and dry matter (leaf, stem, ear and total) and the exponential model for leaf area index for BR106 maize variety, in three different planting seasons, using accumulated degree-days or days after emergence as independent variables. Three experiments were carried out in 2000, 2001 and 2002, in Rio Largo - AL. Irrigation was used only in the third experiment, in 2002. The analysis of adjustment of exponential and logistic models showed significant conformations, regardless degree-days or days after emergence variables, showing regression coefficient greater than 0.86 and correlation coefficient of Willmontt higher than 0.93, indicating the feasibility of using these models.

Key words: *Zea mays* L., leaf area index, logistic model, dry matter.

Modelar os processos de crescimento e desenvolvimento vegetal significa realizar uma síntese dos mecanismos físicos e bioquímicos entre planta e o ambiente, representando-os por meio de funções matemáticas. Diversos modelos desenvolvidos para simular o crescimento e o desenvolvimento da cultura do milho (Lima, 1995; Barros, 1998; Costa & Barros, 2001), quando testados sob diferentes condições ambientais, têm mostrado que o índice de área foliar e a partição de matéria seca entre os diversos órgãos da planta são variáveis que apresentam baixo ajuste aos dados observados.

Embora modelos mecanísticos tenham uma formulação científica (Vries *et al.*, 1989), modelos empíricos simples fornecem informações e estimativas úteis, particularmente se forem baseados em coeficientes que permitam interpretação biológica (Richards, 1959; Tei *et al.*, 1996;

Calegario *et al.*, 2005). O modelo logístico é avaliado quanto às suas características matemáticas e quanto ao método de estimar seus parâmetros, sendo extensivamente utilizado para a representação do crescimento animal e vegetal (Lyra *et al.*, 2003).

Nas condições em que a cultura do milho é explorada no Brasil, o ciclo das diversas cultivares varia entre 110 e 180 dias, período compreendido entre a semeadura e a colheita. Para uma mesma cultivar, a duração das fases fenológicas varia entre regiões, anos e datas de semeadura, em razão das freqüentes mudanças nas condições ambientais (Ritchie *et al.*, 2003).

A temperatura do ar é um dos principais fatores do ambiente que afetam o desenvolvimento da cultura do milho, com efeitos nas diversas fases fenológicas. Para o crescimento dessa cultura, a faixa adequada de temperatura do ar varia de 21 a 30°C. 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 (Muchow, 1990).

O conceito de graus-dias baseia-se em observações de que o crescimento e o desenvolvimento das plantas, em diversos ecossistemas, são relacionados linearmente com o acúmulo de temperatura acima de certo valor base (10°C para o milho), em vez de apenas variar com o tempo cronológico (Mota, 1979; Berlatto et al., 1984; Leal, 1993; Lima, 1995). A diferença entre a temperatura média diária e a temperatura base fornece o valor diário de graus-dias (Ritchie et al., 2003).

O crescimento, o desenvolvimento e a produção do milho, além de serem afetados pelas condições meteorológicas do ambiente de cultivo, sofrem ação de fatores como partição de matéria seca na formação de grão e práticas agrícolas, como, por exemplo, 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 os ajustes do modelo logístico às variáveis de crescimento, altura da planta e matéria seca

da parte aérea (caule, folhas, espiga e total) e de um modelo exponencial ao índice de área foliar, em função dos graus-dias acumulados ou dos dias após a emergência, em diferentes épocas de plantio e manejo da cultura do milho, variedade BR 106, 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 (CECA/UFAL), localizado em Rio Largo (09°28'02" S, 35°49'43" W e 127 m), região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. O solo da área foi classificado como Latossolo Amarelo Coeso, Argissólico, de textura média argilosa e topografia com declividade inferior a 2%.

No monitoramento do armazenamento de água no solo (ARM, mm), calculado a cada cinco dias, foi utilizado o balanço hídrico sequencial (BH) do solo sugerido por Thornthwaite e Matter e descrito por Pereira et al. (1997). As simulações do balanço hídrico foram iniciadas a partir da data de emergência de cada experimento. Considerou-se, nas análises do BH, um fator de disponibilidade de água (f) igual a 0,40 e profundidade efetiva do sistema radicular (z, m) variando de 0,10 a 0,60 m, entre a emergência e a fase de

senescência, respectivamente (Ritchie et al., 2003). A capacidade de água disponível ($CAD = 1000 (\theta_{cc} - \theta_{pm}) z$, mm) foi determinada para cada fase de desenvolvimento do milho, em função da profundidade do sistema radicular. Os valores da umidade volumétrica na capacidade de campo ($\theta_{cc} = 0,255 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e no ponto de murcha ($\theta_{pm} = 0,153 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) foram determinados em laboratório, pela curva de retenção de água no solo. A água facilmente disponível (AFD, mm) foi calculada como $AFD = f \text{ CAD}$. A evapotranspiração de referência (ET_0 , mm) foi estimada pelo modelo de Penman-Monteith, parametrizado para a cultura hipotética, e a evapotranspiração da cultura (ET_c , mm), determinada pelo método do K_c único, ambos conforme recomendação do 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 do mesmo ano. No plantio, foi feita adubação com 80 kg ha^{-1} de superfosfato simples (P_2O_5), 50 kg ha^{-1} de cloreto de potássio (K_2O) e de 20 kg ha^{-1} uréia ($(NH_2)_2CO$), diretamente nos sulcos. O preparo do solo foi feito por meio de gradagem, com incorporação da vegetação nativa, até à profundidade de 0,20 m. Utilizou-se o espaçamento entre linhas de 1,0 m, que resultou em densidade populacional de 40.000 plantas por hectare, após o desbaste. 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, de acordo com a recomendação da Malavolta et al. (1997). O regime hídrico durante o período experimental foi de sequeiro.

O segundo experimento foi realizado no período de 04/06 a 28/09/01, na mesma área do experimento realizado em 2000. De acordo com a análise de solo, não se fez necessária a realização da prática de correção do pH do solo. O cultivo, bem como o anterior, foi em regime de sequeiro, seguindo os mesmos procedimentos de plantio, espaçamento e densidade populacional. Nesse experimento, não se realizou controle de plantas daninhas a partir da fase de florescimento e polinização.

No período de 01/01 a 07/05/02, foi avaliado o terceiro experimento. Utilizou-se o espaçamento de 0,90 m entre linhas, com sete plantas por metro linear, para se obter estande final de 70.000 plantas por hectare. A adubação de fundação foi feita com base na análise química do solo, aplicando 60 kg ha^{-1} de nitrogênio, 96 kg ha^{-1} de fósforo e 90 kg ha^{-1} de potássio, conforme recomendação de Malavolta et al. (1997). Na adubação de cobertura, foram aplicados 200 kg ha^{-1} de uréia, divididos em duas aplicações (20 e 40 dias após o plantio). As plantas daninhas e pragas foram controladas com herbicidas e inseticidas químicos, respectivamente. Para a irrigação, utilizou-se um sistema de

aspersão convencional de 12 x 12 m, com intensidade de aplicação média de 10,6 mm h⁻¹. A quantidade de água aplicada foi monitorada por tensiômetros de mercúrio, mantendo o solo próximo à capacidade de campo.

Avaliações botânicas foram feitas semanalmente, em dez plantas aleatórias, na área experimental. As variáveis analisadas foram: comprimento e largura foliar, altura de planta e matéria seca da parte aérea (folha, caule e espiga). Na determinação do índice de área foliar, utilizou-se o processo de medida direta, em que a área foliar foi estimada pelo método do trapézio, em 10% das plantas selecionadas. Em seguida, os valores do índice de área foliar foram comparados com a área calculada, como o produto do comprimento pela maior largura da folha. Obteve-se fator médio de 0,75 para relação entre a área das folhas e área calculada, sendo próximo aos apresentados na literatura (Fancelli & Dourado Neto, 2000; Manfron et al., 2003).

A Altura de plantas foi determinada a partir do colo da planta até a base do pendão. A matéria seca da parte aérea foi determinada em laboratório. As plantas foram divididas em folha, caule e espiga. Em seguida, cada porção foi colocada separadamente em sacos de papel e levadas à estufa, para secar, durante 72 horas, a temperatura de 72°C. A matéria seca total foi considerada a soma das matérias secas foliar, caulinar e das espigas.

A fenologia da cultura do milho foi determinada seguindo a escala de Hanway (1963), modificada por Fancelli & Dourado Neto (2000), através de observações diárias das características morfológicas que determinam cada fase de desenvolvimento da cultura.

Na determinação de graus-dias acumulados necessários à cultura do milho, utilizou-se a seguinte relação:

$$GD = \sum_{i=1}^n (T_{m,i} - T_b) \quad (1)$$

em que: GD (°C) representa os graus-dias acumulados; T_m (°C) é a temperatura média do ar do dia i , com i variando de 1 (data de emergência) até n dias (colheita) e T_b (°C) é a temperatura basal. T_m foi determinada pelos extremos diários de temperatura do ar [= (Tx + Tn)/2], em que Tx e Tn (°C) são, respectivamente, as temperaturas máxima e mínima diária do ar (°C). Adotou-se $T_b = 10^\circ\text{C}$ (Gilmore & Rogers, 1959; Mota, 1979; Berlato et al., 1984; Leal, 1993; Lima, 1995).

Com base em Lima (1995), considerou-se o modelo exponencial para estimativa do índice de área foliar em função do desenvolvimento relativo da cultura:

$$IAF = e^{(a_0 + a_1 \cdot Dr_i + a_2 \sqrt{Dr_i})} \quad (2)$$

em que: IAF se refere ao índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$), Dr_i ao desenvolvimento relativo da cultura e a_0 , a_1 e a_2 são coeficientes de ajuste da equação. O desenvolvimento relativo da cultura (Dr_i), calculado na escala diária, até o i -ésimo dia após a emergência, é assim definido:

$$Dr_i = \frac{GD}{GD_{pmf}} \quad (3)$$

em que: GD_{pmf} é a soma térmica ou número de graus-dias para atingir o ponto de maturidade fisiológica ($^{\circ}\text{C d}$).

O modelo logístico foi ajustado às variáveis dependentes altura da planta e matéria seca do caule, folhas, espigas e total, em função dos graus-dias acumulados (GD) ou dos dias após a emergência (DAE):

$$w = \frac{w_f}{1 + \left(\frac{w_f}{w_o} - 1 \right) \exp(-r X)} \quad (4)$$

em que: w (cm ou kg) é a variável de crescimento; X ($^{\circ}\text{C}$ ou dias) representa os graus-dias acumulados ou dias após a emergência; w_o e w_f (cm ou g) correspondem, respectivamente, ao crescimento inicial e final do ciclo da cultura e r ($\text{g g}^{-1} ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ou $\text{cm cm}^{-1} ^{\circ}\text{C}^{-1}$) 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 ajustadas pelo modelo logístico para as variáveis de crescimento altura de planta e material secam do caule, folhas, espigas e total foram comparadas com as respectivas taxas máximas de crescimento relativo determinadas com os dados observados no período inicial das coletas, similar ao considerado por Tei *et al.* (1996) e Lyra *et al.* (2003).

Na avaliação das estimativas dos modelos, utilizou-se o erro padrão de estimativa (EPE), que fornece o desvio médio entre os valores observados de w e os valores estimados. Para quantificar a aproximação dos dados estimados aos observados, aplicou-se o coeficiente de concordância de Willmontt, representado pela letra “d” (Willmontt, 1981). O coeficiente d expressa a concordância relativa entre as estimativas e os dados observados, variando de zero, que indica nulidade, a 1, que indica perfeita exatidão. As estimativas dos modelos propostos foram avaliadas também pelo teste estatístico de Student (t) e pela análise de regressão linear simples, entre os valores observados e estimados, sendo as hipóteses testadas $H_0: \beta_1 = 1$ e $H_1: \beta_1 \neq 1$, para $Y = \beta_1 X$, em que: Y é o valor observado e X o valor estimado.

Resultados e Discussão

A temperatura média diária do ar durante o período experimental de 2000 foi de $24,5^{\circ}\text{C}$, com extremos de $21,5^{\circ}\text{C}$ e

27,3 °C. A umidade relativa diária do ar variou de 60 a 100%. Durante o ciclo da cultura do milho, 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 temperatura do ar variou de 20,3 a 29,5°C, com média de 24,5°C. A umidade relativa do ar mostrou valor mínimo de 55% e máximo de 98%. A precipitação total foi de 847 mm, com intensidade média de 7,3 mm d⁻¹, sendo observadas chuvas em 70% do ciclo. De 95 DAE (07/09) 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 temperatura do ar variou de 23,1 a 26,5 °C, com média de 25°C. A umidade relativa diária apresentou extremos de 78 e 95%. No período de condução do experimento, a precipitação pluvial 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 armazenamento de água no solo (ARM) foi acima da água facilmente disponível (AFD). 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 (07/09) até o final do

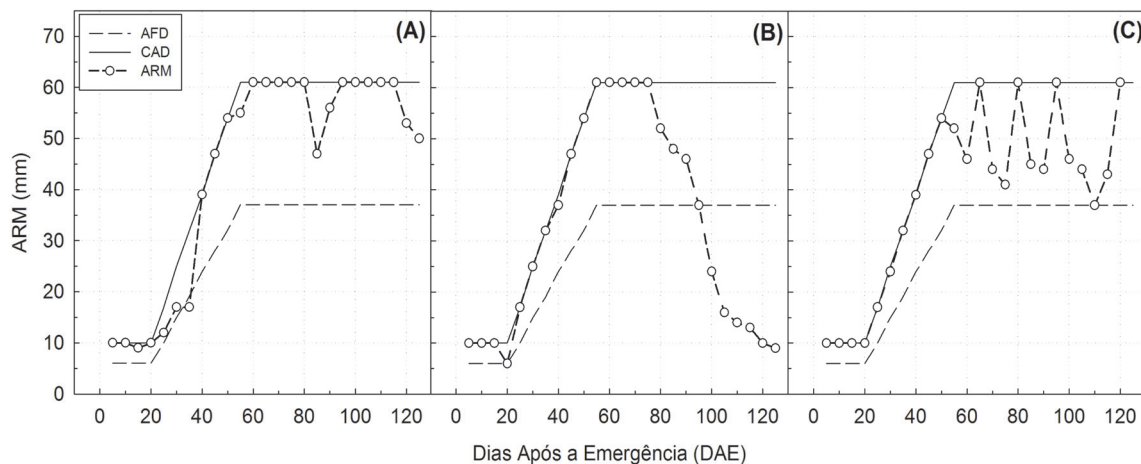


FIGURA 1. Variação do armazenamento de água no solo (ARM, mm) durante os ciclos do milho, variedade BR 106, em função dos dias após a emergência, nos anos de (A) 2000, (B) 2001 e (C) 2002, determinada pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Mather em Rio Largo- AL. Capacidade de água disponível (CAD, mm) e água facilmente disponível (AFD, mm).

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, segundo a classificação de Fancelli & Dourado Neto (2000) (Figura 1).

O efeito da deficiência hídrica, no experimento de 2001, sobre o IAF não foi observado, devido ao período de estresse ter ocorrido depois do IAF máximo (61 DAE), quando a partição de fotoassimilados se destinava principalmente à formação das espigas e ao enchimento dos grãos. A influência da deficiência sobre o alongamento

das folhas pode ser compensada por uma maior velocidade de alongamento, quando é eliminada a deficiência. Se a folha ainda estiver em processo de alongamento, a deficiência hídrica não afeta o potencial de expansão das folhas subsequentes a ela (Acevedo *et al.*, 1971; Volkenburgh & Boyer, 1985; Hsiao *et al.*, 1970).

Observou-se que, nos três experimentos, os IAF máximos ocorreram na fase de florescimento e polinização, com graus-dias acumulados de 850°C (2000), 940°C (2001) e 910°C (2002) (Figura 2). Müller *et al.* (2005) apresentaram valores médios de graus-dias acumulados no início da antese igual a

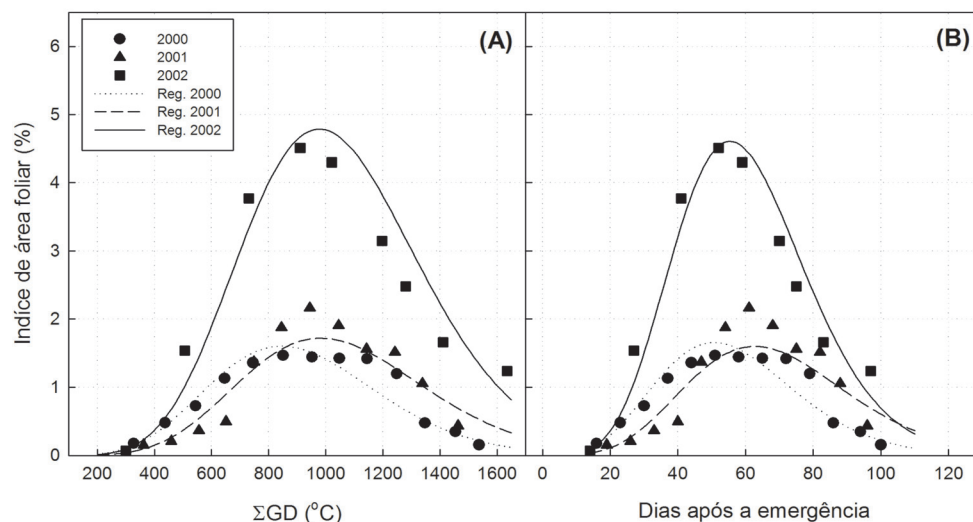


FIGURA 2. Valores observados do índice de área foliar (IAF, m^2/m^2) para o milho, variedade BR 106, nos experimentos de 2000 (●), 2001 (▲) e 2002 (■) e curvas ajustadas pelo modelo exponencial, em função dos (A) graus-dias acumulados (ΣGD , °C) e dos (B) dias após a emergência (DAE, d), em Rio Largo – AL.

900°C. Essa fase ocorreu entre 50 e 65 DAE, nos três experimentos. Valores similares (entre 60 e 75 DAE) foram encontrados por Mafron et al. (2003), em Piracicaba-SP. Os autores atribuíram o decréscimo do IAF à senescência das folhas mais velhas.

Os maiores IAF observados durante todo o ciclo de 2002, em relação aos demais anos, ocorreu possivelmente pela diferença no seu espaçamento (0,90 m) e densidade populacional (70.000), associado às diferenças nas épocas de plantio e no regime hídrico. As épocas de plantio em 2000 e 2001 coincidiram com o início do período úmido da região, que vai de abril a agosto, enquanto, em 2002, o plantio foi realizado no período seco (Souza et al., 2003). O período úmido (seco) da região é caracterizado pelo adequado (insuficiente)

suprimento de água da chuva para as culturas, com aumento (diminuição) da nebulosidade e menor (maior) disponibilidade de radiação solar (Souza et al., 2003). Contudo, em 2002, o cultivo foi irrigado, suprimindo a deficiência de água do período, o que resultou em condições hídricas e de energia ótimas para o crescimento e o desenvolvimento da cultura.

O modelo exponencial apresentou ajuste estatístico significativo ($p < 0,01$) ao índice de área foliar, em função das variáveis independentes (GD ou DAE), para todos os experimentos. Os coeficientes do modelo (a_0 , a_1 e a_2) também apresentaram ajuste significativo ($p < 0,01$) (Tabela 1). O coeficiente de regressão (R^2) mostrou valores entre 0,86 (2001, DAE) e 0,97 (2002, DAE) para o ajuste dos modelos. Os elevados valores de R^2 indicaram que os

TABELA 1. Valores estimados dos coeficientes (a_0 , a_1 e a_2) do modelo exponencial e coeficiente de regressão (R^2), para o ajuste dos modelos ao índice de área foliar do milho, variedade BR106, tendo como variável independente graus-dias acumulados (GD) e dias após a emergência (DAE), para os experimentos de 2000, 2001 e 2002, em Rio Largo - AL. Valores entre parênteses representam o erro padrão de estimativa dos coeficientes.

Parâmetros	Graus dias acumulados			Dias após a emergência		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002
a_0	-16,16**($\pm 1,37$)	-18,21**($\pm 2,59$)	-18,19**($\pm 1,72$)	-11,87**($\pm 1,01$)	-13,65**($\pm 2,18$)	-14,51**($\pm 0,23$)
a_1	-0,02**($\pm 0,00$)	-0,02**($\pm 0,00$)	-0,02**($\pm 0,00$)	-0,24**($\pm 0,02$)	-0,23**($\pm 0,04$)	-0,29**($\pm 0,39$)
a_2	1,15**($\pm 0,10$)	1,20**($\pm 0,19$)	1,26**($\pm 0,12$)	3,48**($\pm 0,30$)	3,57**($\pm 0,63$)	4,31**($\pm 0,27$)
R^2	0,93	0,88	0,96	0,93	0,86	0,97

** significativo a $p < 0,01$; * significativo a $p < 0,05$.

modelos foram capazes de explicar a maior parte da variabilidade do IAF do milho. Similar a outras gramíneas, que não produzem afilhos, o milho apresenta aumento exponencial do IAF no período de instalação da cultura, linear e positivo até o pendoamento, seguido de variação linear negativa até o início da rápida senescência das folhas (Muller *et al.*, 2005).

O modelo avaliado no presente trabalho foi ajustado e testado por Figueredo *et al.* (2005), utilizando dois genótipos (C-909 e C-333-B) e três híbridos (XL-520, XL-380, XL-678), o que, segundo os autores, pode ser considerado satisfatório, visto que o desenvolvimento relativo da cultura permite a extrapolação dos resultados, independentemente da exigência calórica (soma calórica para o florescimento e ponto de maturidade fisiológica). No presente trabalho, observou-se que, além do ajuste estatístico satisfatório a variável graus-dias acumulados, os modelos mostraram coeficientes de regressão elevados para DAE,

nos três experimentos. As diferenças entre o ajuste (R^2) dos modelos em função de GD ou DAE, para um mesmo ano, foram inferiores a 2,3%. De qualquer forma, espera-se que os modelos que utilizam GD forneçam resultados mais coerentes com as condições ambientais, visto que essa variável representa as alterações de disponibilidade térmica do ambiente (Lyra *et al.*, 2003).

A concordância entre os valores de IAF observados e estimados foi elevada, com coeficiente de concordância de Willmontt (d) entre 0,94 (2001, DAE) e 0,98 (2002, GD e DAE) (Tabela 2). A concordância entre esses valores foi superior em 2002, em relação à apresentada em 2000 e 2001. O coeficiente angular da regressão linear (β_1) entre os valores observados e estimados variou de 0,84 (2001, DAE) a 1,03 (2002, GD). Baseado nesse coeficiente, a tendência dos modelos, nos anos de 2000 e 2001, foi de subestimar os valores observados de IAF entre 1% (2000, GD e

TABELA 2. Valores do coeficiente de concordância de Willmontt (d), coeficiente angular da regressão (β_1) e erro padrão de estimativa (EPE, m^2m^{-2}) entre os valores observados e estimados pelos modelos ajustados ao índice de área foliar (IAF), para as variáveis independentes graus-dias acumulados e dias após a emergência, para os experimentos de 2000, 2001 e 2002, em Rio Largo - AL.

Parâmetros	Graus dias acumulados			Dias após a emergência		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002
d	0,97	0,95	0,98	0,97	0,94	0,98
β_1	0,99	0,86	1,03	0,99	0,84	1,03
EPE	0,23	0,35	0,31	0,23	0,39	0,27

DAE) e 16% (2001, DAE), enquanto que, em 2002, observou-se superestimativa de 3,2% (GD) e 2,6% (DAE). O modelo ajustado para o ano de 2000, com a variável independente DAE, mostrou o menor EPE ($0,23 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) e o maior foi observado em 2001 ($0,39 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$), para a mesma variável independente. Contudo,

quando avaliado o EPE padronizado pelo IAF máximo ($\text{EPE}/\text{IAF}_{\text{máx}}$), os valores foram em torno de 5,9% (2002, DAE) a 18% (2001, DAE).

Em relação ao modelo logístico, obtiveram-se ajustes estatísticos significativos ($p < 0,01$) para as variáveis altura de planta (h)

TABELA 3. Valores ajustados da matéria seca ou altura inicial (w_o , g ou cm) e final (w_f , g ou cm) e da taxa máxima de crescimento relativo (r, $\text{g g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ou $\text{cm cm}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), pelo modelo logístico, para altura da planta (h) e material seca das folhas (MSF), caule (MSC), espigas (MSE) e total (MST) do milho, variedade BR 106, tendo como variável independente graus-dia acumulados (GD), para os experimentos de 2000, 2001 e 2002, em Rio Largo – AL, e os respectivos coeficientes de regressão (R^2) para o ajuste dos modelos. Valores entre parênteses representam o erro padrão de estimativa dos coeficientes.

Parâ- metros	Graus dias acumulados				
	MSF	MSC	MST	MSE	h
2000					
w_f	32,3**($\pm 2,0$)	50,4**($\pm 6,2$)	195,4**($\pm 14,9$)	90,8**($\pm 2,8$)	223,3**($\pm 0, 10,4$)
w_o	1,2 ^{ns} ($\pm 0,9$)	2,7*($\pm 1,2$)	6,9**($\pm 0,8$)	0,0 ^{ns} ($\pm 0,0$)	6,6**($\pm 1,1$)
r	0,0074**($\pm 0,002$)	0,0043**($\pm 0,001$)	0,0034**($\pm 0,0002$)	0,0106**($\pm 0,0006$)	0,0048**($\pm 0,0004$)
R^2	0,86	0,89	0,99	0,99	0,99
2001					
w_f	20,9**($\pm 1,8$)	28,9**($\pm 4,6$)	106,7**($\pm 8, 9$)	63,2**($\pm 3,0$)	193,1**($\pm 24,1$)
w_o	0,02*($\pm 0,007$)	0,01 ^{ns} ($\pm 0,003$)	0,04*($\pm 0,008$)	0,00 ^{ns} ($\pm 0,000$)	4,54*($\pm 1,52$)
r	0,0086**($\pm 0,0007$)	0,0094**($\pm 0,0010$)	0,008**($\pm 0,0004$)	0,0113**($\pm 0,0011$)	0,0043**($\pm 0,0006$)
R^2	0,98	0,97	0,99	0,99	0,96
2002					
w_f	39,7**($\pm 2,8$)	74,5**($\pm 5,4$)	174,8**($\pm 19,2$)	143,5*($\pm 46,4$)	268,6**($\pm 7,8$)
w_o	0,01*($\pm 0,01$)	0,01**($\pm 0,00$)	0,04*($\pm 0,02$)	0,06 ^{ns} ($\pm 0,08$)	3,1**($\pm 0,4$)
r	0,0130**($\pm 0,0010$)	0,0120**($\pm 0,0006$)	0,0107**($\pm 0,0009$)	0,0061**($\pm 0,0014$)	0,0067**($\pm 0,0003$)
R^2	0,99	0,99	0,98	0,97	0,99

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

e matéria seca foliar (MSF), caulinar (MSC), da espiga (MSE) e total (MST), em função dos graus-dia acumulados e dos dias após a emergência (Tabela 3 e 4). Os coeficientes de regressão para o ajuste do modelo foram superiores a 0,85, com máximo de 0,99 para os modelos em função dos graus-dias acumulados. Para a variável independente dias

após a emergência, a amplitude dos coeficientes de regressão foi similar à observada para os graus-dias e entre 0,86 e 0,99.

Resultados análogos para os ajustes dos modelos logístico e Gompertz à matéria seca da alface (cv. Saladin R100), cebola (cv. Hysam) e beterraba (cv. Moneta), cultivadas em campo, em função dos graus-dia acumulados e

TABELA 4. Valores ajustados da matéria seca ou altura inicial (w_o , g ou cm) e final (w_f , g ou cm) e da taxa máxima de crescimento relativo (r , g g⁻¹d⁻¹ ou cm cm⁻¹d⁻¹) pelo modelo logístico, para altura da planta (h) e matéria seca das folhas (MSF), caule (MSC), espigas (MSE) e total (MST) do milho, variedade BR 106, tendo como variável independente dias após a emergência (DAE), para os experimentos de 2000, 2001 e 2002, em Rio Largo – AL, e os respectivos coeficientes de regressão (R^2) para o ajuste dos modelos. Valores entre parênteses representam o erro padrão de estimativa dos coeficientes (w_o , w_f e r).

Parâ- metros	Dias após a emergência				
	MSF	MSC	MST	MSE	h
2000					
w_f	32,3**($\pm 1,9$)	49,9**($\pm 5,8$)	189,9**($\pm 12,4$)	91,2**($\pm 3,1$)	221,1**($\pm 9,4$)
w_o	2,2 ^{ns} ($\pm 1,2$)	3,8*($\pm 1,4$)	9,5**($\pm 0,9$)	0,0 ^{ns} ($\pm 0,0$)	9,9**($\pm 1,3$)
r	0,1120**($\pm 0,0296$)	0,0655**($\pm 0,0152$)	0,0516**($\pm 0,0032$)	0,1469**($\pm 0,0093$)	0,0725**($\pm 0,0051$)
R^2	0,86	0,90	0,99	0,99	0,99
2001					
w_f	20,9**($\pm 1,8$)	29,1**($\pm 4,7$)	108,1**($\pm 9,3$)	63,8**($\pm 3,5$)	196,2**($\pm 26,3$)
w_o	0,04**($\pm 0,01$)	0,02*($\pm 0,01$)	0,08*($\pm 0,02$)	0,00 ^{ns} ($\pm 0,00$)	6,9**($\pm 1,9$)
r	0,1182**($\pm 0,0095$)	0,1299**($\pm 0,0135$)	0,1104**($\pm 0,0050$)	0,1592**($\pm 0,0160$)	0,0595**($\pm 0,0088$)
R^2	0,98	0,97	0,99	0,99	0,96
2002					
w_f	39,8**($\pm 2,7$)	74,5**($\pm 5,3$)	175,1**($\pm 18,9$)	147,8*($\pm 51,5$)	268,9**($\pm 7,8$)
w_o	0,03*($\pm 0,01$)	0,02**($\pm 0,01$)	0,099*($\pm 0,035$)	0,097 ^{ns} ($\pm 0,130$)	5,174**($\pm 0,542$)
r	0,2081**($\pm 0,016$)	0,1921**($\pm 0,0097$)	0,1712**($\pm 0,0135$)	0,0955*($\pm 0,0229$)	0,108**($\pm 0,0046$)
R^2	0,99	0,99	0,99	0,97	0,99

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

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 três cultivares de alface (cv. Regina, Grand Rapids e Great Lakes), em sistema hidropônico, sob condições de casa-de-vegetação, em função das variáveis independentes graus-dias acumulados e dias após o transplante, acima de 0,99.

Para um mesmo ano, a matéria seca ou altura de planta final (w_f) ajustadas pelo modelo logístico apresentaram diferenças, em função da variável independente considerada, (GD ou DAE) inferiores a 3,0%, para matéria seca (MSE, 2002), e a 1,6%, para altura de planta (2001). Matematicamente, w_f representa a assíntota horizontal superior da curva do modelo logístico, ou seja, é o valor máximo

no qual a taxa de variação da massa seca ou da altura em relação aos graus-dia ou dias após a emergência tende a zero. Observa-se, pelas Figuras 3, 4 e 5, que o valor para o qual a taxa tende a zero depende, nesse caso, fortemente dos valores das ordenadas (matéria seca e altura), o que contribuiu para as baixas diferenças observadas entre w_f quando utilizado GD ou DAE, para um mesmo ano. Resultado similar foi observado por Lyra et al. (2003), com diferenças inferiores a 3,0%, entre w_f ajustados em função das variáveis independentes GD ou dias após o transplante, para uma mesma cultivar de alface.

Em relação aos valores observados de w_f para matéria seca, os valores ajustados pelo modelo mostraram diferenças em módulo de até 25,6% (MSE, DAE, 2002). Contudo, a maior parte (73%) dessas diferenças foi

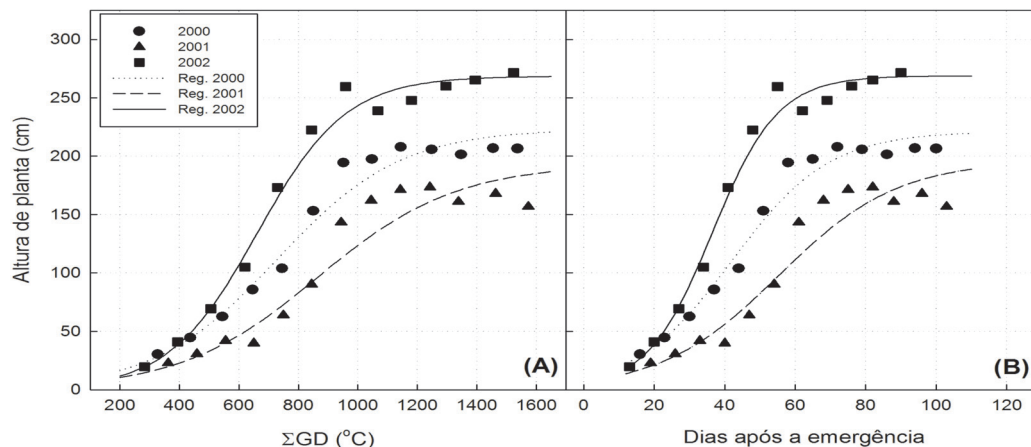


FIGURA 3. Valores observados da altura da planta (h, cm) para o milho, variedade BR 106, nos experimentos de 2000 (●), 2001 (▲) e 2002 (■), e curvas ajustadas pelo modelo logístico, em função dos (A) graus-dias acumulados (ΣGD, °C) e dos (B) dias após a emergência (DAE, d), em Rio Largo – AL.

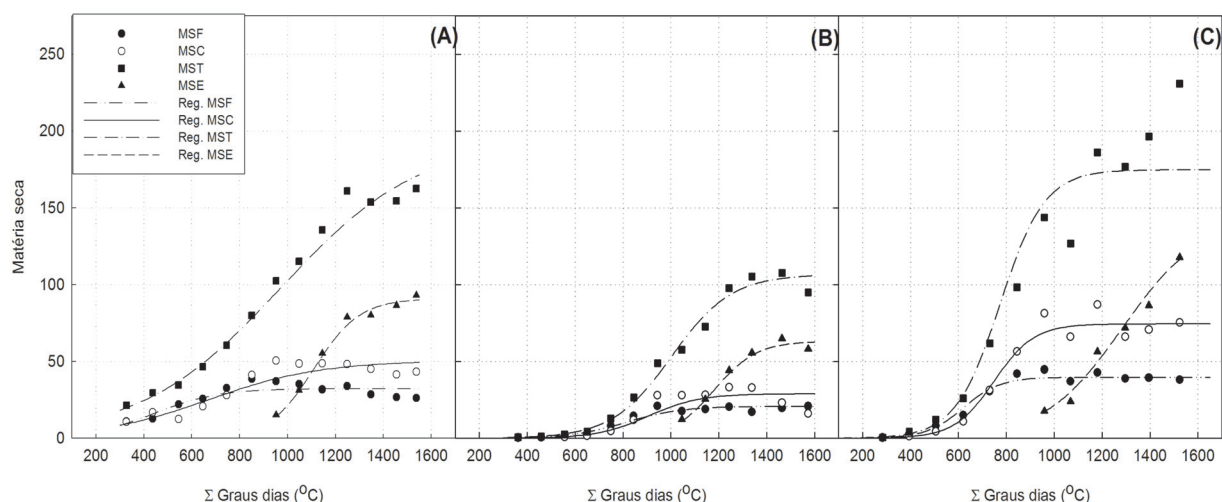


FIGURA 4. Valores observados da matéria seca das folhas (MSF, ●), do caule (MSC, ○), das espigas (MSE, ■) e total (MST, ▲) para o milho, variedade BR 106, nos experimentos de (A) 2000, (B) 2001 e (C) 2002, e curvas ajustadas pelo modelo logístico, em função dos graus-dias acumulados (Σ GD, °C), em Rio Largo – AL.

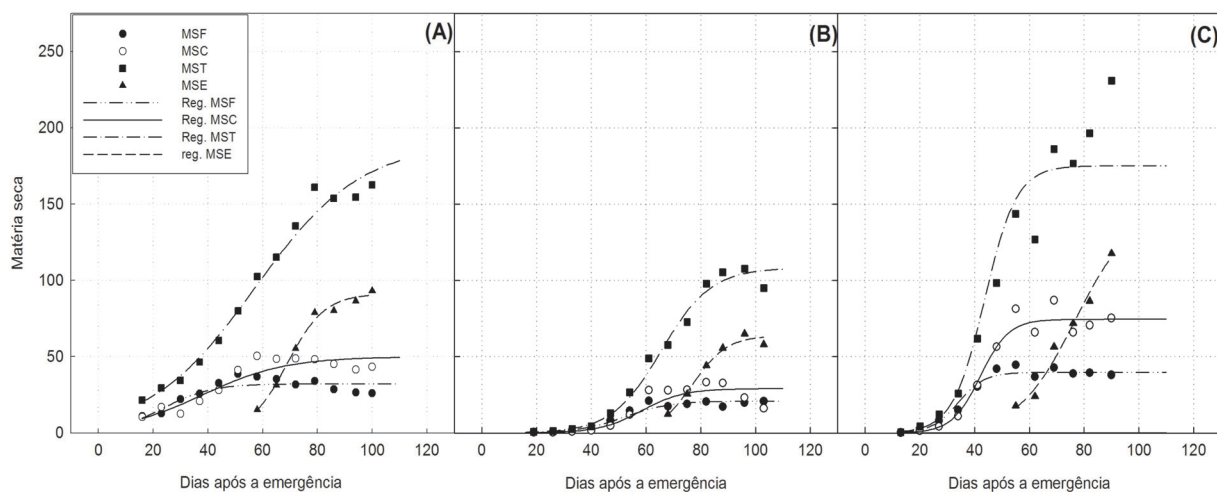


FIGURA 5. Valores observados da matéria seca das folhas (MSF, ●), do caule (MSC, ○), das espigas (MSE, ■) e total (MST, ▲) para o milho, variedade BR 106, nos experimentos de (A) 2000, (B) 2001 e (C) 2002, e curvas ajustadas pelo modelo logístico, em função dos dias após a emergência (Σ GD, °C), em Rio Largo – AL.

entre 0 % (MSC, GD, 2000) e 14,3% (MSC, GD, 2002). As maiores diferenças foram observadas para matéria seca final de espigas (25,6%) e total (-24,2%), 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 (Figura 4C e 5C). Essa tendência foi diferente da observada nos demais experimentos (Figura 4A e B e 5A e B), onde a taxa de variação da matéria seca das espigas e a total manteve-se 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_p , 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 w_f da matéria seca total. Para altura de planta, as diferenças em módulo, entre w_f observado e ajustado, foram de 1,1 % (DAE, 2002) a 13,1 % (DAE, 2001).

O acúmulo de graus-dias para completar o ciclo da cultura mostrou-se dependente da época de plantio. 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.

No experimento de 2001, observou-se a menor matéria seca 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, não se observou déficit hídrico e realizou-se o controle de plantas daninhas em 2000. 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), independente da variável graus-dias acumulados ou dias após a emergência, foram obtidos no experimento de 2002, para as variáveis MSF, MSC, MST e h. A variável MSE obteve maior taxa máxima de crescimento relativo, no experimento de 2001, enquanto que

o menor r para essa variável foi observado em 2002. Os valores estimados de r pelo modelo logístico mostraram diferenças elevadas em relação aos valores observados e entre 19,6% (MSF, 2001, GD) e 53,5% (MSE, 2002, DAE). A exceção foi r para altura de planta, em 2001 e 2002, com diferenças inferiores a 13%. As taxas máximas de crescimento relativo, nos três experimentos, nas variáveis MSF, MSC, MST e h , ocorreram no período de desenvolvimento foliar, entre os estádios fenológicos V4 e v12.

O erro padrão de estimativa dos componentes da matéria seca da parte aérea variaram de 0,046 g (MSE, 2000) a 0,347 g (MSC, 2001) para o modelo, em função dos graus-dia acumulados (Tabela 5). Intervalo similar de EPE foi observado quando utilizada a variável independente dias após a emergência (Tabela 6) e de 0,049 g (MSE, 2000) a 0,350 g (MSC, 2001). O EPE para altura de planta foi entre 0,062 cm (2001, GD e 2002, DAE) e 0,176 cm (2001, DAE). A tendência geral dos

TABELA 5. Valores do coeficiente de concordância de Willmontt (d), coeficiente angular da regressão (β_1) e erro padrão de estimativa (EPE, m^2/m^2) entre os valores observados e estimados pelos modelos logísticos ajustados à altura da planta (h) e matéria seca das folhas (MSF), caule (MSC), espigas (MSE) e total (MST) do milho, variedade BR 106, tendo como variável independente graus-dia acumulados (GD), para os experimentos de 2000, 2001 e 2002, em Rio Largo – AL.

Parâmetros	Graus dias acumulados				
	MSF	MSC	MST	MSE	h
2000					
d	0,93	0,96	0,99	0,99	0,99
β_1	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99
EPE	0,16	0,20	0,07	0,05	0,08
2001					
d	0,98	0,95	0,98	0,99	0,98
β_1	0,98	0,91	0,97	0,99	0,98
EPE	0,19	0,35	0,16	0,06	0,06
2002					
d	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99
β_1	0,98	0,98	0,95	0,99	0,99
EPE	0,18	0,18	0,26	0,16	0,17

TABELA 6. Valores do coeficiente de concordância de Willmontt (d), coeficiente angular da regressão (β_1) e erro padrão de estimativa (EPE, m^2/m^2) entre os valores observados e estimados pelos modelos logísticos ajustados à altura da planta (h) e matéria seca das folhas (MSF), caule (MSC), espigas (MSE) e total (MST) do milho, variedade BR 106, tendo como variável independente dias após a emergência (DAE), para os experimentos de 2000, 2001 e 2002, em Rio Largo – AL.

Parâmetros	Dias após a emergência				
	MSF	MSC	MST	MSE	h
2000					
d	0,93	0,96	0,99	0,99	0,99
β_1	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99
EPE	0,16	0,20	0,07	0,05	0,08
2001					
d	0,98	0,95	0,98	0,99	0,98
β_1	0,98	0,91	0,97	0,99	0,98
EPE	0,20	0,35	0,16	0,07	0,18
2002					
d	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99
β_1	0,98	0,98	0,95	0,99	0,99
EPE	0,18	0,17	0,25	0,16	0,06

modelos foi de subestimar os dados observados entre 1 e 9%, indicado pelos coeficientes angulares de 0,99 e 0,91 (MSC, 2001 GD e DAE). Para um mesmo ano e variável dependente, os resultados de EPE mostraram diferenças inferiores a 1%, para as estimativas dos modelos, em função de GD ou DAE. Os modelos mostraram concordância elevada entre os valores observados e estimados, com índice superior a 0,93 (MSF, 2000, GD e DAE), independente da variável GD ou DAE.

De forma similar ao observado para o IAF, as estimativas do modelo logístico ajustado à matéria seca e à altura de planta não apresentaram diferenças significativas, quando utilizado graus-dias acumulados ou dias após a emergência. Contudo, GD representa alterações na disponibilidade térmica do ambiente de cultivo, enquanto a utilização de DAE fica restrita às condições climáticas observadas durante cada experimento. Portanto, deve-se tomar cuidado ao se utilizar os coeficientes

obtidos para o milho BR 106 no presente estudo, em função de DAE na estimativa das variáveis de crescimento, para outras regiões e épocas de plantio.

Conclusões

A análise do ajuste do modelo logístico à matéria seca da parte aérea (caule, folhas, espigas e total) e do modelo exponencial ao índice de área foliar do milho BR 106 mostra conformações significativas, tanto para a variável dependente graus-dia acumulados como para dias após a emergência, independente da época de plantio.

Índice de área foliar, altura de planta, matéria seca foliar, matéria seca caular e matéria seca total do milho podem ser estimados a partir de modelos de relação com a temperatura média do ar, através do acúmulo de graus-dia.

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.

A utilização da variável independente graus-dias acumulados ou dias após a emergência não apresenta diferenças significativas no ajuste dos modelos exponencial e logístico. Contudo, os graus-dias

agregam informações térmicas do ambiente de cultivo, sendo indicados para comparação dos resultados obtidos no presente trabalho com os de outras regiões com condições térmicas diferentes.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (CT-HIDRO, processo 804068/03-2) e à Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de Alagoas - FAPEAL a concessão de apoio financeiro e bolsas.

Literatura Citada

ACEVEDO, E.; HSIAO, T. S.; HEDERSON, D. W. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to change in water status. **Plant Physiology**, Rockville, v. 48, p. 631-636, 1971.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

BARROS, A. H. C. **Análise do crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da cultura do milho (*Zea Mays* L.) Experimentos e modelos**. 1998. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; SUTILI, V. R. Relação entre temperatura e o

- aparecimento de fases fenológicas do milho (*Zea mays* L.). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 111-132, 1984.
- CALEGARIO, N.; CALEGARIO C. L. L.; MAESTRI, R.; DANIELS R. Melhoria da qualidade de ajuste de modelos biométricos florestais pelo emprego da teoria dos modelos não lineares generalizados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 69, p. 38-50, 2005.
- COSTA, L. C.; BARROS, A. H. C. Desenvolvimento e teste de um modelo de simulação de crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 75-82, 2001.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.
- FIGUEREDO, L. G. M.; DOURADO NETO, D.; OLIVEIRA, R. F.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N. Modelo para estimativa do índice de área foliar da cultura de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 1, p. 8-13, 2005.
- GILMORE, E. C.; ROGERS, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 50, p. 611-615, 1958.
- HANWAY, J. J. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). **Agronomy Journal**, Madison, v. 55, n. 5, p. 487- 491, 1963.
- HSIAO T. C.; ACEVEDO, E.; HENDERSON, D. W. Maize leaf elongation: continuous measurements and close dependence on plant water status. **Science**, Alexandria, v. 168, p. 590-591, 1970.
- LEAL, B. G. **Caracterização da radiação, análise de crescimento e do desenvolvimento de milho (*Zea mays* L.) em três densidades de plantio**. 1993. 55 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- 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.
- LYRA G. B.; ZOLNIER, S; COSTA L. C., SEDIYAMA, G. C., SEDIYAMA, M. A. N. Modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa-de-vegetação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, p. 69-77, 2003.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. rev. atual. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D.; PEREIRA, A. R.; BONNECARRÈRE, R. A. G.; MEDEIROS, S. L. P.; PILAU, F. G. Modelo do índice de área foliar da cultura de milho.

- Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 333-342, 2003
- MOTA, F. S. da. **Meteorologia Agrícola**. 4 ed. São Paulo: Nobel, 1979. 376 p.
- MUCHOW, R. C. Effect of high temperature on grain-growth in field-grown maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 23, p. 145-158, 1990.
- MÜLLER, A. G.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; RADIN, B.; FRANÇA, S.; da SILVA, M. I. G. Estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de graus-dia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 65-71, 2005.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 10, p. 290-300, 1959.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **Como a planta do milho se desenvolve**. Piracicaba: POTAFOS, 2003. 20 p. (Potafos. Arquivo do Agrônomo, 15).
- SOUZA, J. L.; MOURA FILHO, G.; LYRA, R. F. F.; TEODORO, I.; SANTOS, E. A.; SILVA, J. L. SILVA, P. R. T.; CARDIM, A. H.; AMORIM, C. A. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do Tabuleiro Costeiro de Maceió, AL, período 1972-2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, p. 131-141, 2003.
- 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**, London, v. 78, n. 5, p. 633-643, 1996.
- VOLKENBURGH, E. van; BOYER, J.S. Inhibitory effects of water deficit on maize leaf elongation. **Plant Physiology**, Rockville, v. 77, p. 190-194, 1985.
- VRIES, F. W. T. P. de; JANSEN, D. M.; TEN BERGE, H. F. M.; BAKEMA, A. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. Pudoc: Wageningen, 1989. 271p. (Simulation Monographs, 29)
- WILLMONTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Delaware, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.