

COMPARAÇÃO DE MODELOS DE CRESCIMENTO PARA O MELOEIRO IRRIGADO.

COMPARATION OF GROWTH MODELS FOR IRRIGATED MELON.

KELLY KALIANE RÊGO DA PAZ^{1*}
VIVIANE DA SILVA LACERDA²
CELSEMY ELEUTÉRIO MAIA³

RESUMO

Muitos estudos são realizados com dados gerados a partir do crescimento de plantas, estão enquadrados nesta classe de estudos aqueles envolvendo os modelos matemáticos não lineares. É necessário o ajuste de modelos de crescimento que permitam estimar a resposta das culturas ao ambiente e às interações com práticas culturais e sistemas de produção vegetal. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os modelos de crescimento de Gompertz, Richards, Logístico, Weibull e o proposto por Maia e Moraes para o crescimento do meloeiro Orange Flesh. Esta pesquisa foi desenvolvida na Fazenda Agrícola Famosa localizada no município de Tibau-RN. As características avaliadas foram números de folhas (NF), área foliar (AF) e matéria seca total (MST), analisada aos 17, 24, 31, 38 e 45 dias após o transplântio (DAT), amostrando uma planta por parcela. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições e quatro tratamentos. O ajuste não linear foi realizado usando o software SAEG, que foi desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), e os modelos foram avaliados pelo valor estimado em função do observado por meio da metodologia proposta por Gauch. Observou-se que os modelos propostos se ajustaram bem aos dados observados.

Palavras-chave: *Cucumis melo*; Modelagem; Modelos não lineares.

¹ Mestranda em Irrigação e Drenagem, UFERSA, Mossoró-RN.

² Eng. Agrônoma, Depto. de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza-CE.

³ Prof. Doutor, Departamento de Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró-R.N.

ABSTRACT

Several studies are developed using data obtained from plant growth measurements, including those based on nonlinear mathematical models. Adjustment of a growth model is important for estimating crop response to environment and its interactions with cropping practices and plant production systems. The objective of this work was to evaluate growth models of Gompertz, Richards, Logistic, Weibull and the model proposed by Maia and Moraes for growth of Orange Flesh melon. This research was carried out at Agrícola Famosa Farm, in Tibau, RN, Brazil. Characteristics evaluated were number of leaves (NF), leaf area (AF) and total dry mass (MST), measured at 17, 24, 31, 38 and 45 days after transplanting (DAT), taking one plant per plot. Experimental design was a randomized blocks (DBC) with four replications and four treatments. Nonlinear adjustment was accomplished by means of software SAEG, developed by Federal University of Viçosa, Brazil. Models were evaluated by estimated value as a function of observed value, using methodology proposed by Gauch. Observations showed a good adjustment of proposed models to observed data.

Keywords: *Cucumis melo*; Modeling; Nonlinear models.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o Brasil passou de importador a exportador de melão (*Cucumis melo* L.), devido, principalmente, às condições climáticas favoráveis existentes na região Nordeste. Sua produção tem aumentado substancialmente nos últimos anos, e dentre os estados onde mais se produz melão destacam-se: Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia e Pernambuco. O Rio Grande do Norte, mais precisamente o pólo agrícola Mossoró-Açu, contribui com mais de 90% da produção nacional, devido ao seu grande potencial produtivo, tendo nos últimos anos, área média cultivada ao redor de 6000 ha e a produtividade média acima de 20000 kg ha⁻¹ (MORAIS, 2006).

Entretanto, apesar da importância econômica dessa cultura, os produtores sentem a necessidade de informações mais precisas que lhes permitam obter produções elevadas associadas à redução nos custos de sua produção. Desse modo, vários métodos vêm sendo propostos para a descrição do crescimento e da produtividade das culturas, em resposta às variações ambientais. Com isso, a utilização de funções matemáticas na análise de crescimento tem sido reconhecida por diversos autores (KVET et al., 1971). Tais modelos eram simplesmente um ajuste de curvas entre tempo e matéria seca, mas com os avanços da estatística e o aumento

da capacidade e disponibilidade dos computadores, métodos mais sofisticados foram desenvolvidos e com isso suas vantagens foram evidenciadas.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar os modelos de crescimento de Gompertz, Richards, Logístico, Weibull e o proposto por MAIA et al. (2009) para o crescimento do meloeiro Orange Flesh.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido entre os meses de setembro e dezembro de 2005 na Fazenda Agrícola Famosa, localizada no município de Tibau-RN, distanciada à cerca de 30 km do município de Mossoró-RN (latitude 5° 11' S, longitude 37° 20' W e altitude de 18 m). O clima da região é classificado segundo a classificação de Köppen, como BSw^h, isto é, seco, muito quente e com estação chuvosa no verão, atrasando-se para o outono. É localizada na região semi-árida do Nordeste brasileiro. O solo da área foi classificado como Neossolo Quartzarênico.

A cultivar plantada foi a Orange Flesh semeada em bandejas e transplantada em espaçamento de 1,8 x 0,3 m, sendo irrigada por gotejamento com uma planta por emissor.

Foram analisados o número de folhas (NF), a área foliar (AF) e a matéria seca total (MST), sendo o material coletado aos 17, 24, 31, 38 e 45 dias após transplântio (DAT), amostrando-se uma planta por parcela.

O número de folhas foi obtido pela contagem total do número de folhas totalmente expandidas.

A área foliar foi determinada através de um integrador de área, marca LI-COR, modelo LI-3100 e expresso em cm².

A determinação da matéria seca da folha e do ramo teve início com a separação da parte aérea com o auxílio de faca devidamente lavada em água desmineralizada, em seguida foram colocadas em sacos de papel previamente identificados e postos para secar em estufa de circulação de ar forçado a 70 °C. Posteriormente foram pesadas diariamente, durante três dias até obtenção do peso constante expresso em gramas (g).

A matéria seca total foi obtida através do somatório da matéria seca da folha e do ramo, sendo expressa em gramas.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições, quatro tratamentos (T1 - preparo total com camalhão, T2 - preparo total sem camalhão, T3 - preparo em faixa com camalhão e T4 - preparo em faixa sem camalhão) e amostrando uma planta por parcela. Tendo em vista o objetivo do trabalho, apenas o T1 foi considerado por ser este o tratamento padrão na região.

Para análise de crescimento os modelos utilizados foram:

Logístico:

$$Y = \frac{\alpha}{1 + \exp(\beta - \gamma DAT)} \quad (1)$$

Gompertz:

$$Y = \alpha \exp[-\exp(\beta - \gamma DAT)] \quad (2)$$

Weibull:

$$Y = \alpha - \beta \exp(-\gamma DAT^\delta) \quad (3)$$

Richards:

$$Y = \frac{\alpha}{[1 + \exp(\beta - \gamma DAT)]^{1/\delta}} \quad (4)$$

E o proposto por Maia et al. (2009):

$$Y = \alpha - \frac{\alpha}{1 + (\beta \cdot DAT)^\gamma} \quad (5)$$

Onde:

Y = variável dependente (NF, AF, MST);

α, β, γ e δ = parâmetros do modelo ajustados por metodologia de regressão não linear; DAT = dias após o transplântio.

O ajuste não linear foi realizado usando o software SAEG desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Os modelos foram avaliados pelo valor estimado em função do observado e utilizou-se a metodologia proposta por GAUCH et al. (2003), que leva em consideração a decomposição do quadrado médio dos desvios (MSD) em três componentes: quadrado da bias (SB), declividade não unitária (NU) e falta de correlação (LC), que correspondem a:

$$MSD = \frac{\sum (X_n - Y_n)^2}{N} \quad (6)$$

$$SB = (\bar{X} - \bar{Y})^2 \quad (7)$$

$$NU = (1 - b)^2 \cdot \left(\frac{\sum (X_n - \bar{X})^2}{N} \right) \quad (8)$$

$$LC = (1 - r^2) \cdot \left(\frac{\sum (Y_n - \bar{Y})^2}{N} \right) \quad (9)$$

$$MSD = SB + NU + LC \quad (10)$$

Onde:

X, \bar{X} = valores observados e médios, respectivamente;

Y, \bar{Y} = valores estimados e médios, respectivamente;

N = número de pares do modelo;

b = declividade da reta dos valores estimados em função dos observados;

r = coeficiente de correlação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que os modelos ajustaram-se satisfatoriamente aos dados observados tendo em vista os valores do coeficiente de determinação (R^2) para cada característica avaliada (Tabelas 1, 2 e 3). Segundo CAMPOS & LEITE (2002) o coeficiente de determinação é uma medida do grau de ajustamento permitindo fazer comparações entre os modelos.

Apesar do bom ajuste, considerando-se o número de parâmetros dos modelos, percebe-se que o modelo de Weibull e o de Richards apresentaram quatro parâmetros, enquanto que os demais, apenas três (Tabelas 1, 2 e 3). Para tanto, o modelo de Richards foi o que apresentou melhor coeficiente de determinação cujos valores correspondem a 0,9997 para o número de folhas e 0,9777 para a área foliar (Tabelas 1 e 2). Neste caso, pode recomendá-lo como o melhor modelo para estimar o NF e a AF. Porém OLIVEIRA et al. (2000), também trabalhando com comparação de modelos não lineares, encontrou dificuldades computacionais ao utilizar o modelo de Richards para descrever o crescimento de fêmeas da raça guzerá.

Para a matéria seca total, Tabela 3, o modelo de MAIA et al. (2009), com três parâmetros, foi o que apresentou melhor coeficiente de determinação, além disso, dentre os modelos estudados é o único modelo em que os seus parâmetros são definidos, ou seja, α corresponde ao valor máximo estimado de NF,

AF e MST durante o ciclo da cultura, o inverso de β ($1/\beta$) é o tempo que se obtém 50% de α , e γ é o fator de forma.

Segundo MAIA et al. (2005 a) na prática, para o mesmo ajuste, preferem-se os modelos com menor número de parâmetros, devido facilitar os cálculos computacionais, pois quanto mais parâmetros, tenderá ainda mais a forçar o modelo a chegar ao valor desejado. O mesmo é afirmado por PENNING DE VRIES (1987) onde explica que todo modelo matemático é a simplificação do sistema a ser estudado e não pode contemplar todas as variáveis existentes, o que resulta numa previsão não exata da realidade. SILVA et al. (2004), também comparando modelos matemáticos, mas para o traçado de curvas granulométricas, constataram que o maior número de parâmetros do modelo não é garantia de sucesso e concluíram que o modelo de Gompertz, utilizado com quatro parâmetros neste trabalho, apresentou desempenho inferior a outros com dois ou três parâmetros.

Avaliando-se os modelos pelos valores estimados em função dos observados com relação ao MSD, observou-se que estes valores variaram, desde o menor valor encontrado através do modelo de MAIA et al. (2009) de 2,1804 para a MST, ao maior, obtido pelo modelo de Weibull no valor 192.120,69 para AF (Tabela 4). Mas vale salientar que esses valores variaram proporcionalmente a cada característica avaliada, como foi o caso dos altos valores para o MSD da área foliar, por serem expressos em cm^2 . Contudo, transformando-se a AF em m^2 , assim como observado para as demais características o MSD foi baixo. Segundo GAUCH et al. (2003) quanto menor o valor de MSD, menor o desvio dos dados observados em relação a equação e com isso, melhor o modelo.

Na decomposição do MSD, Tabela 4, observou-se que a falta de correlação (LC) contribui mais para o MSD indicando que o maior erro é devido a este fator, porém mesmo o LC sendo maior na decomposição, os valores dos coeficientes de correlação foram todos superiores a 0,994, exceto para a AF estimada em que apresentou valores superiores a 0,979. Mesmo o LC sendo maior, este não implica em falta de

ajuste do modelo, levando-se em consideração que o MSD foi baixo. Assim, pode-se afirmar que todos os modelos avaliados apresentaram bom ajuste aos dados.

CONCLUSÕES

Os modelos propostos para estimar o número de folhas, a área foliar e a matéria seca total na cultura do meloeiro se ajustam satisfatoriamente aos dados observados, porém recomenda-se que o modelo escolhido seja o que apresentou maior simplicidade computacional e menor número de parâmetros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. *Mensuração florestal: perguntas e respostas*. Viçosa, MG: UFV, 2002. 407 p.
- GAUCH, G.H., HWANG, J.T.G., FICK, G.W. Model evaluation by comparison of model-based predictions and measured values. *Agronomy Journal*, Madison, WI, v.95, p.1442-1446, 2003.
- KVET, J.; ONDOK, J. P.; NECAS, J., et al. Methods of growth analysis, In: SETAK, Z.; CATSTY, J.; JARVIS, P.G. *Plant photosynthetic production: manual of methods*. Netherlands: The Hague, 1971.
- MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C. de; MIRANDA, N. de O.; ARAÚJO JR, B. B. de. Crescimento do meloeiro Orange Flesh em função do preparo do solo e construção de camalhão. *Revista Ciência Agrônômica*, Fortaleza, CE, v. 40, n. 1, p. 41-47, jan. 2009.
- MAIA, C. E., LACERDA, V. da S.; MORAIS, E. R. C. de. Comparação de modelos matemáticos para estimar matéria seca de plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34, 2005, Canoas, RS. *Anais...* Campinas: COMBEA, 2005 a. CD-ROM.
- MORAIS, E. R. C. de. *Crescimento e produtividade do melão influenciado pelas condições ambientais e cobertura do solo com mulch*. 2006. 115p.. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Curso de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de Campina Grande, PB.
- OLIVEIRA, H.N. de; LÔBO, R.B.; PEREIRA, C.S. Comparação de modelos não lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça guzerá. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.9, p.1843-1851, set. 2000.
- PENNING de VRIES, F.W.T. Some opportunities for using crop models in rice. Proceeding of the international workshop on the impact of weather parameters on growth and yield of rice. *International Rice Research Institute*, Metro Manila, PHI, p. 291-300, 1987.
- SILVA, E. M. da; LIMA, J. E. F. W.; RODRIGUES, L. N.; AZEVEDO, J. A. de. Comparação de modelos matemáticos para o traçado de curvas granulométricas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, D.F, v. 39, n. 4, p. 363-370, abr. 2004.

TABELA 1 - Valores dos parâmetros dos modelos ajustados e do coeficiente de determinação para o número de folhas por metodologia de regressão não linear.

NF		Estimativas			
Modelo	α	β	γ	δ	R^2
Logístico	116,91	7,01	0,2591	-	0,9985
Gompertz	121,70	4,10	0,1651	-	0,9904
Weibull	118,57	123,53	2×10^{-6}	3,96	0,9945
Richards	114,99	11,24	0,3687	2,09	0,9997
Maia e Morais	120,63	0,0369	6,6700	-	0,9949

TABELA 2 - Valores dos parâmetros dos modelos ajustados e do coeficiente de determinação para a área foliar por metodologia de regressão não linear.

AF		Estimativas			
Modelo	α	β	γ	δ	R^2
Logístico	5402,63	9,64	0,3923	-	0,9703
Gompertz	5326,17	11,38	0,4811	-	0,9617
Weibull	5428,29	5993,25	1×10^{-6}	4,21	0,9626
Richards	5335,14	19,72	0,7023	3,45	0,9777
Maia e Morais	5388,44	0,0408	11,62	-	0,9639

TABELA 3 - Valores dos parâmetros dos modelos ajustados e do coeficiente de determinação para a matéria seca total por metodologia de regressão não linear.

MST		Estimativas			
Modelo	α	β	γ	δ	R^2
Logístico	68,97	7,78	0,2822	-	0,9962
Gompertz	71,35	4,76	0,1862	-	0,9951
Weibull	69,88	76,42	2×10^{-6}	3,92	0,9905
Richards	69,78	6,01	0,2412	0,6194	0,9965
Maia e Morais	71,12	0,0362	7,3200	-	0,9968

TABELA 4 - Valores de quadrado da bias (SB), declividade não unitária (NU) e falta de correlação (LC) dos valores estimados em função dos observados ($y = a + bx$) e coeficiente de correlação para os modelos avaliados.

	NF				
	Logístico	Gompertz	Weibull	Richards	Maia e Morais
SB	0,0686	1,1492	39,4635	0,0046	0,7056
NU	0,1493	1,7909	1,1924	0,0093	1,0674
LC	2,3447	13,8859	18,4509	0,4703	7,2196
MSD	2,5627	16,8260	59,1069	0,4842	8,9926
r	0,9993	0,9963	0,9945	0,9999	0,9980
	AF				
SB	2125,95	12800,66	24587,49	0,1037	7364,04
NU	839,34	18062,07	675,47	1971,57	9187,86
LC	114218,30	120419,65	166857,73	86234,26	125884,70
MSD	117183,60	151282,37	192120,69	88205,93	142436,60
r	0,9862	0,9869	0,9790	0,9888	0,9858
	MST				
SB	0,0002	0,3313	2,9936	0,0046	0,0768
NU	0,0120	0,4951	0,2672	0,0062	0,0668
LC	2,5613	2,5083	7,6101	2,3280	2,0368
MSD	2,5735	3,3347	10,8709	2,3388	2,1804
r	0,9981	0,9982	0,9942	0,9983	0,9985