

AVALIAÇÃO DOS MODELOS BETA, RCM E GDD PARA DIFERENTES SUBPERÍODOS DE DESENVOLVIMENTO DAS CULTURAS DE MILHO E FEIJÃO

Ricardo Guimarães Andrade¹,
Gilberto Chohaku Sedyama²,
Sérgio Zolnier³
Luis Cláudio Costa⁴.

RESUMO

Foram utilizados dados fenológicos provenientes de pesquisas realizadas nos seguintes subperíodos e com as seguintes culturas: milho (Phoenix, Mezcla Amarillo e Pioneer 515) na emergência-pendoamento e na semeadura-pendoamento; e feijão (Negrito 897 e Ricobaio 1014) na semeadura-floração, floração-colheita e semeadura-colheita; com objetivo de avaliar os modelos Beta, RCM e GDD em relação à estimativa de cada subperíodo das culturas anteriormente citadas. Os resultados obtidos possibilitaram concluir que os modelos Beta e RCM foram idênticos na predição fenológica de cada subperíodo. Além disso, de forma geral, os modelos Beta e RCM apresentaram melhor desempenho na estimativa de cada subperíodo das culturas analisadas quando comparado ao modelo GDD.

Palavras chave: modelos, subperíodos, culturas, fenologia.

ABSTRACT

EVALUATING THE MODELS BETA, RCM AND GDD FOR DIFFERENT DEVELOPMENT SUBPERIODS OF CORN AND DRY BEAN CROPS

The development phases of corn (Phoenix, Mezcla Amarillo and Pioneer 515) at sowing-emergence, emergency-inflorescence and sowing-inflorescence, and dry bean (Negrito 897 and Ricobaio 1014) at sowing-florescence, florescence-harvesting and sowing-harvesting were analyzed in this research. The phenological data obtained from several experimental studies were used to evaluate the models Beta, RCM and GDD in relation to the observed duration of development phase of these crops. It was found that the Beta and RCM models were nearly identical. Moreover, in general, the Beta and RCM models presented better performance in estimating the development phase, compared to the GDD model.

Key words: models, development phase, crop, phenology.

¹Aceito para publicação em:

²Graduando Medicina Veterinária, Universidade Federal de Viçosa

³Departamento de Veterinária, Universidade Federal de Viçosa. 36570-000 MG E-mail: tarcizio@ufv.br.

⁴Departamento de Biologia Geral, Universidade federal de Viçosa.

INTRODUÇÃO

Estudos das interações clima-planta foram iniciados em 1730, quando Réaumur introduziu o conceito de graus-dia (GDD) ou unidades térmicas. Desde então, vários modelos foram prosperamente utilizados nas ciências agrícolas com particularidade na área de fenologia (McMaster & Wilhelm, 1997).

O modelo GDD trouxe melhoras significativas na descrição e predição de eventos fenológicos quando comparadas às do calendário (Gilmore & Rogers, 1958; Cross & Zuber, 1972; Russelle *et al.*, 1984; McMaster & Smika, 1988). A forma canônica para calcular o GDD (Arnold, 1959) pressupõe a existência de uma temperatura-base inferior (T_b) abaixo da qual a planta não se desenvolve ou, caso isto ocorra, será em taxas muito reduzidas. O GDD é um modelo que relaciona linearmente a taxa de desenvolvimento (TD) com temperaturas acima de T_b de um cultivar específico. Contudo, em algumas aplicações deste modelo, é assumido um limite superior de temperatura em que a TD permanece constante (Yin *et al.*, 1995). Entretanto, na realidade, quando a temperatura do ar excede o valor de temperatura ótima (T_o) da cultura, a TD decresce, limitando, assim, o crescimento e o desenvolvimento pela temperatura-base superior (T_s). Esse comportamento pode ser observado no trabalho de Ellis *et al.* (1992), que analisaram, em ambiente controlado, a relação entre a temperatura do ar e a TD de cinco cultivares de milho no subperíodo da semeadura até a iniciação floral.

Muitos pesquisadores têm adotado um modelo bilinear (BLM) que utiliza duas equações lineares diferentes para descrever a resposta da planta nas condições subótimas (temperaturas entre T_b e T_o) e supra-ótimas (temperaturas entre T_o e T_s). Yin *et al.* (1995) relatam que esta aproximação bilinear tem sido aplicada em diversas culturas, entretanto, apesar do BLM responder as condições supra-ótimas, nem sempre descreve bem a TD, pois geralmente requer considerável extrapolação na estimativa dos valores de T_b e T_s (Yan & Hunt, 1999). Além disso, Yan & Hunt (1999) comentam a provável superestimava da TD máxima, uma vez que é obtida por meio de duas equações lineares.

Além dos modelos lineares como o GDD e o BLM, também têm sido propostos vários modelos não-lineares que descrevem os processos de desenvolvimento das plantas em função da temperatura, demonstrando as vantagens e desvantagens de sua utilização. Todavia,

segundo Yin *et al.* (1995), a maioria desses modelos não-lineares não responde ao declínio frequentemente observado da TD em temperaturas supra-ótimas. Gao *et al.* (1992), pesquisando a cultura do arroz, propuseram o RCM (Rice Clock Model), que é um modelo não-linear que responde ao declínio da TD em temperaturas supra-ótimas, com boa descrição do desenvolvimento da cultura do arroz, no subperíodo da semeadura à floração. Entretanto, o RCM apresenta descontinuidade em T_o . No intuito de resolver este problema, Yin *et al.* (1995) introduziram o modelo Beta, que se assemelha ao RCM, mas apresenta menos parâmetros e permite pontos de inflexão em qualquer lado da curva.

No trabalho realizado por Yin *et al.* (1995), ao compararem os modelos não-lineares (Beta e RCM) com os modelos lineares (BLM e GDD) no subperíodo semeadura-floração da cultura do arroz, cultivar IR8, observaram que o modelo GDD falhou ao predizer a data de floração para os tratamentos com regimes de temperatura (dia/noite) de 28/18, 32/18 e 36/18°C. Porém, o valor médio absoluto dos desvios (MD) para os modelos GDD e BLM foram respectivamente de 12,3 e 12,7 dias. Segundo Yin *et al.* (1995), isso aconteceu porque o BLM superestimou a TD no ponto de temperatura ótima. No que diz respeito aos modelos não-lineares (Beta e RCM), Yin *et al.* (1995) encontraram MD de 9,4 dias, o que confirmou o melhor desempenho dos modelos Beta e RCM quando comparados aos modelos lineares (GDD e BLM).

Este trabalho teve como objetivo avaliar os modelos Beta, RCM e GDD, comparando o modelo Beta com os demais na predição de diferentes subperíodos de desenvolvimento das culturas de milho e feijão.

MATERIAL E MÉTODOS

Milho (Zea mays L.)

Os dados meteorológicos utilizados para os cultivares de milho Phoenix, Mezcla Amarillo e Pioneer 515 foram obtidos na estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no município de Sete Lagoas, MG (19°28'S; 44°15'W; 732m).

Simultaneamente, os dados de duração dos subperíodos semeadura-pendoamento e emergência-pendoamento foram obtidos por Silva (1989) no Ensaio Ecológico de Milho, realizado no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS-EMBRAPA).

Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)

Para os cultivares de feijão Negrito 897 e Ricobaio 1014, os dados meteorológicos foram obtidos na estação do INMET, localizada no município de Viçosa, MG (20°45'14"S; 42°52'55"W; 648,82m). Simultaneamente, os dados de duração dos subperíodos semeadura-floração, floração-colheita e semeadura-colheita foram obtidos por Calil (1983), Mantovani (1986) e Souza (1989).

Dados fenológicos do experimento realizado por Calil (1983), Mantovani (1986) e Souza (1989) foram utilizados para o cultivar Negrito 897, enquanto para o cultivar Ricobaio 1014 foram empregados os dados fenológicos do experimento realizado por Souza (1989).

Modelos de estimativa fenológica

Foram avaliados os modelos RCM (Gao *et al.*, 1992), Beta (Yin *et al.*, 1995) e GDD (Arnold, 1959) em diferentes subperíodos das culturas de milho (Phoenix, Mezcla Amarillo e Pioneer 515) e feijão (Negrito 897 e Ricobaio 1014), representados respectivamente pelas seguintes equações:

$$TD = \exp(k) \left(\frac{T - T_b}{T_o - T_b} \right)^\alpha \left(\frac{T_s - T}{T_s - T_o} \right)^\beta \quad (1)$$

$$TD = \exp(\mu) (T - T_b)^\alpha (T_s - T)^\beta \quad (2)$$

$$GDD = \sum_{di} \left[\left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_b \right] \quad (3)$$

em que k, μ , α e β são os parâmetros do modelo; TD, a taxa de desenvolvimento para o subperíodo em estudo, d^{-1} , $0 < TD < 1$; T, a temperatura média durante o subperíodo, °C; T_s , a temperatura-base superior, °C; T_b , a temperatura-base inferior, °C; T_o , a temperatura ótima para o desenvolvimento, °C; GDD é o total de graus-dia necessários para a planta atingir determinado subperíodo de desenvolvimento; Tmax é a temperatura do ar máxima diária do i-ésimo plantio, °C; Tmin, a temperatura do ar mínima diária do i-ésimo plantio, °C; d_i é o número de dias requeridos para a

planta atingir determinado subperíodo de desenvolvimento para o i-ésimo plantio.

Parâmetros dos modelos

Os parâmetros α , β , μ , k e T_s dos modelos Beta e RCM foram obtidos pelo software “STATISTICA”, versão 6.0. Para o parâmetro T_b , foram adotados os valores médios estimados por Andrade (2004) para os diversos subperíodos e cultivares das culturas de milho e feijão por meio das quatro fórmulas propostas por Yang *et al.* (1995), conforme mostra a Tabela 1. A T_o foi estimada, empregando-se a seguinte equação:

$$T_o = \frac{\alpha T_s + \beta T_b}{\alpha + \beta} \quad (4)$$

Avaliação dos modelos fenológicos

Para avaliação dos modelos Beta, RCM e GDD, utilizou-se a análise de concordância de Willmott (CW), erro absoluto médio (EAM) (Willmott *et al.*, 1985) e o erro-padrão da estimativa (EPE), representada pelas seguintes expressões:

$$CW = 1 - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O_i| + |O_i - O|)^2} \right\} \quad (5)$$

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (6)$$

Tabela 1 - Valores médios de temperatura-base inferior estimados por Andrade (2004) para diversos subperíodos e cultivares das culturas de milho e feijão por meio das fórmulas de Yang *et al.* (1995)

Cultura	Cultivar	*Subperíodo	T_b Média
Milho	Phoenix	E-P	7,3
		S-P	9,6
	Mezcla Amarillo	E-P	10,9
		S-P	10,8
Pioneer 515	E-P	7,6	
	S-P	13,2	
Feijão	Negrito 897	S-F	9,7
		F-C	5,8
	Ricobaio 1014	S-C	7,2
		S-F	3,4
		F-C	7,9
	S-C	7,5	

* E-P emergência-pendoamento, S-P semeadura-pendoamento, S-F semeadura-floração, F-C floração-colheita, S-C semeadura-colheita.

$$EPE = \left(\frac{\sum (O_i - P_i)^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

em que P_i representa o número de dias estimado para o subperíodo em estudo; O_i é o número de dias observados no subperíodo em estudo; O é o valor médio de dias observados no subperíodo em estudo, e n é o número de plantios analisados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros μ , α , β , k , T_b , T_s e T_o dos modelos Beta e RCM, que foram estimados e utilizados na predição fenológica dos subperíodos de desenvolvimento das culturas de milho (Phoenix, Mezcla Amarillo e Pioneer 515) e feijão (Negrito 897 e Ricobaio 1014). Com exceção de T_b , que vem da Tabela 1, e T_o , estimado pela Equação 4, os demais parâmetros da Tabela 2 foram obtidos por meio do software STATISTICA 6.0. Para tanto, foram adotados valores iniciais dos parâmetros μ , α , k , β , próximos aos valores estimados por Yin *et al.* (1995). Os valores iniciais do parâmetro T_s , adotados em todos os subperíodos das culturas de milho e feijão, foram de 37°C (Ellis *et al.*, 1992) e 30°C (Barbano *et al.*, 2001), respectivamente. Ao obter os parâmetros μ , α e β , realizou-se a estimativa da T_o pela Equação 4.

O valor do parâmetro apresentado na Tabela 2, para as culturas de milho e feijão, foi obtido por Andrade (2004). É importante verificar nos modelos Beta e RCM a

baixa sensibilidade deles à variação dos parâmetros T_b e T_s ; esta observação também foi feita por Yin *et al.* (1995).

Desempenho dos modelos

As Figuras 1 a 5 representam a comparação entre dias observados e estimados pelos modelos Beta, RCM e GDD. Os modelos Beta e RCM apresentaram os mesmos resultados, por isso, nas Figuras de 1 a 5, foram representados pelo mesmo eixo. Por outro lado, a Tabela 3 mostra os coeficientes de determinação (r^2), a concordância de Willmott (CW), a erro médio absoluto (EAM) e o erro-padrão da estimativa (EPE) para análise estatística da predição dos subperíodos com os modelos Beta, RCM e GDD para as culturas de milho e feijão, nos respectivos subperíodos e com as cultivares citados.

Na Figura 1 e na Tabela 3, nota-se que a cultura do feijão, cultivar Negrito 897, nos três subperíodos (semeadura-floração, floração-colheita e semeadura-colheita) analisados, com os modelos Beta e RCM, apresentam resultados de CW, EAM, r^2 e EPE muito próximos aos obtidos com o modelo GDD. Além disso, observa-se que, no subperíodo semeadura-floração, os modelos (Beta, RCM e GDD) obtiveram os melhores resultados quando comparados aos demais subperíodos. Contudo, pode-se ver que, no subperíodo semeadura-colheita, houve um baixo ajuste dos modelos (Beta, RCM e GDD), apresentando EPE superior a 9,15 dias, EAM superior a 6,28 dias, r^2 inferior a 0,52 e CW de 0,80.

Tabela 2 - Valores de parâmetros dos modelos Beta e RCM estimados para diversos subperíodos e cultivares de milho e feijão

Cultura	Cultivar	*Subperíodo	Parâmetro						
			μ	α	β	k	T_b	T_s	T_o
Milho	Phoenix	E-P	-10,1619	1,6439	0,5497	-4,0492	7,3	35,8	28,7
		S-P	-10,1860	1,5612	0,6915	-4,1426	9,6	36,7	28,4
	Mezcla Amarillo	E-P	-9,7058	1,4966	0,7003	-3,9404	10,9	36,7	28,5
		S-P	-9,7843	1,5295	0,6783	-4,0227	10,8	36,0	28,3
	Pioneer 515	E-P	-9,1949	1,4874	0,4082	-3,8320	7,6	36,1	30,0
		S-P	-9,7865	1,5153	0,8333	-3,9627	13,2	36,1	27,9
Feijão	Negrito 897	S-F	-9,2695	1,6938	0,5925	-3,5951	9,7	30,9	25,4
		F-C	-9,7545	1,6960	0,6003	-3,6728	5,8	30,9	24,3
		S-C	-9,6016	1,5397	0,4466	-4,3622	7,2	31,0	25,7
	Ricobaio 1014	S-F	-9,9398	1,7186	0,4859	-3,7396	3,4	31,6	25,4
		F-C	-8,2694	1,3959	0,4172	-3,5884	7,9	30,6	25,3
		S-C	-10,5546	1,7548	0,6443	-4,3774	7,5	31,0	24,7

* E-P emergência-pendoamento, S-P semeadura-pendoamento, S-F semeadura-floração, F-C floração-colheita, S-C semeadura-colheita.

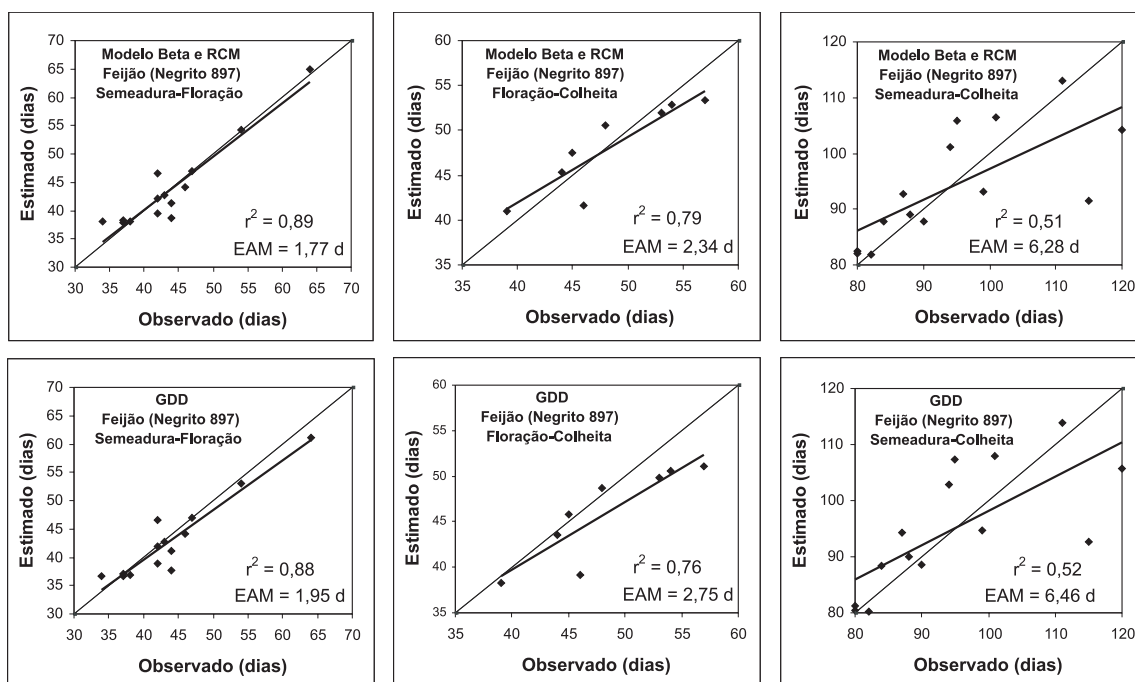


Figura 1 – Dias observados versus estimados com os modelos Beta, RCM e GDD para a cultura do feijão, cultivar Negrito 897, nos subperíodos semeadura-floração, floração-colheita e semeadura-colheita.

A Figura 2 mostra os resultados da predição de três subperíodos (semeadura-floração, floração-colheita e semeadura-colheita) para a cultura do feijão, cultivar Ricobaio 1014, por meio dos modelos Beta, RCM e GDD. Também, para este cultivar, com os modelos Beta e RCM, os resultados de CW, EAM, r^2 e EPE foram ligeiramente melhores quando comparados com o modelo GDD. E, como pode ser visualizado na Tabela 3 e Figura 2, nos subperíodos semeadura-floração e semeadura-colheita, os modelos (Beta, RCM e GDD) tiveram os melhores resultados.

As Figuras 3 a 5 e a Tabela 3 mostram os resultados da predição dos subperíodos emergência-pendoamento e semeadura-pendoamento dos cultivares de milho Phoenix, Mezcla Amarillo e Pioneer 515.

Para o cultivar Phoenix (Figura 3 e Tabela 3), observa-se que, no subperíodo emergência-pendoamento, os modelos (Beta, RCM e GDD) tiveram melhores resultados de CW, EAM, r^2 e EPE. Além disso, neste subperíodo, os modelos Beta e RCM tiveram o mesmo coeficiente de determinação ($r^2 = 0,80$) quando comparados com o modelo GDD, o

que ocorreu também no subperíodo semeadura-pendoamento, em que o coeficiente de determinação ($r^2 = 0,41$) foi o mesmo para todos os modelos. Entretanto, conforme pode ser visto na Figura 3 e na Tabela 3, ao analisar os valores de CW, EAM e EPE, nota-se um desempenho relativamente melhor da estimativa feita por meio dos modelos Beta e RCM. Contudo, verificou-se que no subperíodo semeadura-pendoamento os modelos (Beta, RCM e GDD) tiveram baixo ajuste, o que também foi observado para a cultura do feijão, cultivar Negrito 897, no subperíodo semeadura-colheita.

Com relação aos cultivares Mezcla Amarillo e Pioneer 515 (Figuras 4 e 5), ao fazer a comparação dos modelos Beta e RCM com o modelo GDD, verificou-se que, nos subperíodos emergência-pendoamento e semeadura-pendoamento, os modelos apresentaram praticamente os mesmos coeficientes de determinação. Mas, ao analisar os demais resultados da Tabela 3, confirma-se também que os modelos Beta e RCM tiveram melhor desempenho quando comparados com o modelo GDD.

Após a análise dos resultados obtidos com a

Tabela 3 – Coeficientes de determinação (r^2), análise de concordância de Willmott (CW), erro médio absoluto (EAM, em dias) e erro-padrão da estimativa (EPE, em dias) da predição fenológica com os modelos Beta, RCM e GDD em diferentes subperíodos e com diferentes cultivares das culturas de feijão e milho

Cultura	Cultivar	*Subperíodo	CW		EAM		r^2		EPE	
			GDD	BETA e RCM	GDD	BETA e RCM	GDD	BETA e RCM	GDD	BETA e RCM
Feijão	Negrito 897	S-F	0,91	0,92	1,95	1,77	0,88	0,89	2,77	2,58
		F-C	0,82	0,89	2,75	2,34	0,76	0,79	3,88	2,77
		S-C	0,80	0,80	6,46	6,28	0,52	0,51	9,15	9,22
	Ricobaio 1014	S-F	0,87	0,92	1,09	1,09	0,83	0,87	1,76	1,42
		F-C	0,88	0,89	3,21	3,01	0,78	0,79	3,84	3,71
		S-C	0,76	0,83	3,36	2,87	0,87	0,88	5,44	3,81
Milho	Phoenix	S-P	0,78	0,80	2,07	1,90	0,41	0,41	2,87	2,62
		E-P	0,83	0,89	0,71	0,58	0,80	0,80	0,97	0,72
	Mezcla Amarillo	S-P	0,82	0,88	1,36	1,10	0,73	0,74	1,78	1,40
		E-P	0,64	0,91	1,08	0,32	0,84	0,84	1,25	0,43
Pioneer 515	S-P	0,85	0,86	1,59	1,36	0,70	0,71	1,95	1,81	
	E-P	0,77	0,88	1,06	0,82	0,76	0,76	1,48	1,01	

* E-P emergência-pendoamento, S-P semeadura-pendoamento, S-F semeadura-floração, F-C floração-colheita, S-C semeadura-colheita.

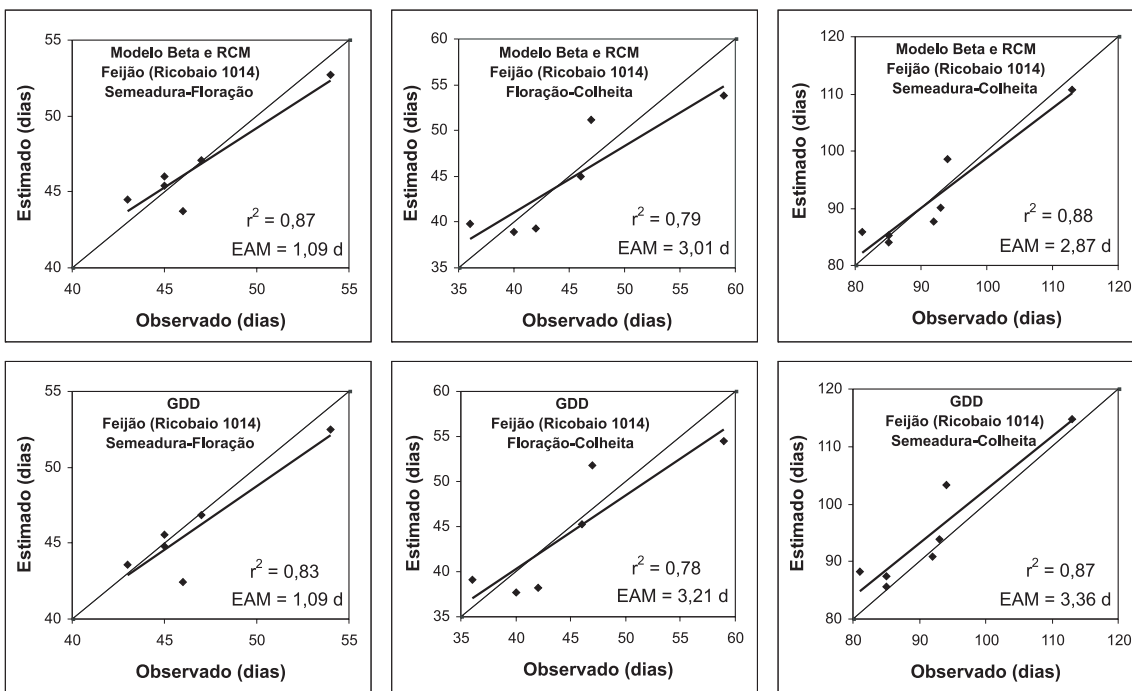


Figura 2 – Dias observados versus estimados com os modelos Beta, RCM e GDD para a cultura do feijão, cultivar Ricobaio 1014, nos subperíodos semeadura-floração, floração-colheita e semeadura-colheita.

cultura de feijão e milho, com os cultivares e subperíodos descritos nas Figuras 1 a 5 e na Tabela 3, nota-se que os modelos Beta e RCM apresentaram melhores estimativas em todos os subperíodos, quando comparados com o modelo GDD.

Ao analisar os resultados estatísticos da

Tabela 3 e comparar entre dias observados e estimados com os modelos Beta, RCM e GDD (Figuras 1 a 5), vê-se que, assim como ocorreu com o modelo linear (GDD), a predição dos subperíodos das culturas com os modelos não-lineares (Beta e RCM) será mais precisa quando a temperatura do ar estiver

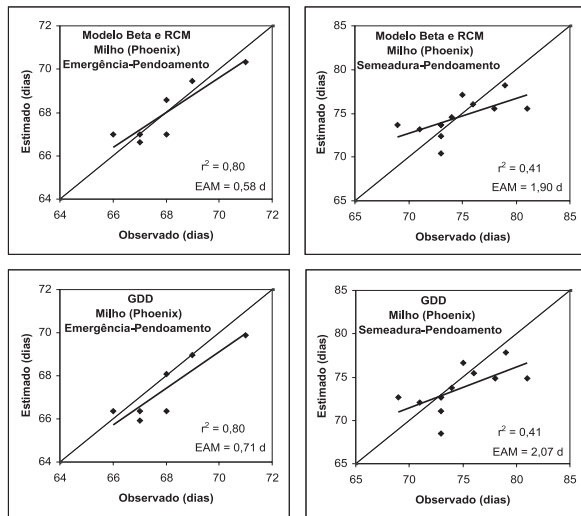


Figura 3 – Dias observados versus estimados com os modelos Beta, RCM e GDD para a cultura do milho, cultivar Phoenix, nos subperíodos emergência-pendoamento e semeadura-pendoamento.

altamente correlacionada com a duração dos subperíodos, pois esses modelos são desenvolvidos de forma a descrever a taxa de desenvolvimento como uma função que varia de acordo com a temperatura do ar.

Considerações referentes aos modelos Beta, RCM e GDD

Neste estudo, as culturas estavam submetidas somente à condição subótima, sendo, portanto,

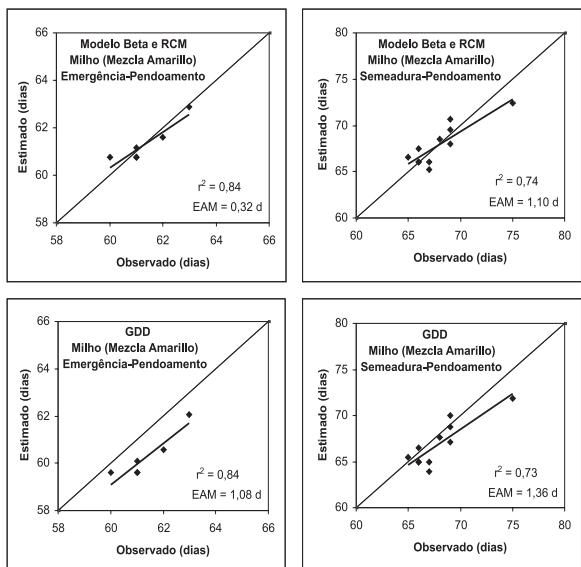


Figura 4 – Dias observados versus estimados com os modelos Beta, RCM e GDD para a cultura do milho, cultivar Mezcla Amarillo, nos subperíodos emergência-pendoamento e semeadura-pendoamento.

impossível verificar o desempenho dos modelos em temperatura superior, mas não se sabe se numa situação supra-ótima o modelo GDD continuará apresentando pequenas diferenças quando comparado aos modelos não-lineares. Este é um detalhe relevante que deve ser verificado. Segundo Yan & Hunt (1999), o modelo GDD é conveniente e efetivo quando a temperatura do ar não se aproxima do ponto de temperatura ótima (T_o) ou a excede.

Uma observação importante faz-se também sobre o modelo RCM, que foi desenvolvido para a cultura do arroz, e teve boa aceitabilidade pelas culturas de milho e feijão. Quanto ao modelo Beta, que leva a vantagem de ser mais simples do que o RCM, apresentou as mesmas estimativas obtidas pelo RCM, dados também obtidos por Yin *et al.* (1995). Além disso, quando os valores de T_b e T_s são conhecidos, os parâmetros λ e

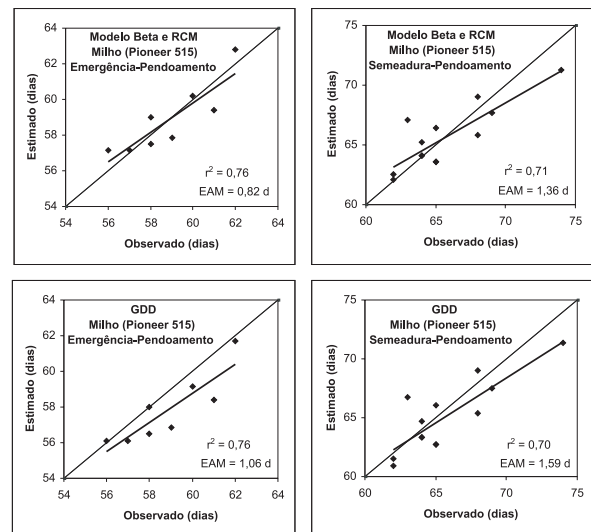


Figura 5 – Dias observados versus estimados com os modelos Beta, RCM e GDD para a cultura do milho, cultivar Pioneer 515, nos subperíodos emergência-pendoamento e semeadura-pendoamento.

ã podem ser facilmente determinados, após a linearização da Equação 2.

A baixa sensibilidade à variação dos parâmetros T_b e T_s é outra observação importante, referente aos modelos não-lineares (Beta e RCM). Por outro lado, a escolha equivocada de uma T_b para o modelo linear (GDD) pode acarretar um acúmulo de graus-dia, que não é representativo da quantidade de energia que a planta precisa para atingir determinado estágio, ou subperíodo de desenvolvimento.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas condições analisadas possibilitaram as seguintes conclusões:

1) Os modelos Beta e RCM foram idênticos na predição fenológica de cada subperíodo de

desenvolvimento das culturas analisadas.

2) De forma geral, os modelos Beta e RCM apresentaram melhor desempenho na estimativa de cada subperíodo de desenvolvimento das culturas analisadas, em comparação com o modelo GDD.

REFERÊNCIAS

- Andrade RG (2004). Estimativa da temperatura base inferior e avaliação dos modelos Beta, RCM e GDD em diferentes subperíodos das culturas de milho, arroz e feijão. Tese de mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 67p.
- Arnold CY (1959). The development and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Proceeding American Society for Horticultural Science* 74: 430-445.
- Barbano MT, Brunini O., Wutke EB, Castro JL, Gallo PB, KANTHACK RAD, Martins ALM., Pereira JCV A, Bortoletto N, Paulo EM, Sakai M, Saes LA, Ambrosano EJ, Carbonell SAM., Silveira LCP., Filho JAA, Duarte AP, Junior CM, Takeda RT & Araújo AP (2001). Comparação entre valores observados e estimados de duração dos diferentes subperíodos de desenvolvimento da cultura do feijoeiro. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 9 (1): 103-110.
- Calil ACP (1983). Avaliação das populações de pragas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em seis épocas de plantio, utilizando a tabela de vida. Tese de mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 92p.
- Cross, H.Z & Zuber MS (1972). Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agronomy Journal* 64: 351-355.
- Ellis RH, Summerfield RJ, Edmeades GO & Roberts EH (1992). Photoperiod, temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. *Crop Science* 32: 1225-1232.
- Gao L, Jin Z, Huang Y & Zhang L (1992). Rice clock model a computer model to simulate rice development. *Agricultural and Forest Meteorology* 60: 1-16.
- Gilmore EC & Rogers JS (1958). Heat units as method of measuring maturity in corn. *Agronomy Journal* 50: 611-615.
- Mantovani EC (1986). Determinação do coeficiente de cultura para o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado, em duas épocas de plantio. Tese de mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 73p.
- McMaster GS & WILHELM WW (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology* 87: 291-300.
- McMaster GS & SMIKA de (1988). Estimation and evaluation of winter wheat phenology in the central Great Plains. *Agricultural and Forest Meteorology* 43: 1-18.
- Russelle MP, Wilhelm WW, Olson RA & Power JF (1984). Growth analysis based on degree days. *Crop Science* 24: 28-32.
- Silva JA (1989). Influência da umidade do solo nas exigências térmicas de três cultivares de milho (*Zea mays* L.). Tese de mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 79p.
- Souza JL de (1989). Avaliação agroclimática de quatro microrregiões do Estado de Minas Gerais para alguns cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Tese de mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 70p.
- Willmott CJ, Ackleson SG, Davis R., Feddema, JJ, Klink KM, Legates DR, Odonnell J & Rowe CM (1985). Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 90: 8995-9005.
- Yan W & Hunt LA (1999). An equation for modeling the temperature response of 17. plants using only the cardinal temperatures. *Annals of Botany* 84: 607-614.
- Yang S, Logan J & Coffey DL (1995). Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. *Agricultural and Forest Meteorology* 74: 61-74.
- Yin X, Kropff MJ, McLaren G & Vispas RM (1995). A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 77: 1-16.