

ISSN 0104-1347

Milho: modelos agrometeorológicos para caracterizar a produtividade de fitomassa seca de diferentes órgãos

Maize: agrometeorological models to characterize dry mass productivity of different organs

Paulo Augusto Manfron^{1,9}, Durval Dourado Neto^{2,9}, Antonio Luiz Fancelli³, Osny Oliveira Santos Bacchi^{4,9}, Pedro Abel Vieira Júnior^{5,9}, Reinaldo Antônio Garcia Bonnacarrère^{6,9}, Thomas Newton Martin^{7,9}, Sandro Luis Petter Medeiros⁸

Resumo: O estudo da distribuição temporal de variáveis que dependem do clima, como por exemplo a produção de fitomassa, é uma ferramenta de grande valor para o planejamento e gestão de atividades agrícolas. Com o objetivo de caracterizar a variação temporal da produção de fitomassa seca referente à cultura de milho, em condições de ambiente tropical sob irrigação, são propostos modelos agrometeorológicos para estimar a produtividade de matéria seca de colmos, folha, pendão, espiga e parte aérea de três híbridos (Cargill-901, Cargill-333-B e Cargill-806 com 60.000, 50.000 e 50.000 plantas.ha⁻¹, respectivamente), utilizando graus-dia como variável independente. Um experimento de campo foi conduzido no Departamento de Produção Vegetal, ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP (latitude: 22°42' Sul, longitude: 47°38' Oeste e altitude: 546 m), no período de Outubro/1997 a Março/1998, em NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico. A determinação temporal da fitomassa seca dos diferentes órgãos permitiu determinar os parâmetros de ajuste dos modelos e comparar valores observados e valores estimados. Os resultados permitem concluir que os modelos agrometeorológicos propostos podem ser utilizados para definir a ordem de grandeza e descrever a variação temporal da produtividade da fitomassa seca de colmo, folha, pendão, espiga e parte aérea da cultura de milho.

Palavras-chave: modelagem, milho, massa de matéria seca.

Abstract: In order to characterize the temporal variation of irrigated maize crop production, in tropical environment, agrometeorological models are proposed to estimate the dry mass productivity of stalk, leaf, tassel, ear and aerial part of three hybrids (Cargill-901, Cargill-333-B and Cargill-806 with 60,000; 50,000 and 50,000 plants.ha⁻¹, respectively), having degree-day as independent variable. A field experiment was carried out at Crop Science Department, ESALQ, University of São Paulo, Piracicaba-SP, Brazil (latitude: 22°42' south, longitude: 47°38' west and altitude: 546 m a.s.l), from October/1997 to March/1998, in a soil classified as Rhodic kandistalfs. The gain of dry mass during the cycle was determined and the models were adjusted. The comparison between observed and estimated productivities allowed to conclude that the proposed agrometeorological models for maize can be used to characterize the temporal variation of the dry mass productivity of stalk, leaf, tassel, ear and aerial part of the maize crop.

Key words: Modeling, maize, dry mass.

¹ Dr. Prof. Titular, Departamento de Fitotecnia, CCR, UFSM. Santa Maria, RS. manfronp@smail.ufsm.br

² Dr. Prof. Associado, Departamento de Produção Vegetal. ESALQ/USP. Piracicaba, SP. dourado@esalq.usp.br

³ Dr. Prof. Doutor, Departamento de Produção Vegetal. ESALQ/USP. Piracicaba, SP. fancelli@esalq.usp.br

⁴ Dr. Pesquisador, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP. Piracicaba, SP. osny@cena.usp.br

⁵ Pesquisador. M.Sc., EMBRAPA, SNTEN, Sete Lagoas, MG. pavieira@esalq.usp.br

⁶ Engenheiro Agrônomo. Doutorando em Fitotecnia. ESALQ-USP. rabonnec@esalq.usp.br

⁷ Engenheiro Agrônomo. Doutorando em Fitotecnia. ESALQ-USP. martin@esalq.usp.br

⁸ Dr. Prof. Adjunto, Departamento de Fitotecnia, CCR, UFSM. Santa Maria, RS. sandro@smail.ufsm.br

⁹ Bolsista CNPq.

Introdução

A utilização de modelo extrapolável permite que os resultados sejam generalizados para outras situações diferentes das condições em que foram obtidos. A filosofia é estimar a ordem de grandeza para fins de planejamento, no qual são requeridos formação teórica apurada, experiência e bom senso do usuário da informação (MANFRON et al., 2003a).

O estudo das distribuições de variáveis, ao longo do tempo, como um meio de compreender os fenômenos agrometeorológicos, determinando seus padrões de ocorrência e permitindo uma previsibilidade razoável do desempenho climático de uma região, é uma ferramenta de grande valor para o planejamento e gestão de atividades agrícolas (DOURADO NETO, 1999).

As previsões probabilísticas auxiliam no planejamento e condução das atividades agrícolas, racionalizando os procedimentos e evitando ou minimizando os possíveis prejuízos causados pela ação de intempéries (DOURADO NETO, 1999; MANFRON et al., 2003b).

A proposição de modelos agrometeorológicos é justificável por se tratarem de uma importante ferramenta no planejamento de um sistema agrícola. Tais definições racionalizam a produção permitindo maior aproveitamento dos recursos naturais, favorecendo o planejamento de atividades ao nível de propriedade e zoneamento agrícola ao nível de região (FANCELLI & DOURADO NETO, 1999a).

O milho exige durante o seu ciclo vegetativo, calor e água para se desenvolver e produzir satisfatoriamente, proporcionando produtividades compensadoras (FANCELLI & DOURADO NETO, 1999b). Em decorrência da temperatura afetar a eficiência de conversão, seria preferível utilizar a taxa de crescimento por unidade de tempo térmico como medida de desempenho de híbridos de milho, devido a existência de estreita correlação positiva entre o parâmetro anteriormente mencionado e a produção de grãos (HAWKINS & COOPER, 1981).

O aumento da temperatura, principalmente noturna, além de incrementar o processo respiratório, contribui para acelerar o acúmulo de graus-dia, contribuindo para o encurtamento do ciclo da

cultura, reduzindo o aparato fotossintético e, conseqüentemente, a quantidade de radiação interceptada, bem como a produtividade (FANCELLI & DOURADO-NETO, 1999a,b).

Genótipos tropicais de milho apresentam partição característica de fotoassimilados (que pode ser inferida pela variação temporal da fitomassa seca), o que pode explicar a baixa produtividade quando comparados aos de clima temperado. A produtividade de milho é limitada pela amplitude do dreno. Essa limitada capacidade de dreno em híbridos de genótipos tropicais é atribuída pela competição entre as diferentes partes vegetativas (folhas, colmos e brácteas) e a espiga (GOLDSWORTHY & COLEGROVE, 1974). O incremento diário de fitomassa seca nos grãos pode variar, também, de acordo com o genótipo.

O presente trabalho tem por objetivo caracterizar a variação temporal da produção de fitomassa seca referente à cultura de milho, em condições de ambiente tropical sob irrigação, por meio da proposição de modelos agrometeorológicos que estimem a produtividade de matéria seca de colmo, folha, pendão, espiga e parte aérea da cultura de milho.

Material e Métodos

Para determinar a variação temporal da fitomassa seca durante o ciclo da cultura, foi realizado um experimento inteiramente casualizado, com três repetições, na área experimental da ESALQ, USP, em Piracicaba-SP (22°42' S, 47°38' W e 546m de altitude).

Foram utilizados os híbridos de milho Cargill-901, Cargill-333-B e Cargill-806, semeados em 20 de outubro de 1997, num solo classificado como NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico. A colheita foi efetuada em 11 de março de 1998. O experimento foi realizado em parcelas de 3,6m de largura por 30m de comprimento, adotando-se o espaçamento de 0,9m entre as linhas de cultivo (4 linhas). Assim, cada híbrido ocupou uma área de 108m² por repetição (324m² por híbrido).

O experimento de campo foi conduzido sob irrigação (pivô central), onde foi aplicada a evapotranspiração máxima acumulada no período

de três dias descontando a chuva. A evapotranspiração máxima foi estimada multiplicando a evapotranspiração de referência (Penmann-Monteith) pelo coeficiente de cultura ($K_c = 0,6$; da sementeira a 4 folhas; $K_c = 0,8$: de 4 folhas ao pendoamento; $K_c = 1,2$: do pendoamento ao estágio de grãos pastosos; e $K_c = 0,9$: de grãos pastosos ao ponto de maturidade fisiológica).

Foi utilizado por ocasião da sementeira 30 kg.ha⁻¹ de N, 40 kg.ha⁻¹ de K₂O, e 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando sulfato de amônio, cloreto de potássio e superfosfato simples, respectivamente. Por ocasião de 4 folhas, foi efetuada a adubação em cobertura de 60 kg.ha⁻¹ de N utilizando uréia como fonte.

Para determinação da fitomassa seca, foram amostradas quinze plantas por híbrido (cinco plantas por repetição com três repetições para cada um dos três híbridos) por coleta (7 ou 8 épocas de amostragem, dependendo do genótipo). Foi realizada a pré-secagem dos diferentes órgãos da planta (colmo, folha, pendão e espiga, dependendo da coleta), com a posterior secagem utilizando o método padrão de estufa com circulação de ar forçado e temperatura regulada para 60°C. Para os genótipos C-901 e C-806 as amostragens foram feitas aos 15, 30, 45, 61, 76, 92 e 107 dias após a emergência (DAE). Para o genótipo C-333-B foi feita mais uma amostragem aos 122 DAE.

A temperatura basal mínima e a temperatura basal máxima da cultura de milho, utilizadas para efeito de cálculo da soma calórica, tanto para o florescimento quanto para o ponto de maturidade fisiológica, foram 10°C e 30°C, respectivamente (BERLATO & SUTILI, 1976).

Resultados e Discussão

O ajuste dos modelos (Tabela 1) aos valores observados foi efetuado utilizando os três híbridos, acompanhando-se diariamente a fenologia dos mesmos. Em cada avaliação diária foi demarcada uma linha de dois metros de comprimento para observação das plantas, procedimento tal efetuado para cada um dos três híbridos nas três repetições.

Para caracterizar a variação temporal (utilizando graus-dia como variável independente) da fitomassa seca do colmo, da folha, do pendão, da

espiga e da parte aérea total da planta de milho, para os três genótipos estudados, foi utilizado o software TableCurve. Foram selecionados os modelos que apresentaram os melhores ajustes aos valores observados.

Na Tabela 1 são apresentados os modelos agrometeorológicos propostos neste trabalho para caracterizar a variação temporal da fitomassa seca dos diferentes órgãos (colmo, folha, pendão, espiga) e o total da parte aérea da cultura de milho. Foi utilizado 'graus-dia' (em vez de tempo) como variável independente para tornar o modelo extrapolável para outras localidades e/ou outras épocas de sementeira. Sugere-se utilizar 'graus-dia' como referência de planejamento, fenologia como referência de manejo e tempo apenas como referência prática.

Para estimar a produtividade de grãos, tem-se que:

$$P = \frac{Pp.Pr.Fe.Gf.Mg}{1000} \quad (1)$$

em que P se refere a produtividade de grãos (kg.ha⁻¹), **Pp** à população de plantas (plantas.ha⁻¹), **Pr** à prolificidade média (espigas.planta⁻¹), **Fe** ao número médio de fileiras de grãos por espiga (fileiras.espiga⁻¹), **Gf** ao número médio de grãos por fileira (grãos.fileira⁻¹) e **Mg** à massa média do grão (g.grão⁻¹).

A Figura 1 ilustra a variação temporal da temperatura do ar durante o ciclo dos três híbridos de milho em estudo, bem como a temperatura basal inferior (10°C) e a superior (30°C) (BERLATO & SUTILI, 1976), as quais foram utilizadas para calcular a soma calórica nas diferentes épocas de amostragem, até a emergência, até o florescimento e até o ponto de maturidade fisiológica dos diferentes genótipos (Tabelas 2, 4, 6, 8, 10 e 12).

A Figura 2 ilustra a variação temporal da fitomassa seca dos diferentes órgãos (colmo, folha, pendão e espiga) para os três genótipos utilizados (C-901, C-333-B e C-806). Essas determinações são de suma importância para conhecer a alocação de fotoassimilados aos diferentes órgãos ao longo do ciclo da cultura. Apesar do resultado apresentado (em dias após a emergência - DAE) não ser

extrapolável (graus-dia, referência de planejamento, bem como fenologia, referência de manejo, são as formas adequadas de se expressar os resultados quando se deseja a extrapolação dos mesmos), trata-se de uma referência prática muito utilizada em modelos matemáticos. Essa apresentação é aceitável desde que se tenha também os resultados apresentados associados à graus-dia (Tabelas 4, 6, 8, 10 e 12) ou fenologia.

A Tabela 2 apresenta o número de graus-dia (ou soma calórica) referente aos seguintes períodos: da sementeira à emergência, da sementeira ao florescimento e da sementeira ao ponto de

maturidade fisiológica, para os três genótipos de milho (C-901, C-333-B e C-806). Essa abordagem permite definir concomitantemente (planejamento) a época de sementeira e o genótipo mais adequado ao ambiente em estudo, no intuito de permitir a cada um dos genótipos um melhor desempenho fisiológico com conseqüente minimização de custo (menor incidência de pragas, doenças e plantas daninhas, devido à maior competitividade e melhor estado nutricional da cultura), maximização da receita bruta (a adequação ao ambiente maximiza produtividade, pois ter-se-ão valores de temperatura mais próximos dos valores referentes à máxima fotossíntese líquida) e maximização do lucro.

Tabela 1. Modelos agrometeorológicos propostos para caracterizar a variação temporal da fitomassa seca dos diferentes órgãos (colmo, folha, pendão, espiga e parte aérea) da cultura de milho. Piracicaba. 1997/1998.

Equação	VD ¹	Equação ³	
I	MSc ²	$MSc_i = a + \frac{b}{\pi} \left[\arctg \left(\frac{GD_i - c}{d} \right) + \frac{\pi}{2} \right]$	(2)
II	MSf ²	$MSf_i = \left(\frac{a + cGD_i}{1 + bGD_i + dGD_i^2} \right)^2$	(3)
III	MSp ²	$MSp_i = 4.a.e^{\frac{-(GD_i - b)}{c}} \left(1 - e^{\frac{-(GD_i - b)}{c}} \right)$	(4)
IV	MSe ²	$MSe_i = a.e^{-e^{\left(\frac{GD_i - c \ln(\ln(2)) - b}{c} \right)}}$	(5)
V	MSpa ²	$MSpa_i = a + b \operatorname{sen}^2 \left(\frac{2\pi GD_i}{d} + c \right)$	(6)

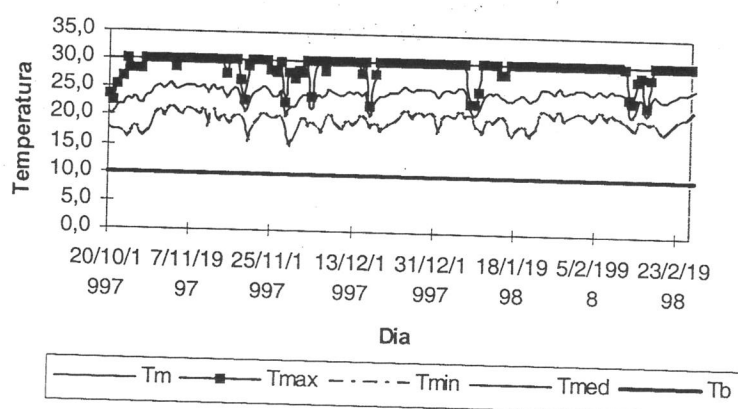


Figura 1. Variação temporal (20 de outubro de 1997 a 27 de fevereiro de 1998) da temperatura mínima (T_{min} , °C), média (T_{med} , °C) e máxima (T_{max} , °C) do ar, bem como da temperatura basal mínima (T_b , 10°C) e da temperatura basal máxima (T_m , 30°C) da cultura de milho. Piracicaba. 1997/1998.

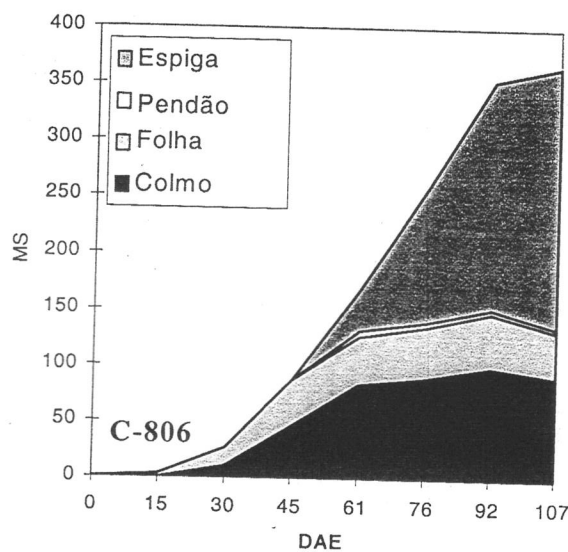
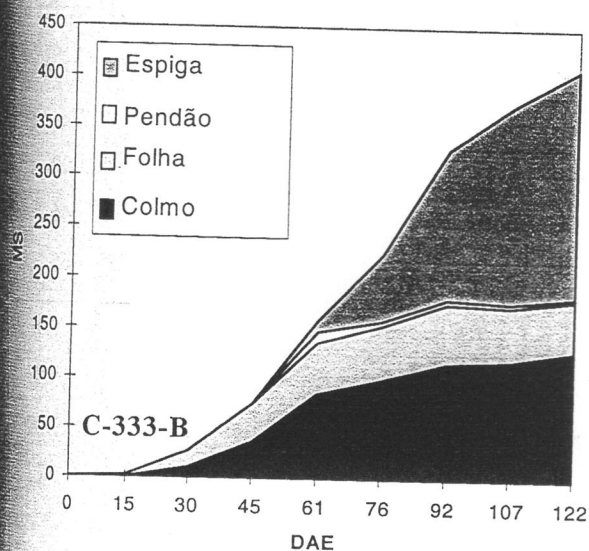
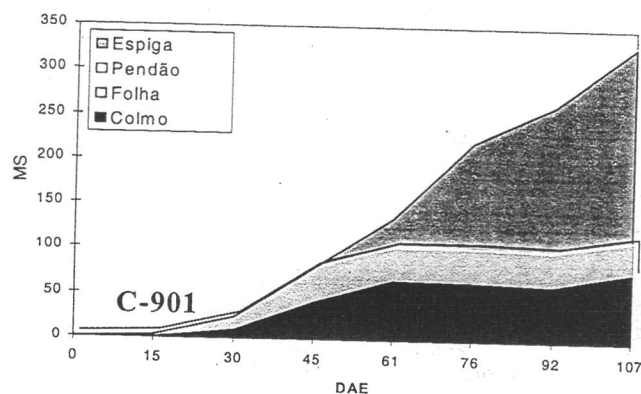


Figura 2. Caracterização da variação temporal da fitomassa seca (MS) do colmo (g.pl⁻¹), da folha (g.pl⁻¹), do pendão (g.pl⁻¹) e da espiga (g.pl⁻¹) em função do número de dias após a emergência (DAE) referente aos híbridos C-901, C-333-B e C-806. Piracicaba. 1997/1998.

Tabela 2. Soma calórica acumulada (GD, °C.dia) referente aos períodos semeadura à emergência, emergência ao florescimento e florescimento ao ponto de maturidade fisiológica correspondente aos híbridos de milho C-901, C-333-B e C-806. Piracicaba. 1997/1998.

Período	C-901	GD C-333-B	C-806
Semeadura à emergência	13,3	13,3	13,1
Emergência ao florescimento	954,3	939,1	801,4
Florescimento ao ponto de maturidade fisiológica	1560,6	1802,2	1637,8

Tabela 3. Parâmetros referentes à caracterização da variação temporal da fitomassa seca do colmo (MSc, g.pl⁻¹) em função da soma calórica (GD, °C.dia) dos três híbridos de milho utilizados (modelo estatístico tipo I- Tabela 1). Piracicaba. 1997/1998.

Parâmetro	Valor	s	Valor t	Limite de confiança (99%)	
				Inferior	Superior
Híbrido C-901					
a	-5,190	7,058	-0,735	-37,671	27,290
b	76,871	10,649	7,219	27,863	125,879
c	612,161	37,178	16,466	441,059	783,264
d	104,808	66,639	1,573	-201,881	411,497
Híbrido C-333-B					
a	-18,034	6,081	-2,966	-42,554	6,485
b	152,972	9,964	15,352	112,797	193,148
c	758,973	25,931	29,269	654,422	863,524
d	230,301	42,390	5,433	59,386	401,217
Híbrido C-806					
a	-7,236	4,339	-1,668	-27,206	12,735
b	107,071	7,155	14,964	74,142	140,000
c	647,925	14,019	46,216	583,404	712,446
d	112,046	35,008	3,201	-49,072	273,163

Tabela 4. Valores observados e estimados referentes à caracterização da variação temporal da fitomassa seca do colmo (MSc, g.pl⁻¹) em função da soma calórica (GD, °C.dia) dos três híbridos de milho utilizados (modelo estatístico tipo I - Tabela 1). Piracicaba. 1997/1998.

GD	MSc		Resíduo		Limite de confiança (95%)	
	Observado	Estimado	Absoluto	Relativo%	Inferior	Superior
Híbrido C-901						
0,0	0,000	-1,041	1,041	0,000	-35,228	33,145
236,0	0,000	1,458	-1,458	0,000	-30,208	33,125
447,4	9,158	8,672	0,486	5,302	-27,524	44,869
648,1	41,070	41,328	-0,258	-0,628	3,615	79,041
877,2	65,135	62,466	2,668	4,097	30,940	93,993
1095,1	63,460	66,451	-2,991	-4,713	36,258	96,644
1328,1	60,707	68,123	-7,417	-12,217	37,407	98,840
1560,6	76,916	68,987	7,929	10,308	37,666	100,309
Híbrido C-333-B						
0,0	0,000	-3,689	3,689	0,000	-26,419	19,040
236,0	0,000	2,164	-2,164	0,000	-19,033	23,362
447,4	10,987	12,960	-1,972	-17,952	-8,068	33,987
648,1	36,387	36,605	-0,218	-0,599	12,556	60,653
877,2	84,987	81,546	3,441	4,049	57,644	105,448
1095,1	99,727	105,685	-5,959	-5,975	84,718	126,652
1328,1	116,147	116,214	-0,067	-0,058	95,903	136,524
1560,6	119,244	121,315	-2,071	-1,737	100,347	142,283
1770,2	129,355	124,034	5,321	4,114	102,366	145,702
Híbrido C-806						
0,0	0,000	-1,400	1,400	0,000	-22,607	19,808
236,0	0,000	1,816	-1,816	0,000	-18,137	21,768
447,4	10,532	10,130	0,402	3,814	-11,413	31,674
648,1	46,407	46,353	0,054	0,116	22,511	70,194
877,2	84,000	84,343	-0,343	-0,408	62,918	105,768
1095,1	89,900	91,467	-1,567	-1,743	72,332	110,602
1328,1	99,967	94,270	5,696	5,698	74,654	113,887
1560,5	91,845	95,672	-3,826	-4,166	75,434	115,909

Tabela 5. Parâmetros referentes à caracterização da variação temporal da fitomassa seca da folha ($MSf, g.pl^{-1}$) em função da soma calórica (GD, $^{\circ}C.dia$) dos três híbridos de milho utilizados (modelo estatístico tipo II - Tabela 1). Piracicaba. 1997/1998.

Parâmetro	Valor	s	Valor t	Limite de confiança (99%)	
				Inferior	Superior
Híbrido C-901					
a	0,00002729	0,00002493	1,09481537	-0,00008743	0,00014200
b	-0,00067853	0,00115523	-0,58735331	-0,00599518	0,00463813
c	0,00762933	0,00683924	1,11552258	-0,02384659	0,03910525
d	0,00000086	0,00000018	4,64781864	0,00000001	0,00000171
Híbrido C-333-B					
a	0,00002659	0,00000715	3,72045793	-0,00000223	0,00005540
b	-0,00041241	0,00035005	-1,17813823	-0,00182380	0,00099898
c	0,00901630	0,00239735	3,76095214	-0,00064966	0,01868226
d	0,00000063	0,00000006	10,6018392	0,00000039	0,00000087
Híbrido C-806					
a	0,00002177	0,00001525	1,42727889	-0,00004842	0,00009196
b	-0,00078663	0,00081832	-0,96127807	-0,00455273	0,00297947
c	0,00744979	0,00515408	1,44541675	-0,01627057	0,03117014
d	0,00000084	0,00000017	5,05139154	0,00000008	0,00000161

As Tabelas 3, 5, 7, 9 e 11 mostram os parâmetros empíricos dos modelos (Tabela 1) determinados através de análise de regressão não linear (utilizando o método que minimiza a soma dos quadrados dos erros) referentes à variação temporal da fitomassa seca do colmo ($MSc, g.pl^{-1}$ - modelo estatístico tipo I), da folha ($MSf, g.pl^{-1}$ - modelo estatístico tipo II), do pendão ($MSP, g.pl^{-1}$ - modelo estatístico tipo III), da espiga ($MSe, g.pl^{-1}$ - modelo estatístico tipo IV) e da parte aérea ($MSPA, g.pl^{-1}$ - modelo estatístico tipo V), em função da soma calórica (GD, $^{\circ}C.dia$) dos três genótipos de milho utilizados (C-901, C-333-B e C-806).

A cultura de milho, durante a fase vegetativa, aloca uma quantidade excedente de carboidrato para o colmo como estratégia para garantir o enchimento de grãos durante a fase reprodutiva, entre os estádios referentes ao florescimento e ao de grãos pastosos, garantindo assim a perpetuação da espécie. A

variação temporal de fitomassa seca do colmo (Tabelas 3 e 4) reflete a quantidade total de carboidrato alocada para confecção do colmo e uma quantidade excedente armazenada de segurança para garantir o enchimento do grão no início da fase reprodutiva. Isso explica porque há maior alocação durante a fase vegetativa, mais especificamente entre os estádios de 7 folhas ao pendoamento (Figura 2).

A maior alocação de carboidrato para a folha ocorre durante a fase vegetativa em função da cultura de milho ser de crescimento determinado. A confecção de folhas é de suma importância para a assimilação de dióxido de carbono e para a interceptação de radiação solar e, conseqüentemente, para definição da produtividade de grãos e dos demais órgãos, dependendo da idade (estádio fenológico) da planta. O conhecimento da variação temporal de

Tabela 6. Valores observados e estimados referentes à caracterização da variação temporal da fitomassa seca da folha (MSf, g.pl⁻¹) em função da soma calórica (GD, °C.dia) dos três híbridos de milho utilizados (modelo estatístico tipo II - Tabela 1). Piracicaba. 1997/1998.

GD	MSf		Resíduo		Limite de confiança (95%)	
	Observado	Estimado	Absoluto	Relativo%	Inferior	Superior
Híbrido C-901						
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-23,170	23,170
236,0	2,279	4,115	-1,836	-80,575	-19,580	27,810
447,4	13,972	15,460	-1,488	-10,653	-8,268	39,189
648,1	37,287	28,854	8,433	22,616	5,478	52,230
877,2	37,093	39,505	-2,412	-6,503	16,208	62,803
1095,1	38,360	42,239	-3,879	-10,113	18,867	65,612
1328,1	38,420	39,526	-1,106	-2,878	16,227	62,825
1560,6	36,014	34,402	1,612	4,476	10,936	57,869
Híbrido C-333-B						
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-12,022	12,022
236,0	2,428	5,150	-2,722	-112,103	-6,973	17,272
447,4	16,096	18,367	-2,271	-14,109	6,212	30,522
648,1	38,073	34,377	3,696	9,708	22,277	46,478
877,2	51,313	49,715	1,598	3,115	37,655	61,775
1095,1	54,040	57,519	-3,479	-6,438	45,455	69,583
1328,1	60,047	58,880	1,167	1,944	46,816	70,943
1560,6	54,361	55,624	-1,262	-2,322	43,567	67,680
1770,2	51,603	50,822	0,781	1,513	38,710	62,934
Híbrido C-806						
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-23,739	23,739
236,0	3,133	4,166	-1,034	-32,993	-19,887	28,220
447,4	16,047	16,642	-0,596	-3,712	-7,465	40,750
648,1	40,867	32,668	8,198	20,061	8,765	56,572
877,2	42,780	46,387	-3,607	-8,433	22,539	70,236
1095,1	45,580	50,252	-4,672	-10,250	26,365	74,139
1328,1	48,620	46,938	1,682	3,459	23,098	70,778
1560,6	40,797	40,443	0,354	0,868	16,448	64,437

Tabela 7. Parâmetros referentes à caracterização da variação temporal da fitomassa seca do pendão (M_{Sp}, g.pl⁻¹) em função da soma calórica (GD, °C.dia) dos três híbridos de milho utilizados (modelo estatístico tipo III - Tabela 1). Piracicaba. 1997/1998.

Parâmetro	Valor	s	Valor t	Limite de confiança (99%)	
				Inferior	Superior
Híbrido C-901					
a	4,161	0,079	52,419	3,841	4,481
b	647,924	2,928	221,263	636,117	659,730
c	458,775	12,101	37,912	409,985	507,565
Híbrido C-333-B					
a	9,448	1,282	7,371	4,695	14,200
b	646,574	12,680	50,990	599,559	693,588
c	337,649	49,745	6,788	153,211	522,087
Híbrido C-806					
a	5,260	0,213	24,648	4,400	6,121
b	646,519	7,451	86,771	616,478	676,561
c	511,278	31,546	16,207	384,085	638,472

fitomassa seca de folha (Figura 2 e Tabelas 5 e 6) é importante para definição de população e distribuição de plantas.

A alocação de carboidrato para os órgãos reprodutivos, pendão (Figura 2 e Tabelas 7 e 8) e espiga (Figura 2 e Tabelas 9 e 10) é, também, de suma importância para determinar o potencial produtivo do genótipo. A taxa máxima de incremento de fitomassa de espiga, que ocorre durante o início da fase reprodutiva (entre os estádios de florescimento e de grãos leitosos), define a massa média da semente botânica. A densidade da semente é um forte indicador da sua qualidade fisiológica (definida pela germinação e vigor).

A fitomassa seca total de parte aérea produzida (Tabelas 11 e 12) é utilizada para definir

seca do sistema radicular. A fitomassa seca total de parte aérea contempla a soma das massas de folha, colmo e órgãos reprodutivos durante todo o ciclo da cultura.

Os modelos de caracterização refletem a estratégia da espécie (*Zea mays* L.) em alocar carboidrato, oriundo da fotossíntese líquida, durante a fase vegetativa para a raiz, colmo e folha; e para os órgãos reprodutivos após o florescimento (fase reprodutiva: do florescimento ao ponto de maturidade fisiológica).

A curva de caracterização da fitomassa seca de folha é sigmoideal pelos seguintes motivos: (i) o crescimento (acúmulo de massa) inicial é lento porque a alocação inicial de fotoassimilados é para o sistema radicular e colmo, respectivamente. Além disso, a fitomassa produzida num dado

Tabela 8. Valores observados e estimados referentes à caracterização da variação temporal da fitomassa seca do pendão (M_{Sp}, g.pl⁻¹) em função da soma calórica (GD, °C.dia) dos três híbridos de milho utilizados (modelo estatístico tipo III - Tabela 1). Piracicaba. 1997/1998.

GD	MSf		Resíduo		Limite de confiança (95%)	
	Observado	Estimado	Absoluto	Relativo%	Inferior	Superior
Híbrido C-901						
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,429	0,429
236,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,429	0,429
447,4	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,429	0,429
648,1	0,000	0,006	-0,006	0,000	-0,599	0,612
877,2	4,023	3,971	0,052	1,295	3,400	4,542
1095,1	3,769	3,910	-0,141	-3,738	3,411	4,410
1328,1	3,089	2,921	0,168	5,451	2,411	3,431
1560,6	1,890	1,965	-0,075	-3,978	1,446	2,485
Híbrido C-333-B						
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-5,185	5,185
236,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-5,185	5,185
447,4	0,000	0,000	0,000	0,000	-5,185	5,185
648,1	0,000	0,170	-0,170	0,000	-7,159	7,498
877,2	10,740	9,447	1,293	12,040	2,384	16,510
1095,1	4,894	7,360	-2,466	-50,385	1,297	13,422
1328,1	4,525	4,354	0,171	3,775	-1,736	10,445
1560,6	3,847	2,354	1,493	38,814	-3,469	8,177
1770,2	2,609	1,307	1,302	49,902	-4,229	6,843
Híbrido C-806						
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-1,226	1,226
236,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-1,226	1,226
447,4	0,000	0,000	0,000	0,000	-1,226	1,226
648,1	0,000	0,065	-0,065	0,000	-1,665	1,794
877,2	5,213	4,866	0,347	6,660	3,252	6,480
1095,1	4,641	5,112	-0,471	-10,146	3,682	6,541
1328,1	4,022	4,085	-0,063	-1,573	2,636	5,535
1560,6	3,266	2,932	0,334	10,233	1,422	4,442

Tabela 9. Parâmetros referentes à caracterização da variação temporal da fitomassa seca da espiga (MSe, g.pl⁻¹) função da soma calórica (GD, °C.dia) dos três híbridos de milho utilizados (modelo estatístico tipo IV - Tabela Piracicaba. 1997/1998).

Parâmetro	Valor	s	Valor t	Limite de confiança (99%)	
				Inferior	Superior
Híbrido C-901					
a	239,922	21,440	11,190	153,477	326,367
b	1136,094	47,622	23,857	944,085	1328,102
c	253,342	48,829	5,188	56,468	450,216
Híbrido C-333-B					
a	245,593	3,826	64,187	231,406	259,779
b	1252,653	9,007	139,077	1219,258	1286,047
c	253,951	9,758	26,024	217,770	290,132
Híbrido C-806					
a	254,228	5,856	43,410	230,615	277,841
b	1109,181	11,644	95,257	1062,233	1156,130
c	220,190	12,652	17,403	169,176	271,204

na primeira metade da fase vegetativa; (ii) por se tratar de espécie de crescimento determinado, durante a segunda metade da fase vegetativa, a fitomassa seca de folha aumenta exponencialmente, sendo as maiores taxas de crescimento observadas entre os estádios de 6 folhas de pendoamento. Do pendoamento ao florescimento (quando a cultura atinge índice de área foliar máximo), a taxa de crescimento é reduzida, principalmente devido à senescência das folhas mais velhas localizadas abaixo da espiga e do início da inversão do dreno fisiológico aos órgãos reprodutivos; e (iii) durante a fase reprodutiva, entre os estádios dos florescimento ao do ponto de maturidade fisiológica, a quantidade de fitomassa seca de folhas decresce devido aos efeitos combinados de senescência e à alocação relativa de carboidratos ser preferencialmente voltado para os órgãos reprodutivos. Por outro lado, genótipos com maior área foliar fotossinteticamente ativa no final do ciclo tendem a serem mais produtivos devido ao maior peso específico dos grãos localizados

fisiologicamente os estilo-estigmas localizados na base da espiga.

A produtividade de grãos (Tabela 13) depende de fatores como: produtividade potencial (interação genótipo, temperatura e radiação solar), população de plantas, adubação nitrogenada, controle de plantas daninhas, de pragas e de doenças, disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, dentre outros fatores. Sendo assim, uma intervenção é recomendável apenas quando o seu custo for inferior à expectativa de perda de receita bruta. Sendo assim, fica evidenciada a importância da modelagem como ferramenta para nortear ações de manejo.

Tabela 10. Valores observados e estimados referentes à caracterização da variação temporal da fitomassa seca da espiga (MSe, g.pl⁻¹) em função da soma calórica (GD, °C.dia) dos três híbridos de milho utilizados (modelo estatístico tipo IV - Tabela 1). Piracicaba. 1997/1998.

GD	MSf		Resíduo		Limite de confiança (95%)	
	Observado	Estimado	Absoluto	Relativo%	Inferior	Superior
Híbrido C-901						
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-32,366	32,366
236,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-32,366	32,366
447,4	0,000	0,007	-0,007	0,000	-32,360	32,373
648,1	0,000	2,060	-2,060	0,000	-31,669	35,790
877,2	29,573	34,967	-5,394	-18,238	-8,767	78,701
1095,1	116,747	106,193	10,553	9,039	64,709	147,678
1328,1	161,258	173,366	-12,108	-7,508	133,155	213,576
1560,6	216,279	210,721	5,558	2,570	166,086	255,357
Híbrido C-333-B						
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-7,035	7,035
236,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-7,035	7,035
447,4	0,000	0,000	0,000	0,000	-7,035	7,035
648,1	0,000	0,137	-0,137	0,000	-6,903	7,177
877,2	11,823	11,745	0,078	0,660	3,170	20,321
1095,1	66,747	67,653	-0,906	-1,357	58,635	76,671
1328,1	149,145	146,728	2,416	1,620	137,651	155,806
1560,6	196,391	199,833	-3,441	-1,752	191,504	208,161
1770,2	226,135	224,381	1,754	0,776	214,932	233,829
Híbrido C-806						
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-11,408	11,408
236,0	0,000	0,000	0,000	0,000	-11,408	11,408
447,4	0,000	0,000	0,000	0,000	-11,408	11,408
648,1	0,000	0,915	-0,915	0,000	-10,631	12,462
877,2	36,947	34,828	2,119	5,735	19,184	50,471
1095,1	117,913	121,406	-3,493	-2,962	106,567	136,245
1328,1	200,962	196,705	4,257	2,119	182,631	210,778
1560,6	230,432	232,524	-2,092	-0,908	216,875	248,172

Tabela 11. Parâmetros referentes à caracterização da variação temporal da fitomassa seca da parte aérea (MSPA,g.p em função da soma calórica (GD, °C.dia) dos três híbridos de milho utilizados (modelo estatístico tipo V - Tab 1).Piracicaba. 1997/1998.

Parâmetro	Valor	s	Valor t	Limite de confiança (99%)	
				Inferior	Superior
Híbrido C-901					
a	-3,766	7,145	-0,527	-36,648	29,116
b	355,918	31,300	11,371	211,869	499,967
c	3,050	0,070	43,732	2,729	3,371
d	7046,935	866,868	8,129	3057,388	11036,482
Híbrido C-333-B					
a	-4,483	5,174	-0,867	-25,345	16,378
b	417,671	11,874	35,175	369,796	465,545
c	3,015	0,038	78,974	2,861	3,169
d	6963,280	355,487	19,588	5529,977	8396,583
Híbrido C-806					
a	-7,216	6,757	-1,068	-38,313	23,881
b	382,523	14,054	27,218	317,843	447,202
c	2,961	0,052	57,336	2,723	3,198
d	5826,988	383,723	15,185	4060,997	7592,978

Tabela 12. Valores observados e estimados referente à caracterização da variação temporal da fitomassa seca da parte aérea (MSPA, g.pl⁻¹) em função da soma calórica (GD, °C.dia) dos três híbridos de milho utilizados (modelo estatístico tipo V - Tabela 1). Piracicaba. 1997/1998.

GD	MSf		Resíduo		Limite de confiança (95%)	
	Observado	Estimado	Absoluto	Relativo%	Inferior	Superior
Híbrido C-901						
0,0	0,000	-0,785	0,785	0,000	-66,880	65,310
236,0	2,279	1,232	1,047	45,948	-54,912	57,375
447,4	23,130	28,793	-5,663	-24,481	-28,425	86,010
648,1	78,357	73,949	4,407	5,625	18,054	129,844
877,2	135,825	140,613	-4,789	-3,526	85,095	196,132
1095,1	222,336	209,312	13,024	5,858	151,364	267,260
1328,1	263,474	276,743	-13,269	-5,036	219,610	333,877
1560,6	331,099	326,642	4,457	1,346	259,985	393,299
Híbrido C-333-B						
0,0	0,000	2,145	-2,145	0,000	-42,795	47,086
236,0	2,428	-1,356	3,784	155,858	-39,505	36,792
447,4	27,083	26,838	0,245	0,905	-11,850	65,526
648,1	74,460	77,333	-2,873	-3,859	38,921	115,745
877,2	158,863	154,635	4,228	2,661	117,093	192,178
1095,1	225,407	236,132	-10,725	-4,758	197,695	274,569
1328,1	329,863	317,618	12,245	3,712	278,346	356,891
1560,6	373,844	379,269	-5,425	-1,451	340,877	417,660
1770,2	409,702	409,037	0,665	0,162	364,114	453,959
Híbrido C-806						
0,0	0,000	5,172	-5,172	0,000	-64,170	74,515
236,0	3,133	-5,152	8,284	264,445	-64,246	53,943
447,4	26,579	26,511	0,067	0,254	-33,760	86,782
648,1	87,273	86,531	0,742	0,850	27,600	145,462
877,2	168,940	176,218	-7,278	-4,308	117,600	234,836
1095,1	258,034	263,581	-5,547	-2,150	202,552	324,611
1328,1	353,571	337,520	16,051	4,540	277,621	397,418
1560,6	366,340	373,488	-7,148	-1,951	303,632	443,343

Tabela 13. População de plantas (Pp, plantas.ha⁻¹), prolificidade (Pr, espigas.planta⁻¹), número de fileiras de grãos por espiga (Fe, fileiras.espiga⁻¹), número médio de grãos por fileira (Gf, grãos.fileira⁻¹), número de grãos por espiga (Ge, grãos.espiga⁻¹), massa do grão (Mg, g.grão⁻¹) e produtividades (P, kg.ha⁻¹) referentes aos três híbridos de milho utilizados. Piracicaba. 1997/1998.

Híbrido	Pp	Pr	Fe	Gf	Ge	Mg	P
C-901	60.000	1,1	16	34	532	0,32	11.222
C-333-B	50.000	1,1	15	36	531	0,35	10.351
C-806	50.000	1,1	14	38	544	0,34	10.301
Média	53.333	1,1	15	36	536	0,34	10.625

Conclusão

Em ambiente tropical sob irrigação, os modelos agrometeorológicos podem ser utilizados para definir a ordem de grandeza e descrever a variação temporal da produtividade da fitomassa seca dos diferentes órgãos (colmo, folha, pendão, espiga e parte aérea) da cultura de milho.

Referências bibliográficas

- BERLATO, M.A.; SUTILI, V.R. Determinação das temperaturas bases dos subperíodos emergência – pendoamento e emergência – espigamento de 3 genótipos de milho. In: REUNIÃO TÉCNICA DE MILHO E SORGO, 21., Porto Alegre, 1976. **Resumos**. Porto Alegre: Editora da universidade, UFRGS, 1976. p.26.
- DOURADO NETO, D. Modelos fitotécnicos referentes à cultura de milho. Piracicaba: Departamento de Agricultura/USP, 1999. 229p.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Tecnologia da produção de milho. FEALQ/Departamento de Produção Vegetal: ESALQ/USP, 1999a.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Gerenciamento da cultura de milho. Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP. 1999b. (CD - Software).
- GOLDSWORTHY, P.R.; COLEGROVE, M. Growth an yield of higland maize in Mexico. **Journal of Agricultural Science**. v.83, p.223-330, 1974.
- HAWKINS, R.C.; COOPER, P.J.M. Growth, development and grain yield of maize. **Experimental Agriculture** v.17, p.203-207, 1981.
- MANFRON, P.A.; BACCHI, O.O.S.; DOURADO NETO, D.; PEREIRA, A.R.; MEDEIROS, S.L.P.; PILAU, F.G. Modelo da profundidade efetiva do sistema radicular na cultura de milho em função de graus-dia acumulados. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.2, p.327-332, 2003a.
- 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**, v.11, n.2, p.333-342,

Revista Brasileira de **AGROMETEOROLOGIA**

SOCIEDADE BRASILEIRA DE AGROMETEOROLOGIA

VOLUME 13 - NÚMERO 3 - ANO 2005

ISSN 0104 - 1347

