

## FATORES AMBIENTAIS NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA SOJA NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS, ESTADO DO PARANÁ

GRABARSKI, F.A.P.<sup>1</sup>; SOUZA J.L.M.<sup>2</sup>; PAULETTI, V.<sup>2</sup>; VIANA, J.L.<sup>1</sup>; COELHO, J.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pós-Graduando em Ciência do Solo, UFPR; <sup>2</sup>Professor, DSEA/SCA/UFPR, e-mail: jmoretti@ufpr.br

### RESUMO

Teve-se como objetivo no presente trabalho associar e relacionar aspectos de crescimento e desenvolvimento (principalmente produtividade de biomassa) observados para a cultura da soja na região dos Campos Gerais, com valores estimados a partir de modelos tradicionalmente recomendados na literatura, tendo como variáveis graus dia e dias após o plantio da cultura. Os dados de crescimento e desenvolvimento da soja utilizados de experimentos prévios realizado nos municípios de Castro e Ponta Grossa, no Paraná, nas estações experimentais da Fundação ABC, nas safras: 2006/2007 e 2007/2008, sendo instaladas quatro áreas experimentais. As amostras coletadas consistiram de quatro plantas inteiras para a determinação da biomassa aérea, em cada estágio fenológico, nos estádios V4, V8, pleno florescimento e maturação fisiológica. As plantas foram coletadas a aproximadamente 1 cm da superfície do solo. Foram testados dois modelos comumente utilizados para representar o crescimento e desenvolvimento dos cultivos agrícolas anuais (principalmente produção de biomassa), baseando-se nos dias após plantio (*DAP*) ou graus dias acumulados (*GDA*). O ajustamento entre os valores observados (reais) e estimados (com os modelos) foram verificados em análises de regressão linear simples. Para comparação, foram calculados os erros absolutos (*Ea*) e relativos (*Er*), coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e correlação de Pearson (*r*), índices de concordância “*d*” e desempenho “*c*”. Nas análises realizadas obteve-se que os dois modelos são adequados para estimar a massa seca da cultura da soja na região dos Campos Gerais. Os modelos tiveram desempenho “ótimo” para as quatro safras realizadas nos dois anos, sendo que os valores dos parâmetros ficaram muito próximos. Estudos com a mesma cultura e localidades próximas, apresentando características climáticas semelhantes, poderão evidenciar valores de referência para os parâmetros de cada modelo.

**Palavras-chave:** Modelos de simulação; estimativa de rendimento; *Glycine max*; soma térmica; acúmulo massa seca.

## INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios na atualidade consiste em satisfazer as necessidades alimentares com os recursos limitados do planeta, devido à crescente população humana. Entre as questões globais, surge o termo “intensificação sustentável”, sendo o aumento do rendimento das culturas, preservando a capacidade das gerações futuras de usar a terra e minimizando os impactos ambientais. O entendimento dos riscos climáticos associados à produção agrícola pode atenuar em muito as quebras de produtividade, causados por ondas de calor, secas, inundações, entre outros aspectos (Davis et al., 2016).

Historicamente o Brasil tem aptidão predominantemente agrícola. Sua vasta área territorial, clima adequado e disponibilidade de água fazem do país um dos mais importantes produtores agrícolas por longos períodos de tempos no mundo. A região dos Campos Gerais, Estado do Paraná, vem se destacando na agricultura brasileira (Weirich Neto, 2004). No entanto, aspectos como as alterações nas mudanças climáticas nos últimos anos têm gerado discussões e grande repercussão entre agricultores e comunidade científica internacional, e podem estar relacionadas à variação do clima global ou mesmo regionais ao longo do tempo (Renato et al., 2013).

O Brasil é um dos maiores produtores de soja do mundo, fato da geração de tecnologias nos últimos anos, contribuindo para aumento de produção, produtividade e área plantada. Analisando os resultados das exportações dos últimos anos, a soja compõe um produto expressivo, permitindo que o Brasil se introduza no mercado internacional a preços competitivos (Silva et al., 2011).

Assim, para tentar estabelecer o melhor planejamento das culturas agrícolas e maximizar sua produtividade, podem-se utilizar modelos matemáticos de estimativa de rendimento das culturas agrícolas, que na sua maioria, expressam a influência de elementos meteorológicos, identificando o risco climático ligado a cultura, melhor época de semeadura e lacunas de produção (Klering et al., 2008; Confalonieri, 2012). A avaliação da influência do clima e a relação dos elementos agrometeorológicos na produção de culturas tem sido mais bem explicada com modelos de simulação de culturas voltados à estimativa de rendimento (Monteiro et al., 2014; Araújo et al., 2014). Berlatto et al. (1992) considera que a obtenção de modelos de previsão de produtividade, com boa precisão, somente é possível com a identificação dos principais elementos críticos (radiação solar, temperatura e precipitação), bem com do período de sua ocorrência dentro do ciclo das culturas.

A simulação de culturas fundamentada em modelos agrometeorológicos é muito utilizada para compreender o acúmulo de biomassa pelas plantas. Os modelos baseiam-se nos diferentes estádios fenológicos das plantas, pois o impacto dos fatores climáticos varia com a fase de cultivo (Monteiro et al., 2014). Existem vários modelos na literatura, sendo que a maioria deles os coeficientes ou fatores são obtidos e calibrados a partir de análises de regressão (Araujo et al., 2014). Os modelos podem considerar relações simples, polinomiais ou multivariadas.

A temperatura ao longo do ciclo da cultura influencia no acúmulo de biomassa. Tendo em vista os cenários das mudanças climáticas, o conceito de graus dia é algo simples e pode ser apropriado para estimar a produtividade e crescimento das culturas, visto que o

desenvolvimento das espécies vegetais está relacionado com cada fase fenológica, e controlado pela soma térmica diária necessária para cada estágio. De modo geral, os modelos que fazem a estimativa da produtividade das culturas calculam a fotossíntese líquida e usam os graus dia acumulados para fracionar os carboidratos acumulados em ambos os órgãos da planta. Logo, à medida que os graus dia são acumulados, a planta passa por diferentes estágios fenológicos (Renato et al., 2013).

Nesse contexto, teve-se como objetivo no presente trabalho associar e relacionar aspectos de crescimento e desenvolvimento (principalmente produtividade de biomassa) observados para a cultura da soja na região dos Campos Gerais, com valores estimados a partir de modelos tradicionalmente recomendados na literatura, tendo como variáveis graus dia e dias após o plantio.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na Região dos Campos Gerais, Estado do Paraná, em duas cidades: *i*) Ponta Grossa, com um Latossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2006) de textura argilo arenosa (450 g kg<sup>-1</sup> de argila, 450 g kg<sup>-1</sup> de areia e 100 g kg<sup>-1</sup> de silte), com relevo suave ondulado e clima subtropical úmido (Cfb), segundo Köppen. As coordenadas geográficas próximas dos locais dos experimentos são 25°00'53" S e 50°09'07" W; *ii*) Castro, com um Latossolo Bruno Distrófico típico ácrico A proeminente (EMBRAPA/FABC, 2001), textura muito argilosa, com declividade de 9,6%. O clima local é subtropical (Cfb), segundo Köppen. As coordenadas geográficas próximas dos locais dos experimentos são 24°51'50" S e 49°56'25" W. Ponta Grossa e Castro apresentam, respectivamente, temperatura média de 17,5 °C e 16,9 °C e precipitação média de 1495 mm e 1553 mm por ano.

Os dados de crescimento e desenvolvimento da soja (principalmente produtividade e produção de biomassa fresca e seca) resultaram de experimentos prévios realizado nos municípios de Castro e Ponta Grossa, no Paraná, nas estações experimentais da Fundação ABC, nas safras: 2006/2007 e 2007/2008. Foram instaladas quatro áreas experimentais (Tabela 1).

Tabela 1. Número de experimentos conduzidos para a cultura da soja, com identificação do local de instalação e safras.

Cultura	Local				Total de safras
	Castro	Ponta Grossa	Castro	Ponta Grossa	
	Safras dos cultivos de verão				
	2006/2007		2007/2008		
Soja	1	1	1	1	4

As cultivares utilizadas e as datas de semeadura, em cada safra encontram-se apresentadas na Tabela 2. Nas áreas experimentais, foram coletadas quatro amostras de plantas inteiras para a determinação da biomassa aérea, em cada estágio fenológico determinado para cada cultura. Foram coletadas amostras nos estágios V4, V8, pleno

florescimento e maturação fisiológica. As plantas foram coletadas a aproximadamente 1 cm da superfície do solo.

Tabela 2. Cultivares e data da semeadura da soja, de acordo com o local e safra de cultivo.

Cultura	Cultivar	Local	Safra	Semeadura
Soja	CD 206	Castro	2006/2007	15/11/2006
	CD 206	Ponta Grossa	2006/2007	27/11/2006
	CD 206	Castro	2007/2008	07/11/2007
	CD 206	Ponta Grossa	2007/2008	17/10/2007

No último estágio, as plantas foram coletadas e divididas em grãos e o restante em biomassa aérea. Após o corte, as plantas foram pesadas a campo para quantificar a biomassa fresca. Todo o material coletado e pesado foi enviado ao laboratório para secagem em estufa a 70 °C até peso constante, para quantificação da biomassa seca, para os dois primeiros estádios fenológicos. Para os dois estádios finais, devido ao volume de material coletado, uma amostra de plantas inteiras pesadas frescas foi separada e enviada ao laboratório para devida secagem. Com os dados da biomassa fresca total da área coletada, e com a determinação da umidade da amostra, calculou-se a biomassa por hectare.

O presente trabalho testou dois modelos comumente utilizados para representar o crescimento e desenvolvimento dos cultivos agrícolas anuais (principalmente produção de biomassa). Os modelos consideram a entrada de variáveis como dias após o plantio e graus dia acumulados:

– Modelo logístico não linear, proposto por Streibig (1988), baseando-se no *DAP* ou *GDA*:

$$y(x) = \frac{a}{1 + \left(\frac{x_i}{b}\right)^c} \quad (1)$$

Sendo:  $y(x)$  – biomassa seca total em função da escala temporal ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $x_i$  – escala temporal, podendo ser o  $i$ -ésimo dia após o plantio (dias) ou graus dias acumulados até o  $i$ -ésimo dia ( $^{\circ}\text{C}$ );  $a$ ,  $b$  e  $c$  – parâmetros estimados da equação (adimensional).

– Modelo do tipo sigmoidal, proposto por Garcia e Garcia (2002), baseando-se nos dias após o plantio (*DAP*):

$$y(DAP) = y_{m\acute{a}x} \left\{ \frac{1}{2} \left[ \text{sen} \left( \frac{3\pi}{2} + \pi \frac{DAP_i}{DAP_{m\acute{a}x}} \right) + 1 \right] \right\}^{\alpha} \quad (2)$$

Sendo:  $y(DAP)$  – biomassa seca em função dos dias após o plantio ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $y_{m\acute{a}x}$  – biomassa seca máxima atingida na maturação ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $DAP_i$  –  $i$ -ésimo dia após o plantio (dia);  $DAP_{m\acute{a}x}$  – *DAP* da colheita, considerando  $DAP = 0$  o dia da semeadura (dia);  $\alpha$  – parâmetro do fator de forma, obtido ajustando a equação aos dados experimentais (adimensional).

Os graus dias acumulados foram calculados com o somatório:

$$GDA_i = \sum_{i=1}^n GD_i \quad (3)$$

Sendo:  $GDA_i$  – graus dia acumulados no  $i$ -ésimo dia ( $^{\circ}\text{C}$ );  $GD_i$  – graus-dia no  $i$ -ésimo dia ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Os graus-dia foram calculados com o método proposto por Arnold (1959), que considera apenas a temperatura basal inferior ( $T_{basal}$ ) no cálculo dos graus-dia:

$$GD_i = \frac{T_{máx_i}}{T_{mín_i}} - T_{basal} \quad (4)$$

Sendo:  $GD_i$  – graus-dia no  $i$ -ésimo dia ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{máx}$  – temperatura máxima registrada no  $i$ -ésimo dia ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{mín}$  – temperatura mínima registrada no  $i$ -ésimo dia ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{basal}$  – temperatura basal inferior da cultura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A temperatura basal é a temperatura mínima necessária para ativar processos metabólicos das plantas. Somente acima dessa temperatura há desenvolvimento (Ometto, 1981). Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009),  $13^{\circ}\text{C}$  é a temperatura mínima necessária ao desenvolvimento das cultivares de soja.

O processo de ajustamento entre os valores observados (reais) e estimados (com os modelos) foram verificados em análises de regressão linear simples. Para comparação, foram calculados os erros absolutos ( $Ea$ ) e relativos ( $Er$ ), coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e correlação de Pearson ( $r$ ), índice de concordância “ $d$ ” (Willmott et al., 1985), que mede a distância em que os pontos  $Valor_{real}$  versus  $Valor_{estimado}$  estão afastados da reta 1:1, e índice “ $c$ ” (Camargo e Sentelhas, 1997), que mede o desempenho do modelo, em que:

$$Ea = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_{o_i} - Y_{e_i}|}{n} \quad (5)$$

$$Er = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_{o_i} - Y_{e_i}|}{\sum_{i=1}^n Y_{e_i}} \cdot 100 \quad (6)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(Y_{o_i} - \bar{Y}_o) \cdot (Y_{e_i} - \bar{Y}_e)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{o_i} - \bar{Y}_o)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_{e_i} - \bar{Y}_e)^2}} \quad (7)$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{e_i} - Y_{o_i})^2}{\sum_{i=1}^n (|Y_{e_i} - \bar{Y}_o| + |Y_{o_i} - \bar{Y}_o|)^2} \right] \quad (8)$$

$$c = d \cdot r \quad (9)$$

Sendo:  $Ea$  – erro absoluto médio ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $Er$  – erro relativo (%);  $r$  – coeficiente de correlação de Pearson (adimensional);  $d$  – índice de concordância de Willmott et al. (1985) (adimensional);  $c$  – índice de desempenho proposto por Camargo & Sentelhas (1997) (adimensional);  $Y_{oi}$  – produtividade observada no  $i$ -ésimo dia ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $Y_{ei}$  – produtividade estimada no  $i$ -ésimo dia ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $\bar{Y}_o$  – média da produtividade observada ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $\bar{Y}_e$  – média da produtividade estimada ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $n$  – número de dias da cultura (adimensional).

Os valores do índice “ $c$ ” indicam o seguinte desempenho do modelo testado: “ótimo” (“ $c$ ” > 0,85); “muito bom” ( $0,76 \leq “c” \leq 0,85$ ); “bom” ( $0,66 \leq “c” \leq 0,75$ ); “mediano” ( $0,61 \leq “c” \leq 0,65$ ); “sofrível” ( $0,51 \leq “c” \leq 0,60$ ); “mau” ( $0,41 \leq “c” \leq 0,50$ ); e, “péssimo” (“ $c$ ”  $\leq 0,40$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros estimados dos modelos ficaram próximos, tanto entre os anos, como entre as localidades (Tabela 3). Os valores dos parâmetros  $b$  e  $c$  ficaram próximos aos valores observados por Carvalho et al. (2008), analisando o crescimento e desenvolvimento de plantas daninhas, principalmente massa seca total, tendo como variável os dias após planto (DAP). Analisando cinco espécies de plantas daninhas, os valores do parâmetro  $b$  ficaram entre 41,8 e 51,2 e os valores do parâmetro  $c$  entre  $-5,3$  e  $-8,5$ . Porém, os valores do parâmetro  $a$  não ficaram próximos aos obtidos no mesmo estudo. Os valores ficaram entre 28,1 e 67,0. A diferença deve-se ao fato de que o parâmetro  $a$  do modelo refere-se a amplitude existente entre a máxima e mínima da variável. No presente estudo, a média da massa seca da cultura da soja foi superior à média da massa seca de plantas daninhas analisadas por Carvalho et al. (2008).

Resultados contrários aos obtidos no presente trabalho também foram observados por Lima et al (2015), tendo como variável os graus dias acumulados ( $GDA$ ), para o parâmetro  $a$ , em estudos com Tiririca. Para uma temperatura basal de  $12^\circ\text{C}$ , o valor do parâmetro  $a$  foi de 37,68. No entanto, os parâmetros  $b$  e  $c$  foram semelhantes, tendo valores de 509,35 e  $-7,05$ , respectivamente.

Tabela 3. Valores dos coeficientes ajustados para os modelos propostos por Streibig (1988) e Garcia e Garcia (2002), para a cultura da soja nas diferentes safras, na região dos Campos Gerais.

Local / Safra	----- Modelo proposto -----						
	- Streibig (1988) para $DAP$ -			- Streibig (1988) para $GDA$ -			Garcia e Garcia (2002)
	$a$	$b$	$c$	$a$	$b$	$c$	$\alpha$
	----- (adimensional) -----						
Castro 06/07	8271,82	69,65	-4,96	8238,48	632,69	-5,08	1,31
Ponta Grossa 06/07	8789,74	54,65	-5,23	8785,46	549,19	-5,19	0,93
Castro 07/08	7477,25	69,07	-5,55	7483,24	510,55	-5,45	1,04
Ponta Grossa 07/08	13022,81	86,44	-6,32	13138,89	750,74	-5,99	1,49

Poucos trabalhos foram realizados testando o modelo proposto por Garcia e Garcia (2002). Analisando a Tabela 4, verifica-se que o modelo apresentou maiores valores dos erros absoluto ( $Ea$ ) e relativo ( $Er$ ). Porém, considerando os valores do coeficiente de correlação e índice “ $c$ ”, os valores dos parâmetros calibrados para todas as safras indicaram desempenho “ótimo” para a estimativa do acúmulo de massa seca da soja baseando-se nos dias após plantio ( $DAP$ ).

Tabela 4. Erros absoluto ( $Ea$ ) e relativo ( $Er$ ), coeficiente de correlação ( $r$ ), índices “ $d$ ” de Willmott (1982), “ $c$ ” de Camargo e Sentelhas (1997) e desempenho, entre a massa seca observada e estimada nos quatro estádios fenológicos, para a cultura da Soja, nas quatro safras analisadas.

Local / Safra	$Ea$ (kg ha <sup>-1</sup> )	$Er$ (%)	$r$ -----( <i>adimensional</i> )-----	“ $d$ ”	“ $c$ ”	Desempenho
----- Streibig (1988) para $DAP$ -----						
Castro 06/07	17,16	0,50	0,99997	0,99999	0,99996	“Ótimo”
Ponta Grossa 06/07	270,96	6,94	0,99479	0,99677	0,99158	“Ótimo”
Castro 07/08	56,14	1,59	0,99973	0,99981	0,99954	“Ótimo”
Ponta Grossa 07/08	84,19	1,70	0,99974	0,99983	0,99956	“Ótimo”
----- Streibig (1988) para $GDA$ -----						
Castro 06/07	25,03	0,73	0,99995	0,99997	0,99992	“Ótimo”
Ponta Grossa 06/07	267,68	6,85	0,99491	0,99688	0,99180	“Ótimo”
Castro 07/08	51,85	1,47	0,99977	0,99984	0,99961	“Ótimo”
Ponta Grossa 07/08	88,07	1,78	0,99971	0,99980	0,99951	“Ótimo”
----- Garcia e Garcia (2002) para $DAP$ -----						
Castro 06/07	340,21	9,82	0,99185	0,99492	0,98681	“Ótimo”
Ponta Grossa 06/07	540,41	13,41	0,97664	0,98662	0,96357	“Ótimo”
Castro 07/08	633,91	17,73	0,97210	0,97936	0,95204	“Ótimo”
Ponta Grossa 07/08	628,52	12,26	0,99002	0,99363	0,98372	“Ótimo”

É importante observar que os resultados alcançados, conforme índices estatísticos, foram obtidos para a calibração dos modelos e consideraram dois anos de estudos, em duas localidades próximas, caracterizando semelhanças entre as condições ambientais. Para obter resultados mais consistentes, a partir de condições ambientais heterogêneas, pode-se futuramente agrupar as safras em questão, visto que em cada estágio fenológico a coleta foi realizada em diferentes dias após o plantio. Desta forma, se teria melhores condições de sugerir valores fixo para os parâmetros do modelo. A partir de resultados de outros trabalhos na mesma região, será possível também validar os modelos de acordo com os parâmetros encontrados, obtendo melhor avaliação dos parâmetros avaliados, visto que os modelos geralmente são específicos para cada localidade.

As Figuras 1, 2 e 3 encontram-se apresentadas os modelos, que apresentaram desempenho “ótimo” para a estimativa da massa seca, indicando que os valores estimados com o modelo se ajustaram com os dados observados a campo em todo o ciclo da cultura.

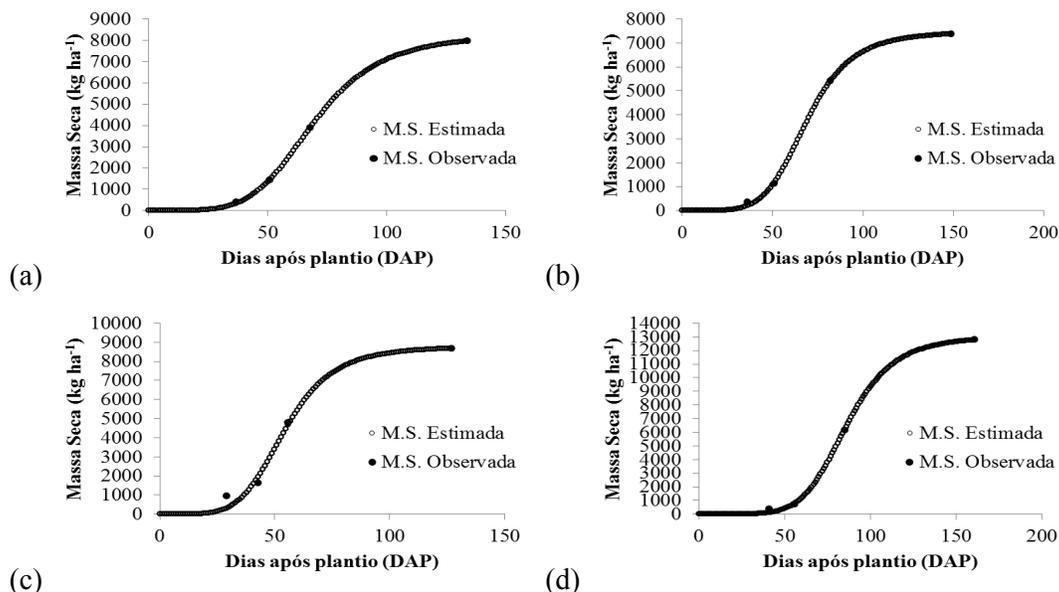


Figura 1 – Análise da massa seca estimada *versus* observada com o modelo de Streibig (1988), tendo como variável o dia após plantio (*DAP*), para a cultura da soja, sendo: a) safra 2006/2007 – Castro; b) safra 2007/2008 – Castro; c) safra 2006/2007 – Ponta Grossa; d) safra 2007/2008 – Ponta Grossa.

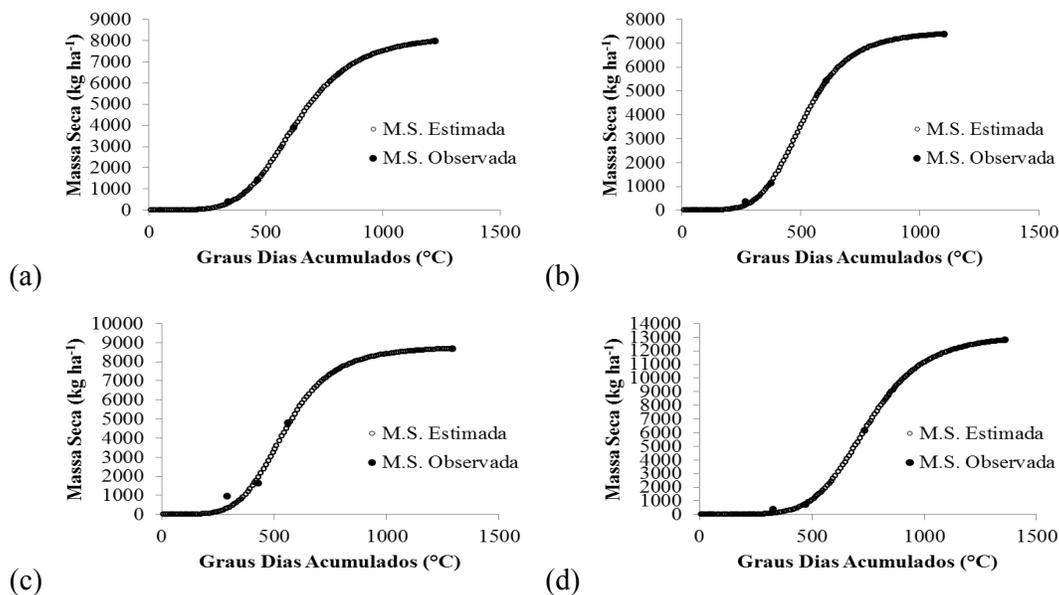


Figura 2 – Análise da massa seca estimada e observada com o modelo Streibig (1988), tendo como variável o grau dia acumulado (*GDA*), para a cultura da soja, sendo: a) safra 2006/2007 – Castro; b) safra 2007/2008 – Castro; c) safra 2006/2007 – Ponta Grossa; d) safra 2007/2008 – Ponta Grossa.

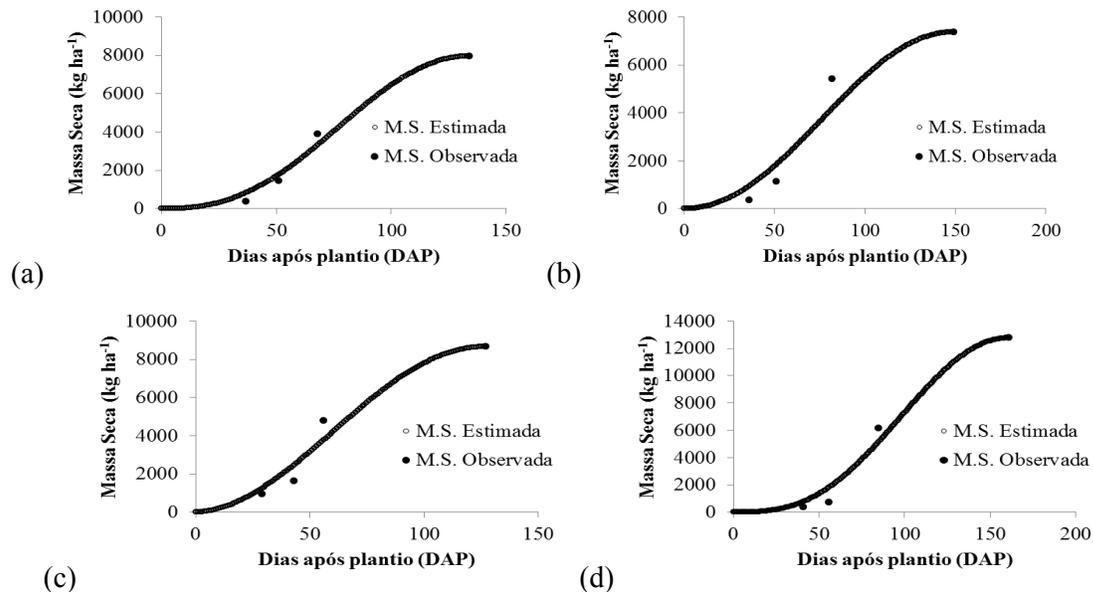


Figura 3 – Análise da massa seca estimada e observada com o modelo de Garcia e Garcia (2002), tendo como variável o dia após plantio (*DAP*), para a cultura da soja, sendo: a) safra 2006/2007 – Castro; b) safra 2007/2008 – Castro; c) safra 2006/2007 – Ponta Grossa; d) safra 2007/2008 – Ponta Grossa.

Os valores dos primeiros estádios fenológicos observados a campo se afastaram um pouco da curva com o modelo de Garcia e Garcia (2002), tendo como variável o dia após plantio (*DAP*), para a cultura da soja (Figura 3). Porém, os valores das massas secas observadas à campo na maturação fisiológica ficaram muito próximos das massas secas estimadas com o modelo, e os resultados obtidos também tiveram desempenho “ótimo”.

## CONCLUSÕES

Os dois modelos analisados são adequados para estimar a massa seca da cultura da soja na região dos Campos Gerais.

Os modelos tiveram desempenho “ótimo” para as quatro safras realizadas nos dois anos, sendo que os valores dos parâmetros ficaram muito próximos.

Estudos com a mesma cultura e localidades próximas, apresentando características climáticas semelhantes, poderão evidenciar valores de referência para os parâmetros de cada modelo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, EVERTON C. DE; URIBE-OPAZO, MIGUEL A.; JOHANN, JERRY ADRIANI. Modelo de regressão espacial para estimativa da produtividade da soja associada a variáveis agrometeorológicas na região oeste do estado do Paraná. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 286-299, Apr. 2014.
- ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Proceedings of the American Society for Horticultural Science, Alexandria, v. 74, n.1 p. 430-445, 1959.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; GONÇALVES, H. M. Relação entre rendimento de grãos de soja e variáveis meteorológicas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.27, n.5, p. 695-702, 1992.
- CAMARGO, A. P. & SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CARVALHO, S. J. P. de; LOPEZ-OVEJERO, R. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Crescimento e desenvolvimento de cinco espécies de plantas daninhas do gênero *Amaranthus*. Bragantia, Campinas, v. 67, n. 2, p. 317-326, 2008.
- CONFALONIERI, R. Combinando um gerador de clima e um método de análise de sensibilidade padrão para quantificar a relevância das variáveis climáticas e saídas dos modelos agrometeorológicos. Climatologia teórica e aplicada, v. 108, n. 1-2, p. 19-30, 2012.
- DAVIS, K. F.; GEPHART, J. A.; EMERY, K. A.; LEACH, A. M.; GALLOWAY, J. N.; D'ODORICO, P. Meeting future food demand with current agricultural resources. Global Environmental Change, Vol. 39, July 2016, Pages 125-132.
- EMBRAPA - Fundação ABC. Mapa do levantamento semi-detalhado de solos: Município de Castro. Elaborado por: FASOLO, P. J.; CARVALHO, A. P.; BOGNOLA, I. A.; POTER, R. O., 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA (BRASIL). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- GARCIA Y; GARCIA, A. Modelos para área foliar, fitomassa e extração de nutrientes na cultura de arroz. Piracicaba. Tese – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2002.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola / organizador José Eduardo B. A Monteiro – Brasília, DF: INMET, 2009.
- KLERING, E. V.; FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; CARGNELUTTI FILHO, A. Modelagem agrometeorológica do rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 43, n. 5, p. 549-558, May 2008.

LIMA, R. S. O., MACHADO, E. C. R., SILVA, A. P. P., MARQUES, B. S., GONÇALVES, M. F., CARVALHO, S. J. P. Growth and Development of Purple Nutsedge Based on Days or Thermal Units. *Planta daninha, Viçosa*, v. 33, n. 2, p. 165-173, June 2015.

MONTEIRO, L. A.; SENTELHAS, P. C. Calibration and testing of an agrometeorological model for the estimation of soybean yields in different Brazilian regions. *Acta Sci., Agron., Maringá*, v. 36, n. 3, p. 265-272, Sept. 2014.

OMETTO, J. C. *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: Agronômica Ceres 1981. 440p.

RENATO, N. S.; SILVA, J. B. L.; SEDIYAMA, G. C.; PEREIRA, E. G. Influência dos métodos para cálculo de graus-dia em condições de aumento de temperatura para as culturas de milho e feijão. *Rev. bras. meteorol., São Paulo*, v. 28, n. 4, p. 382-388, Dec. 2013.

SILVA, A. C. da; LIMA, E. P. C. de; BATISTA, H. R. A importância da soja para o agronegócio brasileiro: uma análise sob o enfoque da produção, emprego e exportação. *Encontro de Economia Catarinense*, 2011.

STREIBIG, J. C. Herbicide bioassay. *Weed Res.*, v. 28, n. 6, p. 479-484, 1988.

WEIRICH NETO, P. H. Importância de Atributos Agronômicos para Qualificação da Semeadura do Milho (*Zea mays* L.) no Sistema Plantio Direto na Região dos Campos Gerais-PR [tese]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 2004.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J. & ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.