



AJUSTE DE MODELOS PARA ESTIMAR A BIOMASSA SECA DO TRIGO NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS

Felipe Augusto Piacentini Grabarski¹, Jorge Luiz Moretti de Souza², Volnei Pauletti²

RESUMO: Teve-se por objetivo no presente trabalho calibrar e validar modelos para estimar a produtividade de biomassa seca do trigo na região dos Campos Gerais, tendo como variáveis a radiação solar incidente (R_s) e graus dias acumulados (GDA). Os experimentos foram realizados em Castro e Ponta Grossa, em quatro estádios fenológicos, para obtenção da biomassa seca. O ajuste dos parâmetros dos modelos foi realizado com o Método dos Mínimos Quadrados e Ferramenta *Solver* de uma planilha eletrônica. A associação entre o acúmulo da biomassa seca e as variáveis testadas (GDA e R_s) foi satisfatória na calibração ($R^2 > 0,99$). As variáveis GDA e R_s apresentaram desempenho entre “mediano” e “bom”, mas indicou altos erros absolutos e relativos na validação.

PALAVRAS-CHAVE: cultivo agrícola, estimativa, *Triticum aestivum*.

ADJUSTMENT OF MODELS TO ESTIMATE THE DRY BIOMASS OF WHEAT IN THE CAMPOS GERAIS REGION

ABSTRACT: The objective of this study was to calibrate and validate models to estimate the dry biomass yield of wheat in the Campos Gerais region, with incident solar radiation (R_s) and growing degree days (GDA) as the variables. The experiments were carried out in Castro and Ponta Grossa, in four phenological stages to obtain dry biomass. The parameter adjustment performed using the Least Squares Method and *Solver* tool of a spreadsheet. The association of dry biomass accumulation and tested variables (GDA and R_s) was satisfactory in calibration ($R^2 > 0.99$). In the validation, the variables presented performances between "medium" and "good", but indicated high absolute and relative errors for all crops in the validation.

KEYWORDS: agricultural crops, estimate, *Triticum aestivum*

¹ Doutorando; Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola; Rua dos Funcionários, 1540 - Bairro Juvevê, CEP 80.035-050, Curitiba - Paraná - Brasil; felipegrabarski@gmail.com.

² Professor, Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola; Rua dos Funcionários, 1540 - Bairro Juvevê, CEP 80.035-050, Curitiba - Paraná - Brasil.

INTRODUÇÃO

O uso de funções é uma excelente alternativa para estimar a produção vegetal, possibilitando a avaliação da dinâmica do crescimento vegetal e final das plantas (Peixoto e Peixoto, 2009). O estudo de sistemas agrícolas com modelos e dados em circunstâncias específicas é fundamental, pois são ferramentas computacionais que permitem identificar as melhores opções e os riscos associados (Jones et al., 2017).

Existem vários modelos na literatura que procuram relacionar duas ou mais variáveis (Araújo et al., 2014), sendo comum utilizar os graus dia acumulados e radiação solar incidente. Nesse contexto, alguns coeficientes são definidos como padrão na literatura, e também podem ser estimados regionalmente, apresentando valores mais confiáveis da biomassa seca total das culturas.

Teve-se por objetivo no presente trabalho calibrar e validar modelos recomendados para estimar a produtividade de biomassa seca do trigo na região dos Campos Gerais, tendo como variáveis a radiação solar incidente (R_s) e graus dias acumulados (GDA).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado na Região dos Campos Gerais, Estado do Paraná, nas cidades de Castro e Ponta Grossa. Os dados de biomassa seca do trigo, cultivar Avante, são de experimentos realizados nas estações experimentais da Fundação ABC, sendo instaladas cinco áreas experimentais, nos anos 2007 e 2008. Foram coletadas amostras nos estádios fenológicos: perfilhamento (PE), emborrachamento (EM), pleno florescimento (PF) e maturação fisiológica (MF). As plantas foram pesadas a campo e enviadas ao laboratório para secagem em estufa a 70 °C. Os modelos Gompertz e Philos (1825) e Ratkowsky (1983) foram testados para estimar a matéria seca, como segue, respectivamente:

$$y(x_i) = a \cdot \exp[-b \cdot \exp(-c \cdot x_i)] \quad (1)$$

$$y(x_i) = \frac{a}{1 + b \cdot e^{(-c \cdot x_i)}} \quad (2)$$

Em que:

$y(x_i)$ – biomassa seca total em função da variável x (kg ha^{-1}); x_i – valor da variável independente, sendo avaliado no presente estudo os graus dias acumulados até o i -ésimo dia (GD_i ; °C) e radiação solar incidente acumulada até o i -ésimo dia (R_{s_i} ; $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); a , b e c – parâmetros da equação (a : kg ha^{-1} ; b : adimensional; c : mesma unidade da variável independente).

A calibração foi realizada com o Método dos Mínimos Quadrados e Ferramenta



Solver de uma planilha eletrônica. Os dados de R_s e temperatura foram obtidos em estações climatológicas dispostas próximas aos locais do experimento. A validação foi verificada por meio dos erros absolutos (Ea) e relativos (Er), coeficiente de correlação (R), e índices “ d ” (Willmott) e “ c ” (Camargo e Sentelhas) (Souza, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medidas de tendência e dispersão das variáveis utilizadas nos ajustes dos modelos testados encontram-se na Tabela 1. As safras utilizadas e parâmetros calibrados para os dois modelos encontram-se na Tabela 2.

Tabela 1. Medidas de tendência e dispersão da biomassa seca real, dias após o plantio, graus dia após o plantio e radiação solar incidente acumulada no final de cada estágio, obtidos em cinco safras analisadas na região dos Campos Gerais, para a cultura do Trigo.

Variável	Safras	Medida	Estádios fenológicos -----			
			PE ⁽¹⁾	EM ⁽²⁾	PF ⁽³⁾	MF ⁽⁴⁾
Biomassa seca real (kg ha ⁻¹)	5	Média	252,2	2427,8	4754	7431,8
		Desv. Pad.	74,9	989,1	1693,1	1953,9
Dias após o plantio (dia)	5	Média	35	72	93	138
		Desv. Pad.	9,7	5,5	4,8	4,6
Graus dia após o plantio (°C)	5	Média	358,8	717,6	946,5	1513,7
		Desv. Pad.	101,5	42,6	32,1	138,6
Radiação solar incidente acumulada (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	5	Média	435,4	896,0	1176,8	1899,4
		Desv. Pad.	157,8	79,2	107,1	228,2

⁽¹⁾ Estádio Perfilhamento; ⁽²⁾ Estádio Emborrachamento; ⁽³⁾ Estádio Pleno Florescimento; ⁽⁴⁾ Estádio Maturação Fisiológica.

Tabela 2. Calibração dos parâmetros dos modelos testados para estimativa da produtividade de biomassa seca de cinco safras da cultura do trigo, na região dos Campos Gerais, tendo como variáveis de entrada: graus dias acumulado (GDA); e, radiação solar incidente acumulada (R_s).

Saфра	-- Modelo não linear (Gompertz e Philos 1825) --				-- Modelo não linear (Ratkowsky, 1983) --			
	a (kg ha ⁻¹)	b (ad.)	c ⁽⁴⁾ (ad.)	R^2 (ad.)	a (kg ha ⁻¹)	b (ad.)	c ⁽⁴⁾ (ad.)	R^2 (ad.)
----- Graus dias acumulado (GDA) -----								
C-2007 ⁽¹⁾	7401,13	15,19	0,00	1,00	7207,30	148,56	0,01	0,99
P-2007 ⁽²⁾	4775,25	63,21	0,01	1,00	4749,88	738,23	0,01	1,00
C-2008a ⁽¹⁾	10760,57	26,87	0,00	1,00	10218,11	272,76	0,01	1,00
C-2008b ⁽¹⁾	8923,73	78,83	0,01	1,00	8847,86	538,68	0,01	1,00
P-2008 ⁽²⁾	29135,04	6,24	0,00	0,99	11455,97	73,56	0,00	0,99
Média ⁽³⁾	15765,58	16,10	0,00	—	9627,13	164,96	0,01	—
----- Radiação solar incidente acumulada (R_s) -----								
C-2007 ⁽¹⁾	7592,80	12,89	0,00	1,00	7266,75	124,58	0,00	1,00
P-2007 ⁽²⁾	4795,04	57,11	0,00	1,00	4754,73	669,22	0,01	1,00
C-2008a ⁽¹⁾	10518,99	22,04	0,00	1,00	10096,53	187,63	0,01	1,00
C-2008b ⁽¹⁾	8929,75	55,68	0,00	1,00	8840,82	378,25	0,01	1,00
P-2008 ⁽²⁾	11266,52	6,74	0,00	1,00	7744,63	81,63	0,00	0,99
Média ⁽³⁾	9792,77	13,89	0,00	—	8369,30	131,28	0,00	—

⁽¹⁾ Safras obtidas em Castro; ⁽²⁾ Safras obtidas em Ponta Grossa; ⁽³⁾ Médias obtidas nas safras de calibração: “Castro 2007”, “Castro 2008a” e “Ponta Grossa 2008”; ⁽⁴⁾ Mesma unidade da variável independente.

A necessidade térmica para a maturação do trigo nos experimentos foi atingida (GDA ; Tabela 1), visto que no sul do Brasil são necessários 1117 °C graus dia para a cultura atingir a maturação fisiológica (Rodrigues et al., 2001). Nas cinco safras analisadas,

obteve-se 1360,20 °C como o menor valor de *GDA*, não sendo um fator limitante à cultura.

Os valores do parâmetro “*a*” calibrado foram similares à produtividade de biomassa seca no estágio final de cada safra da cultura (Tabela 2). Os modelos Gompertz e Philos (1825) e Ratkowsky,(1983) tiveram alta variação do parâmetro “*b*”, entre “6,24 e 78,83” e “73,56 e 738,23”, respectivamente. Os valores do parâmetro “*c*” foram bem pequenos e ficaram bem próximos entre as safras e variáveis.

As associações entre biomassa seca observada e estimada com os modelos testados foram estreitas (Tabela 3). Contudo, mesmo com bons ajustes na calibração, a validação indicou altos erros absolutos (1131,0 a 2149,9 kg ha⁻¹) e relativos (28,9 a 40,4%).

Tabela 3. Erros absoluto (*Ea*) e relativo (*Er*), coeficiente de correlação (*r*), índices “*d*” e “*c*”, entre biomassa seca observada e estimada com os modelos testados, nos quatro estádios fenológicos da cultura do trigo (safras “Castro 2008b” e “Ponta Grossa 2007”).

Modelo	<i>Ea</i> (kg ha ⁻¹)	<i>Er</i> (%)	<i>R</i> ----- (adimensional) -----	“ <i>d</i> ”	“ <i>c</i> ”	Desempenho
----- <i>GDA</i> -----						
Gompertz e Philos (1825)	2149,9	40,4	0,82	0,78	0,64	Mediano
Ratkowsky (1983)	1131,0	28,9	0,84	0,90	0,76	Bom
----- <i>Rs</i> -----						
Gompertz e Philos (1825)	1488,3	37,0	0,80	0,88	0,70	Bom
Ratkowsky (1983)	1446,8	36,8	0,81	0,89	0,72	Bom

CONCLUSÕES

A associação entre acúmulo da biomassa seca e as variáveis testadas (*GDA* e *Rs*) foi satisfatória na calibração ($R^2 > 0,99$) e na validação ($R > 0,80$). As variáveis *GDA* e *Rs* apresentaram desempenho entre “mediano” e “bom”. Mesmo com bons ajustes na calibração, a validação indicou altos erros absolutos e relativos.

REFERÊNCIAS

- Araújo EC, Uribe-Opazo MA, Johann JA. Modelo de regressão espacial para estimativa da produtividade da soja associada a variáveis agrometeorológicas na região oeste do estado do Paraná. Eng Agr-Jaboticabal. 2014; 34:286-299. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000200010>
- Gompertz B, Philos T. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. Philos T R Soc Lond. 1825; 115:513-585. <https://doi.org/10.1098/rstl.1825.0026>
- Jones JW, Antle JM, Basso B, Boote KJ, Conant RT, Foster I, Godfray HCJ, Herrero M, Howitt RE, Janssen S, Keating BA, Carpena RM, Porter CH, Rosenzweig C, Wheelerk TR. Brief history of agricultural systems modeling. Agr Syst. 2017; 155:240-254. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.014>
- Peixoto CP, Peixoto MFSP. Dinâmica do crescimento vegetal: princípios básicos. In: Carvalho CAL, Dantas ACVL, Pereira FAC, Soares ACF, Melo Filho JF, editores. Tópicos em ciências agrárias. Cruz das Almas: Nova Civilização; 2009. p. 37-53.
- Ratkowsky DA. Nonlinear regression modeling: a unified practical approach. New York: Marcel Dekker; 1983.
- Rodrigues O, Didonet AD, Lhamby JCB, Roman ES. Modelo para previsão de estádios de desenvolvimento em trigo. Passo Fundo: Embrapa Trigo – Circular técnica online, 2001 [citado em 16 janeiro 2019]. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_ci05_4.htm
- Souza JLM. Fundamentos de matemática e estatística para formulação de modelos e análise de dados: aplicado às ciências agrárias. Curitiba: 2018 [citado em 26 março 2019]. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes.htm>