

ADEQUAÇÃO DO MODELO 'LINTUL' PARA A ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE POTENCIAL DA SOJA COM PERÍODO JUVENIL LONGO EM SORRISO-MT

SIMONE TONI RUIZ CORRÊA¹, ROGÉRIO LORENÇONI², FABIO VALE SCARPARE³,
RAFAEL VIVIAN⁴, DURVAL DOURADO NETO⁵

¹ Engenheira Agrônoma, Pós-Graduanda PPG Fitotecnia - ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11- CP.9 - Piracicaba/SP-CEP 13418-900, Fone: 3429-4458. E-mail: struiz@esalq.usp.br

² Engenheiro Agrônomo, Pós-Graduando PPG Fitotecnia - ESALQ/USP, Piracicaba - SP.

³ Engenheiro Agrônomo, Pós-Graduando PPG Engenharia de Sistemas Agrícolas - ESALQ/USP, Piracicaba - SP.

⁴ Engenheiro Agrônomo, Dr. Em Fitotecnia, Pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina-PI.

⁵ Professor Titular do Departamento de Produção Vegetal - ESALQ/USP, Piracicaba - SP.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - 18 a 21 de Julho de 2011
- SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo adequar o modelo LINTUL, cujos parâmetros incluem propriedades fisiológicas da cultura e as condições de tempo do local, para estimar a produtividade potencial de soja com período juvenil longo. Foram utilizados dados de experimento conduzido em Sorriso-MT no ano agrícola de 2007-2008, contemplando 8 diferentes variedades cultivadas de soja. O delineamento foi em blocos ao acaso, com 3 repetições em parcelas compostas de 4 linhas de 5 metros. A adequação do modelo teve como objetivo viabilizar uma comparação de comportamentos, dado a sua utilização em diferentes situações. Para este estudo, adotou-se (i) cálculo das diferenças entre as 8 produtividades observadas e as ajustadas via modelo, para todos os casos; (ii) construção da matriz de similaridade; (iii) regressões lineares; (iv) teste de heterogeneidade dos coeficientes de regressão linear. Foi possível observar, através deste trabalho, que o modelo LINTUL-soja possui excelente desempenho quanto à predição de tendências, com a variação nos valores dos parâmetros.

PALAVRAS-CHAVE: análise de sensibilidade, modelagem matemática

LINTUL'S MODEL ADEQUATION TO ESTIMATE SOYBEAN POTENTIAL YIELD CONTAINING JUVENILE PERIOD IN SORRISO-MT

ABSTRACT: The objective of this work was to adapt the LINTUL's model, which parameters include crop physiological properties and local weather conditions, to estimate the soybean potential yield containing 'long juvenile period'. It was used data from an experiment conducted in Sorriso-MT in the 2007-2008 crop-season, covering 8 different soybean cultivars. The experiment design was a randomized blocks with 3 replications in plots of 4 rows of 5 meters. The model fits the process of facilitating a behavior comparison, given its use in different situations. For this study, it was adopted (i) calculating the differences between the 8 productivities observed and adjusted via the model for all cases, (ii) construction of similarity matrix, (iii) linear regression, (iv) test for heterogeneity coefficients of linear regression. It was possible to observe in this work that the LINTUL-soybean model has an excellent performance on trend prediction, with a variation on value parameters.

KEYWORDS: sensitivity analysis, mathematical models

INTRODUÇÃO: Para que a produção de soja se tornasse viável nas regiões de baixa latitude do Centro-Oeste, apresentando características agrônomicas e produtividade desejáveis, fazia-se necessário a adaptação da cultura ao fotoperíodo local. A razão principal desta adaptação foi o desenvolvimento de novos genótipos, conhecidos como 'período juvenil longo' (PJL) (TOLEDO et al., 1994), através de hibridações para a transferência de genes (KIIHL; GARCIA, 1989). O desenvolvimento desta tecnologia 'abriu' para a produção de soja as regiões Oeste e Norte do país que se situam abaixo de 20°. As variedades de soja com PJL são especialmente importantes por aumentarem seu alcance em baixas latitudes, permitindo maior flexibilidade aos períodos de semeadura dentro da mesma latitude. O modelo LINTUL (*Light INTERception and ULtilization*), desenvolvido pela Universidade de Wageningen, Holanda, simula a acumulação de matéria seca baseando-se no uso eficiente da radiação solar, em condições potenciais ótimas de desenvolvimento. Apesar de ter sido inicialmente desenvolvido para a cultura da batata, parametrizações para a cultura de soja foram feitas por CORRÊA (2008). A adequação de um modelo tem como objetivo viabilizar uma comparação de comportamentos deste modelo, quando utilizado em diferentes situações. O uso das diferenças em cada combinação de fatores, entre a produção efetivamente observada a campo e a produção ajustada por meio do modelo, elimina o desconforto de conviver com variâncias nulas na execução dos testes de hipóteses. Tais diferenças apresentam, ainda, a vantagem de apontar, mesmo que informalmente, a combinação de fatores que leva a menor distância entre a produção observada e a produção estimada. Este trabalho teve como objetivo adequar o modelo LINTUL para estimar a produtividade potencial da soja com PJL em Sorriso-MT.

MATERIAL E MÉTODOS: Foram utilizados os dados de experimento de campo conduzido pela Fundação MT no ano agrícola 2007-2008, contemplando 8 diferentes variedades cultivadas de soja, todas contendo PJL. O experimento foi implantado na estação experimental de Sorriso, estado do Mato Grosso, Brasil (386 metros acima do nível do mar, 12°26'05" S e 55°39'02" W), com solo tipo Latossolo vermelho amarelo eutrófico LVAe (EMBRAPA, 1999) e em clima do tipo *Aw*, segundo a classificação climática de Köppen. O delineamento foi em blocos ao acaso, com 3 repetições em parcelas compostas de 4 linhas de 5 metros, sendo a área útil formada pelas duas linhas centrais.

Os parâmetros de entrada do modelo LINTUL incluem propriedades fisiológicas da cultura e as condições de tempo do local (latitude, temperaturas mínima e máxima e radiação solar diária), e foram obtidos em CORRÊA (2008). Para os parâmetros k ($0,7 \text{ m}^2(\text{solo}) \cdot \text{m}^3(\text{folha})$), EUR ($1,8 \text{ g MJ}^{-1}$), $crexp$ ($0,010 \text{ }^\circ\text{C d}^{-1}$) e AFE ($0,036 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$), foi atribuída a variação de 10% a mais e a menos em cada valor, e as respostas de suas combinações foram comparadas aos resultados de produtividade obtidos pelo experimento enquanto os demais parâmetros de entrada do modelo foram mantidos constantes.

Para o estudo da adequação do modelo LINTUL-soja para estimativa de produtividade potencial, adotou-se as seguintes estratégias: (i) cálculo das diferenças entre as 8 produtividades observadas e as ajustadas via modelo, para todos os casos; (ii) construção da matriz de similaridade, com base em Lebart et al. (1995), a fim de escolher os fatores mais correlacionados com as diferenças; (iii) tomando como base as diferenças da primeira variedade cultivada, foram construídas regressões lineares com as outras 7 variedades, para verificação da eficiência do modelo; (iv) teste de heterogeneidade dos coeficientes de regressão para os 'modelos' obtidos nos 8 casos.

A Tabela 1 contém as datas de semeadura, antese e maturação, bem como soma térmica necessária para cada estágio. Os sistemas estatísticos usados foram: SPSS for Windows - *Statistical Package for Social Sciences*, versão 7.5.1; e UNISTAT - *Statistical Package for Windows*, versão 5.0.

Tabela 1: Variedades cultivadas e respectivas datas de semeadura, antese e maturação, com correspondentes valores de soma térmica, em °C d, e produtividade observada (kg.ha⁻¹) em Sorriso-MT, ano safra 2007-2008.

Variedade	Data da semeadura	GDEM °C d	Data da Antese	GD1 °C.d	Data da Maturação	GD2 °C d	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Linha6-62.435/2	01/11/2007	88	12/12/2007	607	29/02/2008	1229	4.176
Linha6-41.834/1	01/11/2007	88	12/12/2007	607	02/03/2008	1259	4.038
Linha4-67.053/3	01/11/2007	88	17/12/2007	694	01/03/2008	1157	4.140
Linha6-51.680/2	01/11/2007	88	17/12/2007	694	01/03/2008	1157	4.092
Linha6-52.693/1	01/11/2007	88	17/12/2007	694	29/02/2008	1142	4.692
Linha6-52.685/1	01/11/2007	88	17/12/2007	694	29/02/2008	1142	4.464
Linha6-52.994/1	01/11/2007	88	17/12/2007	694	28/02/2008	1126	4.560
Linha6-41.720/1	01/11/2007	88	17/12/2007	694	28/02/2008	1126	4.350

GDEM= Soma térmica da semeadura até a emergência; GD1= soma térmica entre a emergência e antese e; GD2= soma térmica a antese e maturação. A emergência ocorreu 7 dias após a semeadura

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Conforme observado na Tabela 2, os parâmetros EUR, k e cr_{exp} apresentaram as maiores similaridades e, portanto, foram os escolhidos para permanecer no modelo.

Tabela 2: Resumo dos valores das matrizes de similaridade por variedade cultivada de soja.

Variedades	<i>k</i>	<i>EUR</i>	cr_{exp}	<i>IAFcr</i>	<i>AFE</i>
Linha6-62.435/2	0,397	0,840	0,310	0,000	0,191
Linha6-41.834/1	0,391	0,842	0,311	-0,004	0,190
Linha4-67.053/3	0,334	0,853	0,231	-0,022	0,169
Linha6-51.680/2	0,357	0,877	0,254	0,000	0,191
Linha6-52.693/1	0,357	0,877	0,255	0,000	0,191
Linha6-52.685/1	0,357	0,877	0,255	0,000	0,192
Linha6-52.994/1	0,358	0,876	0,256	0,000	0,192
Linha6-41.720/1	0,358	0,876	0,256	0,000	0,192

Quando o modelo LINTUL-soja foi ajustado para cada variedade, ficaram caracterizadas as combinações dos parâmetros que levaram às menores diferenças entre produtividades ajustadas e produtividades observadas (Tabela 3). Verifica-se que os três valores adotados para *k* não interferiram nas diferenças.

Tabela 3: Menor diferença entre produtividade ajustadas via modelo e produtividade observada a campo

Local	Diferenças (kg)	<i>EUR</i>	cr_{exp}	<i>k</i>
Linha6-62.435/2	9	1,98	0,009	0,63
Linha6-41.834/1	2	1,80	0,011	0,63
Linha4-67.053/3	28	1,80	0,010	0,63
Linha6-51.680/2	13	1,80	0,011	0,63
Linha6-52.693/1	6	1,98	0,010	0,63
Linha6-52.685/1	12	1,98	0,009	0,63
Linha6-52.994/1	20	1,98	0,010	0,63
Linha6-41.720/1	18	1,98	0,010	0,63

Tomando-se ao acaso, como referência, a produtividade da variedade Linha 6-62.435/2, foram construídas regressões lineares com as outras 7 produtividades, a fim de verificar se o modelo foi igualmente eficiente para todas elas.

Conforme resultados da Tabela 4, as regressões lineares entre a variedade Linha 6-62.435/2 e as demais apresentaram excelentes coeficientes de determinação, variando entre 0,98 e 1,00. Em outras palavras, as regressões lineares entre os vetores das diferenças inerentes às sete variedades e o vetor das diferenças da variedade Linha 6-62.435/2 revelaram um excelente ajuste evidenciando que o LINTUL-soja ‘tendeu’ a ajustar de maneira semelhante às produções dessas oito variedades.

Tabela 4: Resultado das regressões lineares entre a variedade Linha6-62.435/2 e as demais variedades cultivadas

	Intercepto	Inclinação	R ²
Linha6-41.834/1	261,6	1,03	1
Linha4-67.053/3	100,5	0,94	0,98
Linha6-51.680/2	144,73	0,97	0,99
Linha6-52.693/1	-518,26	0,93	0,99
Linha6-52.685/1	-290,23	0,96	1
Linha6-52.994/1	-450,61	0,95	1
Linha6-41.720/1	-240,61	0,95	1

Para checagem dos resultados anteriores, construiu-se um vetor com as $3^3 = 27$ combinações de valores atribuídos aos parâmetros que restaram no modelo. Esse vetor foi tomado como ‘variável independente’ e relacionado através de regressões lineares com os 8 vetores de diferenças observadas no ajuste, via LINTUL-soja, das produtividades das 8 variedades cultivadas. Como resultado, o teste dos coeficientes de inclinação (Tabela 5), revelou excelente desempenho, ou seja, para a tendência de acréscimo e decréscimo da produtividade com a variação dos valores dos parâmetros. Por outro lado, o teste de heterogeneidade dos interceptos (Tabela 6) revelou diferenças significativas.

Tabela 5: Teste de heterogeneidade das inclinações

Variedade	Inclinação	
	Valor	Significância
Linha6-41.834/1	-49,16	a
Linha6-51.680/2	-49,05	a
Linha6-52.685/1	-48,33	a
Linha6-52.693/1	-48,33	a
Linha4-67.053/3	-48,29	a
Linha6-62.435/2	-47,61	a
Linha6-52.994/1	-47,58	a
Linha6-41.720/1	-47,58	a

Tabela 6: Teste de heterogeneidade dos interceptos

Variedade	Inclinação	
	Valor	Significância
Linha6-52.693/1	-195,53	a
Linha6-52.994/1	-125,37	ab
Linha6-52.685/1	32,47	ab
Linha6-41.720/1	84,63	bc
Linha6-62.435/2	315,42	d
Linha4-67.053/3	426,17	e
Linha6-51.680/2	464,96	e
Linha6-41.834/1	570,92	f

CONCLUSÕES: Dado que o intercepto pode ser entendido como o lugar onde a reta corta o eixo Y, tal ocorrência parece evidenciar o fato de que, em relação à soja, algum outro parâmetro que considere a produtividade deva ser inserido no modelo, como, por exemplo, o efeito negativo da respiração após o IAF exceder determinado patamar. Sendo assim, esta adequação nos mostra que o modelo LINTUL-soja possui excelente desempenho quanto à predição de tendências, com a variação nos valores dos parâmetros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CORRÊA, S.T.R. **Adaptação do modelo LINTUL (Light Interception and Utilization) para estimação da produtividade potencial da cultura de soja.** Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412 p.

KIIHL, R. A. S.; GARCIA, A. The use of the long-juvenile trait in breeding soybean cultivars. In PASCALE, A. J. In: **WORLD SOYBEAN CONFERENCE 4.**, Buenos Aires, Argentina, 1989, p. 994-1000.

LEBART, L.; MORINEAU, A.; PIRON, M. **Statistique Exploratoire Multidimensionnelle.** Ed. Dunod, 1995, Paris, 438 p.

TOLEDO, J.F.F. de. Genetics and breeding. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Tropical soybean: improvement and production.** Rome: FAO, 1994. p. 19-36. (FAO Plant Production and Protection Series, 27).