

MODELOS DE PRODUTIVIDADE POTENCIAL PARA AS CULTURAS DO FEIJÃO E DO MILHO

LEYDIMERE J. C. OLIVEIRA⁽¹⁾, LUIZ C. COSTA⁽²⁾, GILBERTO C. SEDIYAMA⁽³⁾,
WILLIAMS P. M. FERREIRA⁽⁴⁾, MARCELO J. DE OLIVEIRA⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Eng. Ambiental, Doutoranda em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa-MG, Fone: (0 XX 31) 3899 1902, leydimere@yahoo.com.br. ⁽²⁾ Matemático, Prof. Associado, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa-MG. ⁽³⁾ Eng. Agrônomo, Prof. Titular, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa-MG. ⁽⁴⁾ Meteorologista, Embrapa Milho e Sorgo, CNPMS, Sete Lagoas-MG. ⁽⁵⁾ Eng. Agrimensor, Prof. Mestre, Depto. de Engenharia de Minas, UFG, Catalão-GO.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 - GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG.

RESUMO: Modelos baseados em processos, utilizando as equações de Blackman, hipérbole retangular, exponencial negativa, hipérbole não retangular e uso eficiente da radiação, como parte central no cálculo do balanço de carbono, foram utilizados para estimar a variabilidade da produtividade das culturas de milho e feijão, em algumas mesorregiões do Estado de Minas Gerais, a partir de dados diários meteorológicos históricos de 1975 a 2004. A produtividade potencial, calculada pelos diferentes modelos diferiu substancialmente. A diferença percentual entre o modelo de maior estimativa de produtividade e o de menor foi de 105% para a cultura do feijão e de 108% para a cultura do milho. **PALAVRAS CHAVE:** modelo agrometeorológico, balanço de carbono, estimativa de produtividade.

MODELS OF POTENTIAL PRODUCTIVITY OF BEANS AND MAIZE CROPS

ABSTRACT: Some process-based models, by using the Blackman's equation, the negative exponential, rectangular hyperbole, non-rectangular hyperbole, and the efficient use of the radiation were used as the central part in calculation of the carbon balance in order to estimate the variability of the productivity of both maize and bean crops in some mesoregions at Minas Gerais State, from the historic, meteorological and daily data relative to the period from 1975 to 2004. The potential productivity calculated by those models rather substantially differed. The percent difference between the model showing the highest productivity estimate and that one showing the minor estimate was 105% for bean and 108% for maize crops. **KEYWORDS:** agrometeorological model, carbon balance, estimates of productivity.

INTRODUÇÃO: A interação entre as plantas e o ambiente envolve uma complexidade de processos físicos, químicos e biológicos. Visando obter um conhecimento mais profundo sobre as respostas da cultura ao ambiente, modelos de simulação são utilizados como ferramenta de grande potencial na área de sistemas cultivados, pois possibilitam o estudo e entendimento do conjunto, estimando o desempenho da cultura em diferentes localidades e situações (TOJO SOLER, 2004). Tais modelos comumente utilizam o balanço de carbono das culturas, tendo como variável de entrada, unicamente, a radiação e a temperatura, não considerando nenhuma outra restrição ambiental. O estudo dos impactos na produtividade potencial é ferramenta importante, pois, não considera incertezas como restrição hídrica e nutricional, pragas e doenças, solo e outros. Nos modelos baseados em processos, desenvolvidos nos últimos anos, cinco equações vêm sendo utilizadas como parte central no

cálculo do balanço de carbono: Blackman, hipérbole retangular, exponencial negativa, hipérbole não retangular e o uso eficiente da radiação. No entanto, é de se esperar que, devido às pressuposições básicas consideradas em seu desenvolvimento, estas equações apresentem diferenças em seus resultados. Desta forma, considerando a importância da disponibilidade de modelos simples e confiáveis de estimativa da produtividade potencial e, ainda, que os resultados dos modelos mais utilizados ainda não foram comparados, em condições climáticas brasileiras, o objetivo deste trabalho é: calcular e comparar a produtividade potencial das culturas do feijão e do milho, para algumas mesorregiões do Estado de Minas Gerais, utilizando os modelos citados anteriormente.

MATERIAL E MÉTODOS: Dados meteorológicos diários de temperaturas do ar, máxima, mínima e média e insolação de 19 estações, fornecidos pelo 5º Distrito do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), representativas de sete mesorregiões do Estado de Minas Gerais, constituído de uma série de 30 anos de 1975 a 2004, foram utilizados no estudo. Para as simulações da cultura do feijão foram utilizados dados da cultivar Pérola, grupo comercial carioca que apresenta ciclo de, aproximadamente, 90 dias. Para as simulações da cultura do milho foram usados dados usados da cultivar AGN 2012 (Híbrido duplo), que apresenta ciclo de, aproximadamente, 116 dias. A data de plantio foi 15 de outubro para todas as simulações. Foi desenvolvido um modelo modular utilizando o software Model Maker 3.0 ©CSPL (Cherwell Scientific Publishing Limited). Tal modelo simulou a produção de matéria seca diária determinada pela intensidade de radiação e temperatura média. O modelo consistiu dos seguintes módulos: (a) climático; (b) radiação; (c) balanço de carbono; e (d) desenvolvimento e partição de matéria seca. Como parte central no balanço de carbono foram utilizadas as equações de Blackman, exponencial negativa, hipérbole retangular, hipérbole não retangular e uso eficiente da radiação. A curva de Blackman propõe uma resposta inicial linear à radiação (região limitada pela intensidade da luz), posteriormente o suprimento disponível de CO₂ não permite aumentos na taxa fotossintética com aumentos na radiação (região limitada pela concentração de CO₂) e, portanto, há uma descontinuidade acentuada entre as regiões limitada pela luz e pelo CO₂, fazendo com que a transição para a saturação seja abrupta (CHAN, 1992). A curva de Blackman é dada pela expressão:

$$F_g = F_{g \max} \min \left\{ \frac{\varepsilon I}{F_{g \max}}, 1 \right\} \quad (1)$$

Na exponencial negativa a resposta à luz tem um declive inicial mais íngreme, sendo a transição para a saturação de forma mais gradual comparada às demais curvas (CHAN, 1992). A curva exponencial negativa é definida por:

$$F_g = F_{g \max} \left(1 - \exp \left(- \frac{\varepsilon I}{F_{g \max}} \right) \right) \quad (2)$$

A hipérbole retangular não apresenta descontinuidade, mas alcança à saturação muito lentamente (CHAN, 1992) e pode ser calculada por:

$$F_g = F_{g \max} \left(\frac{\varepsilon I}{F_{g \max}} / \left(1 + \left(\frac{\varepsilon I}{F_{g \max}} \right) \right) \right) \quad (3)$$

Na hipérbole não-retangular, há outro parâmetro conhecido como parâmetro de forma que varia entre 0 e 1, tal parâmetro é definido como a razão da resistência de difusão de CO₂ pela resistência total (THORNLEY e JOHNSON, 1990). A curva da hipérbole não retangular é descrita por:

$$F_g = F_{g \max} \left(1 + \left(\frac{\epsilon I}{F_{g \max}} \right) - \sqrt{\left(1 + \left(\frac{\epsilon I}{F_{g \max}} \right) \right)^2 - 4 \left(\frac{\epsilon I}{F_{g \max}} \right) \theta} / 2\theta \right) \quad (4)$$

em que: $F_{g \max}$ = taxa máxima de fotossíntese da cultura ($\text{gCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$); ϵ = eficiência fotossintética ($\text{gCO}_2 \cdot \text{MJ}^{-1}$); I = RFA interceptada pela cultura ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$); θ = parâmetro de forma (0 - 1); e F_g = taxa de fotossíntese bruta ($\text{gCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$). O método do uso eficiente da radiação proposto por MONTEITH (1977) permite estimar a produtividade de uma cultura, considerando-se um único parâmetro ϵ , baseia-se na existência de uma relação linear entre o acúmulo de matéria seca total e a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela cultura, e pode ser expresso da seguinte forma:

$$\frac{dMS}{dt} = UER \times RFA \quad (5)$$

em que: MS = quantidade de matéria seca produzida pelas plantas ($\text{gMS} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$); RFA = radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela cultura ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$); e, UER = eficiência de conversão de RFA em matéria seca ($\text{gMS} \cdot \text{MJ}^{-1}$). Nos modelos utilizando as equações de Blackman, exponencial negativa, hipérbole retangular e hipérbole não retangular, o balanço diário de carbono foi definido, como a matéria seca resultante da diferença entre a assimilação e a respiração de manutenção diária da cultura. Em seguida, o ganho de carbono simulado foi convertido em matéria seca, através da respiração de crescimento. No último modelo, o acúmulo de matéria seca das culturas foi calculado por meio do uso eficiente da radiação proposto por MONTEITH (1977). Para todos os modelos o processo fisiológico foi caracterizado através de dois parâmetros específicos para cada variedade: tempo térmico para o florescimento e para a maturação. E, à medida que se acumularam os totais de graus-dia exigidos pela cultura para a ocorrência dos eventos fenológicos, o módulo referente à partição de assimilados distribuiu a assimilação diária entre os órgãos da planta. O rendimento de grão foi estimado pela percentagem de matéria seca alocada para os órgãos reprodutivos em função da fase fenológica. A simulação foi concluída quando a cultura atingiu a maturidade fisiológica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Usando a produtividade potencial média, obtida pela hipérbole não retangular, como base para comparação, as magnitudes das diferenças em termos percentuais foram da ordem de 47%, -20%, -28% e -23% para a cultura do feijão e de 51%, -4%, -28% e -16% para a cultura do milho, para o modelo de Blackman, exponencial negativa, hipérbole retangular e uso eficiente da radiação, respectivamente. Nas simulações da produtividade potencial, notam-se diferenças nos valores das mesmas (Tabelas 1 e 2) devido, provavelmente, às diferentes condições climáticas de cada mesorregião. Para a cultura do feijão, a mesorregião Vale do Jequitinhonha apresentou os maiores valores de produtividade potencial média, para todos os modelos e a mesorregião Central Mineira os menores. Para a cultura do milho, os maiores valores de produtividade potencial média para todos os modelos foram observados na mesorregião Campos das Vertentes e os menores na mesorregião Central Mineira. Tais diferenças foram causadas, principalmente, pelas diferenças na temperatura do ar, pois, quando mais altas têm, como consequência, menor assimilação de carbono pela planta, decorrente do encurtamento das fases fenológicas e aumento na taxa de respiração de manutenção. Na Tabela 3, encontram-se os desvios entre a produtividade potencial média estimada pelos cinco modelos e a produtividade potencial, obtida na literatura. Para a cultura do feijão foram usados o potencial produtivo para o cultivar Pérola, de acordo com EMBRAPA (2007) e Ministério da Agricultura (BRASIL, 2007a). Para a cultura do milho foram utilizados o potencial produtivo para o cultivar AGN

2012, de acordo com Ministério da Agricultura (BRASIL, 2007b) e experimento realizado na UFV por WOLSCHICK (2004). De acordo com os valores dos desvios, a produtividade potencial estimada pelo modelo de Blackman foi muito superior aos valores obtidos na literatura para as duas culturas. Por outro lado, os modelos da exponencial negativa, da hipérbole retangular, da hipérbole não retangular e do uso eficiente da radiação apresentaram estimativas de produtividade potencial próximas aos valores obtidos na literatura.

Tabela 1. Produtividade potencial média do feijão para cada mesorregião, pelos diferentes modelos em kg.ha⁻¹

Mesorregiões	Blackman	Exponencial negativa	Hipérbole retangular	Hipérbole não retangular	Uso eficiente da radiação
Zona da Mata	6000	3190	2862	4019	3084
Vale do Jequitinhonha	6416	3597	3246	4464	3475
Triângulo/Alto Paranaíba	5824	3084	2768	3891	3037
Sul/Sudoeste	6310	3476	3134	4331	3214
Campos das Vertentes	6160	3406	3083	4240	3127
Metropolitana	5859	3129	2806	3944	3061
Central Mineira	5683	2970	2648	3768	3036

Tabela 2. Produtividade potencial média do milho para cada mesorregião, pelos diferentes modelos em kg.ha⁻¹

Mesorregiões	Blackman	Exponencial negativa	Hipérbole retangular	Hipérbole não retangular	Uso eficiente da radiação
Zona da Mata	17260	11029	8321	11490	9656
Vale do Jequitinhonha	17938	11434	8607	11887	10045
Triângulo/Alto Paranaíba	17076	10823	8130	11267	9500
Sul/Sudoeste	18792	11934	8994	12387	10174
Campos das Vertentes	19581	12528	9476	13035	10995
Metropolitana	17304	11076	8340	11517	9688
Central Mineira	16624	10478	7837	10903	9333

Tabela 3. Desvios entre a produtividade potencial média estimada pelos cinco modelos e a produtividade potencial, obtida na literatura para as duas culturas

Modelos	Feijão		Milho	
	EMBRAPA	Ministério da Agricultura	UFV	Ministério da Agricultura
Blackman	51%	89%	62%	109%
Exponencial Negativa	-18%	2%	3%	33%
Hipérbole Retangular	-27%	8%	-22%	0%
Hipérbole Não Retangular	2%	28%	7%	39%
Uso Eficiente da Radiação	-21%	2%	-10%	17%

CONCLUSÕES: A produtividade potencial, calculada pelos diferentes modelos, diferiu substancialmente. A diferença percentual entre o modelo de maior estimativa de produtividade e o de menor foi superior para a cultura do milho, em relação à do feijão. Pelo método de Blackman, a produtividade potencial estimada para as duas culturas foi, sempre, muito superior àquelas reportadas na literatura. Por outro lado, os demais métodos apresentaram resultados próximos aos disponíveis na literatura. Para a cultura do feijão, a mesorregião Vale do Jequitinhonha apresentou os maiores valores de produtividade potencial média, para todos os modelos, enquanto a mesorregião Central Mineira apresentou os menores. Para a cultura do milho, os maiores valores de produtividade potencial média, para todos os modelos, foram observados na mesorregião Campos das Vertentes e os menores na mesorregião Central Mineira.

AGRADECIMENTOS: CAPES e CNPq pela concessão de bolsas de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Zoneamento Agrícola de Risco Climático:** cultivares de feijão – ano-safra 2006/2007. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 17 jun. 2007a.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Zoneamento Agrícola de Risco Climático:** cultivares de milho – ano-safra 2006/2007. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 17 jun. 2007b.
- CHAN, A. K. **Simulation of growth and development of faba bean (Vicia Faba L.)** 1992. 217 f. Thesis (Doctor of Philosophy) – Department of Meteorology and Department of Agricultural Botany, University of Reading, Reading, 1992.
- ©CSPL. Model Maker 3 for Windows, version 3.0.2. Cherwell Scientific Publishing, Palo Alto, EUA, 1997.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivar Pérola.** Disponível em: <www.cnpaf.embrapa.br/feijao/perola.htm>. Acesso em: 15 abr. 2007.
- MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 281, p. 227-294, 1977.
- THORNLEY, J. H. M.; JOHNSON, I. R. **Plant and crop modelling: A mathematical approach to plant and crop physiology.** New York: Oxford University Press, 1990. 669 p.
- TOJO SOLER, C. M. **Uso do modelo Ceres-Maize para previsão de safra do milho “safrinha”.** 2004. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.
- WOLSCHICK, D. **Modelo SIMASS-C: inclusão da modelagem do crescimento e desenvolvimento do milho.** 2004. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.