



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



### **Análise da sensibilidade do modelo CSM-CROPGRO-Soybean ao aumento de temperatura e CO<sub>2</sub> para a simulação de produtividade da soja no Centro-Sul do Brasil<sup>1</sup>**

*Rafael Battisti<sup>2</sup>; Paulo Cesar Sentelhas<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Parte da tese do primeiro autor, projeto financiando pela agência de fomento FAPESP

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Doutorando, USP – ESALQ, Fone: (19) 98317 3036, [r.battisti@hotmail.com](mailto:r.battisti@hotmail.com)

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Professor Associado 3, USP – ESALQ, [psentel.esalq@usp.br](mailto:psentel.esalq@usp.br)

**RESUMO:** O aumento da temperatura do ar e da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera pode afetar significativamente a produtividade da cultura da soja. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a sensibilidade de resposta do modelo CSM-CROPGRO-Soybean na simulação da produtividade da soja com o aumento de temperatura do ar e de CO<sub>2</sub> para o centro-sul do Brasil. Para avaliar a sensibilidade de resposta do modelo às variáveis climáticas, foram geradas séries climáticas a partir dos dados meteorológicos observados entre 1961 e 2014 para as localidades de Passo Fundo (PF), RS, Campo Mourão (CM), PR, e Dourados (DO), MS, obtidos junto à base de dados do INMET e da ANA. As séries climáticas geradas foram acrescidas de 1, 3 e 5°C no valor da temperatura mínima e máxima do ar com concentração de CO<sub>2</sub> de 400 ppm. Para as séries acrescidas de 3 e 5°C foram geradas séries adicionais com 550 e 700 ppm de CO<sub>2</sub>, respectivamente. Ao avaliar o aumento de temperatura do ar, houve uma redução de 155, 245 e 220 kg ha<sup>-1</sup> para cada grau de aumento da temperatura a 400 ppm de CO<sub>2</sub>, respectivamente para CM, DO e PF, taxa essa obtida por meio do resultado médio das simulações (+1, +3 e +5°C). A redução está associada ao aumento da demanda hídrica e respiração da planta e a redução do ciclo de desenvolvimento da cultura. Quando foi considerado o aumento de CO<sub>2</sub> (550 e 700 ppm) e de temperatura do ar (+3 e +5°C), a resposta apresentada pelo modelo foi de +40, -50 e -31 kg ha<sup>-1</sup> para cada grau de aumento na temperatura, respectivamente para CM, DO e PF. Essa redução das perdas está associada ao aumento da assimilação de CO<sub>2</sub> devido a redução da fotorrespiração. Portanto, o modelo apresentou variação de produtividade para cada cenário, em que o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> reduziu o efeito negativo do aumento da temperatura.

**PALAVRAS-CHAVE:** mudança climática, modelagem de cultura, agrometeorologia

### **Sensitivity analysis for the CSM-CROPGRO-Soybean model with increased air temperature and CO<sub>2</sub> for soybean yield simulation in Southern Brazil**

**ABSTRACT:** The increase in air temperature and CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere can significantly affect the soybean yield. Therefore, the aim of this study was to evaluate the sensitivity response of the CSM-CROPGRO model on soybean yield simulation with increased air temperature and CO<sub>2</sub> for Southern Brazil. The model sensitivity response was evaluated using climate scenarios generated with weather data from 1961 to 2014 for Passo Fundo (PF), RS, Campo Mourão (CM), PR, and Dourados (DO), MS. The weather data were obtained from INMET and ANA databases. The generated climate series considered increments of 1, 3 and 5°C in the maximum and minimum air temperatures, considering a CO<sub>2</sub> concentration of 400 ppm. Climate series with air temperature increased in 3 and 5°C were also evaluated using respectively the CO<sub>2</sub> concentrations of 550 and 700 ppm. Yield reductions of 155, 245 and 220 kg ha<sup>-1</sup> for each degree of temperature increase using 400 ppm of CO<sub>2</sub>, respectively for CM, DO and PF. These rates were obtained by considering the average of the simulations (+1, +3 and +5°C). Such yield reductions are associated with the increased of water demand and plant respiration



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

and the reduction of the crop growth cycle. Considering the raise in CO<sub>2</sub> (550 and 700 ppm) and air temperature (+3 and + 5°C), the model showed a yield response of +40, -50 and -31 kg ha<sup>-1</sup> for each degree of increase in temperature, respectively, for CM, DO and PF. This reduction in yield losses is associated with the increase of CO<sub>2</sub> assimilation, mainly due to the photorespiration reduction. Thus, the model showed different yield responses for each scenario, in which the increase in CO<sub>2</sub> concentration reduced the negative effect of air temperature increase.

**KEY WORDS:** climate change, crop model, agrometeorology.

## INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos mais importantes produtores de soja no mundo, sendo responsável por 29% do fornecimento desse grão no mercado mundial em 2013 (FAOSTAT, 2015). A produtividade da cultura da soja é altamente dependente das condições climáticas que ocorrem ao longo do ciclo, principalmente pelo fato que a soja é cultivada na grande maioria em condição de sequeiro. Nesse contexto, as mudanças climáticas são uma preocupação atual, sendo necessário identificar estratégias que visem diminuir os efeitos das mudanças climáticas sobre a produtividade, principalmente devido à elevação da temperatura do ar, à alteração dos padrões de chuvas e das frequências de eventos climáticos extremos.

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014) prevê clara tendência de aumento da temperatura do ar e da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera com alteração da quantidade e distribuição de chuva e radiação solar, as quais podem afetar a produtividade da cultura da soja. Tocarindua et al. (2013) observaram redução da produtividade da soja devido às altas temperaturas, as quais aumentaram o déficit de pressão de vapor e reduziram a condutância estomática (50%) e fotossíntese (20%), enquanto que Mera et al. (2006) verificaram que no caso de menores temperaturas do ar a cultura da soja aumentou a sua produtividade devido ao maior ciclo e redução da evapotranspiração. Em relação às mudanças climáticas, o aumento da temperatura está associado ao aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, sendo que este pode ajudar a aumentar a produtividade da soja devido à não saturação da enzima rubisco com a concentração atual de CO<sub>2</sub> na atmosfera para as plantas com mecanismo fotossintético C<sub>3</sub>. Dessa maneira, o aumento de CO<sub>2</sub> pode aumentar a taxa fotossintética da cultura (Wullschlegel et al., 2002; Walter et al., 2010).

Nesse contexto, modelos de simulação de crescimento de culturas podem auxiliar a avaliar diferentes alternativas de manejo e, além disso, avaliar o efeito das condições climáticas futuras na produtividade da soja em nível local, uma vez que os resultados podem apresentar diferentes respostas em função da condição climática atual (Lehmann et al., 2013). Assim, é importante conhecer como o modelo de cultura responde às diferentes condições climáticas, como ao aumento de temperatura do ar e do CO<sub>2</sub> atmosférico. Desse modo, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a sensibilidade de resposta do modelo CSM-CROPGRO-Soybean na simulação da produtividade da soja com o aumento da temperatura do ar e do CO<sub>2</sub> em três localidades na região Centro-Sul do Brasil.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo CSM-CROPGRO-Soybean (Jones et al., 2003; Boote et al., 2003) foi empregado para a estimativa da produtividade da cultura da soja, utilizando-se dados climáticos de três diferentes localidades da região Centro-Sul do Brasil, sendo: Passo Fundo (PF), RS, Campo Mourão (CM), PR, e Dourados (DO), MS. Esses locais foram escolhidos por serem importantes regiões produtoras de soja. Para essas localidades foram obtidos dados climáticos para o período de 1961 a 2014 oriundos do

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Nacional de Águas (ANA). Os dados obtidos foram chuva, temperatura máxima e mínima do ar, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa. Além da condição climática atual, foram gerados diferentes cenários, com aumento de 1, 3 e 5°C no valor da temperatura do ar para uma concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera de 400 ppm. Mais dois cenários foram criados com o aumento da temperatura do ar de 3°C associada com a concentração de CO<sub>2</sub> de 550 ppm e o aumento de 5°C com a concentração de CO<sub>2</sub> de 700 ppm, totalizando 6 diferentes condições climáticas em que foram realizadas as simulações de produtividade.

Para a simulação da produtividade da cultura sob diferentes condições climáticas foram utilizados os coeficientes de cultivar calibrados a partir de dados de experimentos de campo desenvolvidos em diferentes locais, datas de semeadura e condições de disponibilidade hídrica para a cultivar BRS 284, do grupo de maturação 6.5 e de crescimento indeterminado, na região Centro-Sul do Brasil. Nas simulações, a data de semeadura adotada foi 15 de novembro, uma vez que essa é a principal para esses locais. Em relação ao solo foi utilizando o mesmo tipo para as três localidades, sendo do tipo Latossolo Vermelho, apresentando teor de argila, silte e areia, respectivamente, de 77, 11 e 12%, pH de 5,3, enquanto que o conteúdo de água no solo foram de 0,26, 0,49 e 0,58 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>, respectivamente, para ponto de murcha, capacidade de campo e saturação.

Após realizar as simulações para cada um dos locais e cenários, os resultados de produtividade da cultura da soja foram analisados utilizando a distribuição de probabilidade. Assim, primeiramente considerou-se o cenário atual e aqueles em que houve apenas aumento de 1, 3 e 5°C na temperatura do ar com concentração de CO<sub>2</sub> constante à 400 ppm. Em seguida, a mesma análise foi realizada para o cenário atual e com aumento de 1, 3 e 5°C, mas com variação na concentração de CO<sub>2</sub>, respectivamente, de 400, 550 e 700 ppm. Para cada um dos locais foi obtida a diferença de produtividade com o aumento da temperatura do ar e de CO<sub>2</sub> em relação à condição climática atual. A análise de sensibilidade para cada cenário foi obtida por:  $\sigma(y/k) = \frac{\Delta Y}{\Delta K}$ , em que  $\sigma(y/k)$  é a sensibilidade absoluta,  $\Delta Y$  é a diferença entre as variáveis de saída e  $\Delta K$  é a diferença entre as variáveis de entrada (Saltelli, 2002), e em seguida composta a média para os cenários que utilizaram apenas aumento de temperatura do ar e para aqueles que tiveram aumento de temperatura e de CO<sub>2</sub>, verificando a resposta de produtividade para cada grau de aumento da temperatura do ar em cada um dos locais.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para a análise de sensibilidade absoluta foi observado resposta diferenciada para as três localidades, sendo essa função da condição climática atual (Lehmann et al., 2013). Para Passo Fundo, RS, foi observado uma redução de produtividade da cultura da soja de 200 kg ha<sup>-1</sup> para cada grau de aumento da temperatura do ar, enquanto que quando o aumento da temperatura do ar foi associado com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> a redução foi de apenas 31 kg ha<sup>-1</sup>. Mesma tendência foi observada para Dourados, MS, em que a redução de produtividade foi de 245 e 50 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para a simulação utilizando apenas aumento de temperatura de ar e quando essa foi associada ao aumento do CO<sub>2</sub> na atmosfera. Já para Campo Mourão, PR, resultados negativos foram observados apenas com o aumento da temperatura, resultando em redução de 155 kg ha<sup>-1</sup> para cada grau, enquanto que aumento da temperatura associada com a elevação de CO<sub>2</sub> resultou em um ganho de 40 kg ha<sup>-1</sup> por cada grau de aumento na temperatura, considerando as condições climáticas utilizadas nessa simulação.

Avaliando as distintas condições e os resultados de produtividade, o modelo apresentou diferentes níveis de resposta para os cenários climáticos simulados, demonstrando que quando foi considerado apenas o aumento de temperatura todas as localidades apresentaram redução da produtividade (Tabela 1). Já quando o aumento de temperatura foi associado com a elevação da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, locais com redução de produtividade, como Passo Fundo e Dourados,

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

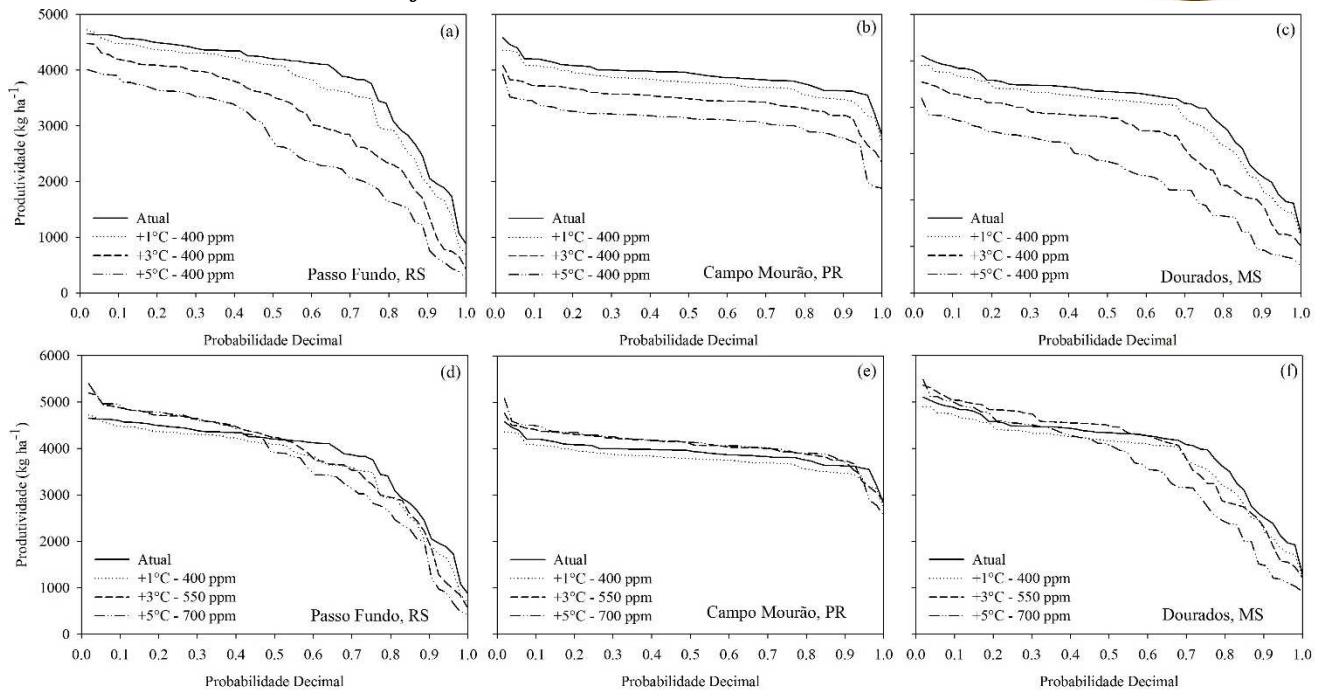
apresentaram redução dessa perda, enquanto que Campo Mourão houve uma inversão, com o aumento da produtividade associada à elevação de CO<sub>2</sub>, demonstrando, assim, que o modelo responde aos diferentes níveis de mudanças climáticas, uma vez que a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera e a temperatura do ar definem a fotossíntese líquida realizada pela cultura (Alagarswamy et al., 2006).

**Tabela 1.** Diferença para a produtividade média, simulada para 53 safras, sob diferentes cenários climáticos com aumento de temperatura do ar e de CO<sub>2</sub> em relação a condição climática atual para três locais na região Centro-Sul do Brasil.

| Local            | +1°C  | +3°C    | +3°C    | +5°C    | +5°C    |
|------------------|---|---------|---------|---------|---------|
|                  | 400 ppm   | 550 ppm | 400 ppm | 700 ppm | 700 ppm |
|                  | Diferença de Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) |         |         |         |         |
| Passo Fundo, RS  | -192  | -681    | -50     | -1204   | -222    |
| Campo Mourão, PR | -144  | -463    | 146     | -831    | 156     |
| Dourados, MS     | -202  | -703    | -42     | -1442   | -432    |

A resposta para análise de sensibilidade absoluta e as diferenças de produtividade entre a condição climáticas utilizadas nessa simulação são afetadas pelas condições climáticas atuais para essas localidades. O principal fator limitante de produtividade nessa região de estudo é o déficit hídrico (Sentelhas et al., 2015), e como pode ser verificado na Figura 1, as localidades apresentam diferentes níveis produtivos, variando aproximadamente entre 500 e 5000 kg ha<sup>-1</sup>, valores esses simulados para 53 safras. Para as simulações que foram consideradas apenas o aumento de temperatura do ar e uma concentração de CO<sub>2</sub> constante (400 ppm), pode se verificar que nos pontos extremos, de alta e baixa produtividades, as diferenças tendem a diminuir para todas as localidades (Figura 1a, 1b e 1c). Isso ocorre pois nas altas produtividades a disponibilidade hídrica é suficiente, reduzindo o déficit hídrico associado com o aumento da temperatura do ar, enquanto que para valores baixos, o déficit hídrico causa maior redução de produtividade, diminuindo a diferença entre os cenários climáticos de aumento da temperatura do ar.

O aumento da temperatura do ar de 1, 3 e 5°C resultou em redução de produtividade gradativa, quando o aumento do CO<sub>2</sub> não foi considerado (Figura 1a, 1b e 1c). Já quando o aumento da temperatura do ar foi associado ao aumento de CO<sub>2</sub>, Campo Mourão, devido às melhores condições hídricas, apresentou maior número de safras com produtividade superior para o aumento de temperatura e CO<sub>2</sub> (Figura 1e), enquanto que para os menores valores de produtividade, maior temperatura do ar fez com que o déficit hídrico penalizasse ainda mais a produtividade, reduzindo o efeito benéfico do CO<sub>2</sub> para a fotossíntese da cultura, uma vez que o aumento de temperatura resulta em aumento da demanda hídrica. Esses resultados demonstram a interação existente no modelo CSM-CROPGRO-Soybean com resposta diferenciada ao nível hídrico e de CO<sub>2</sub>. Tal tendência é ainda mais clara para Passo Fundo e Dourados (Figura 1d e 1f), em que o aumento da temperatura do ar associado ao do CO<sub>2</sub>, resultou em aumento de produtividade para os anos com melhor disponibilidade hídrica. Assim, por meio desses resultados é possível se conhecer a resposta do modelo aos diferentes cenários climáticos, o que auxilia a entender de forma eficiente os resultados de produtividade para determinada condição climática simulada.



**Figura 2.** Probabilidade decimal da produtividade simulada para a cultura da soja para diferentes cenários climáticos em três localidades da região Centro-Sul do Brasil.

## CONCLUSÕES

O modelo CSM-CROPGRO-Soybean apresentou diferentes níveis de resposta para a produtividade da soja em diferentes locais da região Centro-Sul, em que as respostas foram dependentes da condição climática atual, principalmente da disponibilidade hídrica, e das diferentes combinações de clima futuro utilizadas, demonstrando que o modelo apresenta sensibilidade para simular o efeito do aumento da temperatura do ar e da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera na produtividade da cultura da soja.

## AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece o apoio financeiro da FAPESP por meio do processo n° 2013/05306-0. O segundo autor agradece ao CNPq pela Bolsa de Produtividade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAGARSWAMY, G.; BOOTE, K.J.; ALLEN JR., L.H.; JONES, J.W. Evaluating the CROPGRO-Soybean model ability to simulate photosynthesis response to carbon dioxide levels. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 34-42, 2006.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; BATCHELOR, W.D.; NAFZIGER, E.D.; MYERS, O. Genetic coefficients in the CROPGRO-Soybean model: Link to field performance and genomics. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 32-51, 2003.



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



FAO. FAOSTAT. Acessado em: 15 mar. 2015. Online. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/E>>.

IPCC. **Fifth assessment Synthesis report**: Summary for Policymakers. Acessado em: 20 nov. 2014. Online. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/>.

JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A.J.; RITCHIE, J.T. The DSSAT cropping system model. **European Journal Agronomy**, v.18, p.234-265, 2003.

LEHMANN, N.; FINGER, R.; KLEIN, T.; CALANCA, P.; WALTER, A. Adapting crop management practises to climate change: Modeling optimal solutions at the Field scale. **Agricultural Systems**, v. 117, p. 55-65, 2013.

MERA, R.J.; NIYOGI, D.; BUOL, G.S.; WILKERSON, G.G.; SEMAZZI, F.H.M. Potential individual versus simultaneous climate change effects on soybean (C3) and maize (C4) crops: An agrotechnology model based study. **Global and Planetary Change**, v. 54, p. 163-182, 2006.

SALTELLI, A. Sensitivity analysis for importance assessment. **Risk Analysis**, New York, v. 22, p. 579-590, 2002.

SENTELHAS, P.C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G.M.S.; FARIAS, J.R.B.; HAMPF, A.; NENDEL, C.; The Soybean Yield Gap in Brazil - Magnitude, Causes and Possible Solutions for a Sustainable Production. **Journal of Agriculture Science**, 2015. Online. <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859615000313>.

TACARINDUA, C.R.P.; SHIRAIWA, T.; HOMMA, K.; KUMAGAI, E.; SAMESHIMA, R. The effects of increased temperature on crop growth and yield of soybean grown in a temperature gradient chamber. **Field Crop Research**, v. 154, p. 74-81, 2013.

WALTER, L.C.; ROSA, H.T.; STRECK, N.A. Simulação do rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol.45, p. 1237-1245, 2010.

WULLSCHLEGER, S.; TSCHAPLINSKI, T.; NORBY, R. Plant water relations at elevated CO<sub>2</sub> – implications for water-limited environments. **Plant Cell and Environment**, v. 25, p. 319–331, 2002.