



## 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*

## **O papel do clima, CO<sub>2</sub> e tecnologia nas tendências recentes na produtividade de soja no Rio Grande do Sul<sup>1</sup>**



*Gabriel Medeiros Abrahão<sup>2</sup>, Gabrielle Ferreira Pires<sup>3</sup>, Livia Maria Brumatti de Souza<sup>4</sup> e Marcos Heil Costa<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>Trabalho apresentado no XIX Congresso de Agrometeorologia, 23 a 28 de agosto de 2015

<sup>2</sup>Eng. Agrícola e Ambiental, Mestrando em Meteorologia Aplicada, Dpto Eng. Agrícola, UFV, Viçosa – MG, Fone: (31) 3899-1902, gabriel.abrahao@ufv.br

<sup>3</sup>Eng. Ambiental, Doutoranda em Meteorologia Aplicada, Dpto Eng. Agrícola, UFV, Viçosa – MG, [gabrielle.pires@ufv.br](mailto:gabrielle.pires@ufv.br)

<sup>4</sup>Estudante Eng. Ambiental, Estagiária no Grupo de Pesquisas em Interação Atmosfera-Biosfera UFV, Viçosa – MG, [livia.brumatti@ufv.br](mailto:livia.brumatti@ufv.br)

<sup>5</sup>Eng. Agrícola, Professor Titular, Dpto. Eng Agrícola, UFV, Viçosa – MG, [mhcosta@ufv.br](mailto:mhcosta@ufv.br)

**RESUMO:** Nas últimas décadas, o Brasil apresentou um aumento expressivo na produção de soja, se consolidando como um dos maiores produtores do mundo. Boa parte desse aumento pode ser atribuído à expansão da área de cultivo da soja, principalmente em direção ao norte, mas as últimas duas décadas também viram um aumento expressivo na produtividade nacional, de 1,7 t ha<sup>-1</sup> em 1990 para 2,8 t ha<sup>-1</sup> em 2013. Avanços tecnológicos como a adoção de práticas de fertilização mais eficientes e o desenvolvimento de novas variedades e métodos de controle de pragas são geralmente tomados como a principal causa da melhoria do rendimento das lavouras. Porém, o papel da variabilidade do clima e do aumento das concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> nesse aumento de produtividade em larga escala tem sido relativamente pouco estudado. O estado do Rio Grande do Sul foi um dos primeiros a adotar a cultura da soja e, apesar de ter perdido importância no cenário produtor para os estados do Centro Oeste e Nordeste, em 2013 ainda representava 15% da produção brasileira. Usando análise de regressão e um modelo numérico de ecossistemas agrícolas, que simula a fotossíntese a nível de folha de forma a melhor representar a resposta a variações da concentração de CO<sub>2</sub>, o objetivo deste trabalho foi separar a tendência de aumento da produtividade da soja no Rio Grande do Sul de 1990 a 2008 em três tendências: devida ao clima, devida ao efeito fisiológico do CO<sub>2</sub> e devida à tecnologia, esta última obtida através da diferença entre a tendência observada e os demais fatores. Os resultados indicam que os ganhos de produtividade atribuídos à tecnologia (0,21 t ha<sup>-1</sup> década<sup>-1</sup>) podem ter sido necessários para compensar os efeitos negativos da tendência climática no estado (-0,23 t ha<sup>-1</sup> década<sup>-1</sup>). Esses efeitos, somados à tendência positiva do efeito do CO<sub>2</sub> (0,21 t ha<sup>-1</sup> década<sup>-1</sup>) resultaram no aumento líquido observado de 0,19 t ha<sup>-1</sup> década<sup>-1</sup>.

**PALAVRAS-CHAVE:** tendências climáticas, soja, Rio Grande do Sul

### **The role of climate, CO<sub>2</sub> and technology on recent soybean yield trends in the state of Rio Grande do Sul**

**ABSTRACT:** Brazil has shown in the last decades an expressive increase in soybean production, consolidating itself as one the world's most important producers. A good share of this increase can be attributed to the mainly northward expansion of the cropping area, but the last two decades also saw an expressive rise in soybean yields, from 1.7 t ha<sup>-1</sup> in 1990 to 2.8 t ha<sup>-1</sup> in 2013. Technological advances such as the adoption of more efficient fertilization techniques and the development of new varieties and pest control methods are generally taken as the main cause of crop yield increases. However, the role of changes in climate and the increase in atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations on this large scale increase in

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

yields has received relatively little attention. The state of Rio Grande do Sul was one of the first to grow soybeans in the country and, despite having lost some importance as a major producer to states in Midwestern and Northeastern Brazil, it still represents about 15% of Brazilian total output. Using regression analysis and a crop growth model that simulates photosynthesis at the leaf level in order to better represent the response to CO<sub>2</sub> concentration variations, this work aimed to separate the yield trend in the state of Rio Grande do Sul in three trends: due to climate, due to the physiological CO<sub>2</sub> effect and due to technology, the last considered as the difference between the observed trend and the other two factors. The results indicate that the yield gains attributed to technology (0.21 t ha<sup>-1</sup> decade<sup>-1</sup>) may have been necessary to offset the negative climatic trend in the state (-0.23 t ha<sup>-1</sup> decade<sup>-1</sup>). These effects, added to the positive trend of the CO<sub>2</sub> effect (0.21 t ha<sup>-1</sup> decade<sup>-1</sup>) resulted in the observed net increase of 0.19 t ha<sup>-1</sup> decade<sup>-1</sup>.

**KEY WORDS:** climatetrends, soybeans, Rio Grande do Sul

## **INTRODUÇÃO**

Avanços tecnológicos como a adoção de práticas de fertilização mais eficientes e o desenvolvimento de novas variedades e métodos de controle de pragas são geralmente tomados como a principal causa da melhoria do rendimento das lavouras (STEVENSON et. al., 2013). Porém, o papel da variabilidade do clima e do aumento das concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> nesse aumento de produtividade em larga escala tem sido relativamente pouco estudado.

Um estudo baseado em modelos empíricos da relação clima-produtividade (LOBELL et. al. 2008) indicou que a variabilidade climática experimentada pelo Brasil nas últimas décadas pode ter tido um impacto negativo na produtividade de soja. Ao mesmo tempo, é sabido que concentrações maiores de CO<sub>2</sub> na atmosfera exercem um efeito positivo sobre a fotossíntese, o que pode resultar em aumentos de produtividade, e essa concentração aumentou em aproximadamente 50 ppm nos últimos 30 anos. (KIMBALL et. al., 2002; SAKURAI et. al., 2014).

O efeito combinado do CO<sub>2</sub> e do clima pode ser positivo ou negativo, acelerando ou desacelerando o crescimento da produtividade. Com o desafio de se alimentar 9 bilhões de pessoas em 2050 (GODFRAY et. al., 2010), e indicações de que a produtividade agrícola mundial está crescendo cada vez mais devagar (RAY et. al., 2012; ALSTON et. al., 2009), uma maior compreensão das causas das mudanças na produtividade em larga escala pode ser crucial para o desenvolvimento e priorização de políticas agrícolas.

Nas últimas décadas, o Brasil apresentou um aumento expressivo na produção de soja, se consolidando como um dos maiores produtores do mundo. Boa parte desse aumento pode ser atribuído à expansão da área de cultivo da soja, principalmente em direção ao norte, mas as últimas duas décadas também viram um aumento expressivo na produtividade nacional, de 1,7 t ha<sup>-1</sup> em 1990 para 2,8 t ha<sup>-1</sup> em 2013, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O objetivo deste trabalho é estimar, usando um modelo mecanístico de ecossistemas agrícolas, a contribuição dos fatores clima, CO<sub>2</sub> e avanços tecnológicos na produtividade de soja observada pelo IBGE no estado do Rio Grande do Sul de 1990 a 2008. O estado foi um dos primeiros a adotar a cultura da soja e, apesar de ter perdido importância no cenário produtor para os estados do Centro Oeste e Nordeste nos últimos anos, em 2013 ainda representava 15% da produção brasileira.



## 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*



### MATERIAIS E MÉTODOS

#### Descrição do modelo e dados climáticos

Para isolar os efeitos do clima e do CO<sub>2</sub> na produtividade, foi utilizado o Modelo Integrado de Processos Superficiais (INLAND), que se baseia no Agro-IBIS (KUCHARIK e BRYE, 2003). Enquanto muitos dos modelos de culturas agrícolas disponíveis foram feitos para trabalhar em escalas de fazenda (~100 m<sup>2</sup>) ou de agricultura de precisão (5 m<sup>2</sup>), o módulo agrícola do INLAND foi idealizado para trabalhar em escalas maiores e operar com grades especializadas, como grades de 0,5° X 0,5° (~2500 m<sup>2</sup>, KUCHARIK e BRYE, 2003). Devido a limitada disponibilidade de dados climáticos espacializados diários, necessários para representar o curto ciclo da soja, a resolução usada no estudo foi de 1,0° X 1,0°.

O INLAND é um modelo essencialmente mecanístico, incluindo representações explícitas dos processos físicos superficiais e do solo (trocas de energia, água e momento entre o solo, a vegetação e a atmosfera), fisiologia do dossel (fotossíntese, condutância e respiração dos diferentes órgãos), balanço de carbono (produtividade primária líquida, respiração do solo e decomposição da matéria orgânica), fenologia da cultura (crescimento e emergência de folhas, fase reprodutiva e senescência), transporte de solutos (percolação de nitrogênio inorgânico) e algumas opções de manejo, como aplicação de fertilizantes, alteração da data de plantio e graus-dia (GD) até a maturação (KUCHARIK et. al., 2000; KUCHARIK e BRYE, 2003).

A representação explícita da fotossíntese a nível de folha e fisiologia é particularmente importante para a estimativa do efeito do CO<sub>2</sub>, que é indiretamente influenciado por fatores ambientais como temperatura, pressão de vapor do ar e disponibilidade de água no solo. (SAKURAI et. al., 2014)

De modo a representar a variabilidade climática no estado, foram utilizados dados meteorológicos espacializados do *TerrestrialHydrologyResearchGroup* da Universidade de Princeton (SHEFFIELD, 2015). Os dados diários de precipitação, velocidade do vento, umidade específica do ar e temperatura média, máxima e mínima, com resolução espacial de 1,0° X 1,0°, foram utilizados para forçar o modelo no período de 1948 a 2008, sendo os anos de 1948 a 1988 usados apenas como spinup, e o período de estudo começa no de 1990 (referente a safra 1989/1990) e termina em 2008 (referente a safra 2007/2008).

#### Delineamento experimental

A data de plantio e a duração do ciclo da cultura (escolha de cultivares mais tardios ou mais precoces) são parâmetros fundamentais para determinar a produtividade, já que influenciam em quais condições ambientais a planta será submetida. A alteração desses parâmetros é uma das mais simples e eficaz estratégia de adaptação a mudanças no clima que os agricultores utilizam (SACKS et. al., 2010). Devido a ausência de dados anuais de datas de plantio praticadas, utilizamos uma abordagem similar à do modelo DayCent (STEHFEST et. al., 2007).

Foram realizadas simulações para todos os anos usando todas as combinações entre 10 datas de plantio (15/09, 25/09, 05/10, 15/10, 25/10, 05/11, 15/11, 25/11, 05/12 e 15/12) e 5 durações do ciclo (1500, 1600, 1700, 1800 e 1900 GD). Assumindo-se que os agricultores em todos os anos tomaram a decisão que maximizaria a produtividade, a produtividade de cada célula de grade foi considerada como a maior dentre as simulações.

Para estimar o efeito do CO<sub>2</sub>, esse procedimento foi realizado para duas concentrações fixas de CO<sub>2</sub>, 310 e 390 ppm.

## Atribuição de causas

A tendência da produtividade observada (OBS) foi estimada usando um modelo de regressão linear simples sobre as produtividades anuais obtidas no sistema SIDRA do IBGE ( $Y_{OBS}$ ), com os parâmetros estimados usando o método dos mínimos quadrados (WILKS, 1995):

$$Y_{OBS} = \beta_0 + OBS t \quad (1)$$

Onde  $t$  é o tempo em anos (1990 a 2008) e  $\beta_0$  é o coeficiente linear da reta. A tendência observada OBS foi considerada como a soma dos efeitos do clima (CLI),  $CO_2$  ( $CO_2$ ) e dos avanços tecnológicos (TEC), que inclui tanto a adoção de tecnologia, como maior uso de fertilizantes, pesticidas e máquinas, como o desenvolvimento de novas tecnologias.

$$OBS = CLI + CO_2 + TEC \quad (2)$$

O efeito do clima foi estimado de maneira semelhante à tendência observada, porém usando as médias de todo o estado das produtividades simuladas com 310 ( $Y_{310}$ ) e 390 ppm ( $Y_{390}$ ) na regressão. O efeito estimado do clima foi então considerado como sendo a média entre os coeficientes angulares obtidos com 310 ( $CLI_{310}$ ) e 390 ppm ( $CLI_{390}$ ).

$$Y_{310} = \beta_0 + CLI_{310} t \quad (3)$$

$$Y_{390} = \beta_0 + CLI_{390} t \quad (4)$$

$$CLI = \frac{CLI_{310} + CLI_{390}}{2} \quad (5)$$

O efeito médio do  $CO_2$  por ppm foi estimado fazendo-se a diferença média entre todos os anos de  $Y_{390}$  e  $Y_{310}$  e dividindo pela diferença de concentrações ( $90 - 10 = 80$  ppm). O efeito do  $CO_2$  na tendência observada foi então obtido multiplicando-se esse valor pelo aumento na concentração atmosférica observado no período 1990-2008 de  $1.78 \text{ ppm ano}^{-1}$  (KEELING et. al., 2009).

$$CO_2 = 1.78 \frac{\text{média}(Y_{390} - Y_{310})}{90 - 10} \quad (6)$$

O efeito da tecnologia (TEC) foi então obtido usando a Equação (2).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

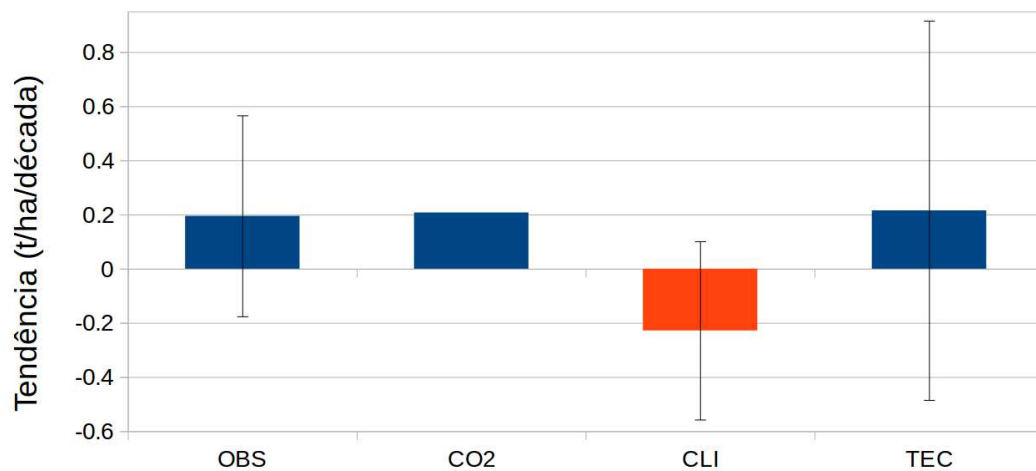
Os resultados das regressões com intervalos de confiança de 5% a 95% estão apresentados na Figura 2. Os valores de  $R^2$  foram menores que 0,1 nos três casos. Devido à forte variabilidade interanual, tanto dos dados observados como no resultados das simulações, as tendências não foram significativas ao nível 10%.

Analisando as médias das tendências, os valores mais prováveis, vemos que a magnitude dos efeitos do clima,  $CO_2$  e tecnologia tem aproximadamente a mesma magnitude da tendência observada (Figura 1). O efeito do clima foi negativo e o mais expressivo, indicando uma redução na produtividade de  $0,23 \text{ t ha}^{-1} \text{ década}^{-1}$ . A efeito de fertilização por  $CO_2$  encontrado foi de  $0,21 \text{ t ha}^{-1} \text{ década}^{-1}$ , ainda maior que a tendência observada de  $0,20 \text{ t ha}^{-1} \text{ década}^{-1}$ . A tendência tecnológica calculada foi de  $0,21 \text{ t ha}^{-1} \text{ década}^{-1}$ .

*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

O efeito do clima encontrado é muito mais intenso do que o estimado em Lobell et. al. (2008) usando modelos empíricos, onde o efeito negativo do clima para o Brasil como um todo equivalia a aproximadamente 10% do aumento observado na média do país. Porém, além do período e extensão desse estudo serem diferentes, os autores não avaliaram o efeito do CO<sub>2</sub> e este permaneceu incorporado na tendência observada.

Esses resultados indicam que o clima pode ter tido uma influência negativa na produtividade de soja do estado da mesma magnitude dos aumentos observados. Essa influência negativa foi compensada em parte pelo efeito do aumento do CO<sub>2</sub> no período, em parte por avanços tecnológicos que permitiram às lavouras se adaptarem às mudanças no clima. O crescimento na produtividade média do estado observado de 0,20 t ha<sup>-1</sup> década<sup>-1</sup> pode ter sido o resultado do que restou dos dois efeitos.



**Figura 1.** Tendência observada na produtividade (OBS) e seus componentes do efeito do CO<sub>2</sub> (CO2), clima (CLI) e tecnologia (TEC) e intervalos de confiança das regressões (90%).

## CONCLUSÕES

Os resultados sugerem que o impacto das tendências climáticas na produtividade de soja do Rio Grande do Sul foi fortemente negativo, da magnitude dos aumentos observados. Avanços tecnológicos e o aumento da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> aparentemente tiveram um papel importante na compensação desse impacto.

Estudos futuros comparando esses componentes em outras regiões podem ser importantes para identificar áreas onde o clima exerce diferentes influências, dando suporte a políticas de direcionamento de pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALSTON, J. M. et. al. Agriculture. Agricultural research, productivity, and food prices in the long run. **Science (New York, N.Y.)**, 2009.

GODFRAY, H. C. J. et. al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science (New York, N.Y.)**, v. 327, n. 5967, p. 812–8, 2010.



## 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*



KEELING, R. F. et.al. **Atmospheric CO<sub>2</sub> records from sites in the SIO air sampling network.** Oak Ridge, TN: [s.n.].

KIMBALL, B. A. et.al. Responses of agricultural crops of free-air CO<sub>2</sub> enrichment. **Advances in Agronomy**, v. 77, p. 293–368, 2002.

KUCHARIK, C. J. Evaluation of a Process-Based Agro-Ecosystem Model (Agro-IBIS) across the U.S. Corn Belt: Simulations of the Interannual Variability in Maize Yield. **Earth Interactions**, v. 7, n. 14, p. 1, 2003.

KUCHARIK, C. J.; BRYE, K. R. Integrated Biosphere Simulator (IBIS) Yield and Nitrate Loss Predictions for Wisconsin Maize Receiving Varied Amounts of Nitrogen Fertilizer. **Journal of Environmental Quality**, v. 32, p. 247-268, 2003.

KUCHARIK, C. J. et. al. Testing the performance of a dynamic global ecosystem model: Water balance, carbon balance, and vegetation structure. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 14, p. 795-825, 2000.

LOBELL, D. B. et.al. J. Climate trends and global crop production since 1980. **Science (New York, N.Y.)**, v. 333, n. 6042, p. 616–20, 2011.

RAY, D. K. et. al. A. Recent patterns of crop yield growth and stagnation. **Nature communications**, v. 3, p. 1293, 2012.

SACKS, W. J. et.al. Crop planting dates: an analysis of global patterns. **Global Ecology and Biogeography**, p. no–no, 2010.

SAKURAI, G. et.al. How much has the increase in atmospheric CO<sub>2</sub> directly affected past soybean production? **Scientific reports**, v. 4, p. 4978, 2014.

STEHFEST, E. et.al. J. Simulation of global crop production with the ecosystem model DayCent. **Ecological Modelling**, v. 209, n. 1993, p. 203–219, 2007.

STEVENSON, J. R. et.al. M. Green Revolution research saved an estimated 18 to 27 million hectares from being brought into agricultural production. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, n. 21, p. 8363–8, 2013.