

Área 17 – Desenvolvimento Rural e Local

A aplicação de uma modelagem unificadora para analisar o efeito das mudanças climáticas sobre a produtividade da soja incluindo adaptação

Caio H. M. S. Baptista – Doutorando em Economia Aplicada (UFJF/PUC-Rio)

Fábio Rodrigues de Moura – Professor Adjunto do Departamento de Economia (UFS)

Weslem Rodrigues Faria – Professor Adjunto do Departamento de Economia (UFJF)

Área 17 – Desenvolvimento Rural e Local

A aplicação de uma modelagem unificadora para analisar o efeito das mudanças climáticas sobre a produtividade da soja incluindo adaptação

RESUMO

O presente artigo utiliza uma metodologia unificadora para analisar o efeito das mudanças climáticas sobre a produtividade da soja. A metodologia busca unir as duas principais vertentes da literatura, a abordagem Ricardiana e a de função de produção, com o intuito de corrigir o viés de adaptação e de variável omitida. O modelo unificador foi aplicado para analisar como as mudanças climáticas afetam a produtividade da soja dos 8 maiores estados produtores da cultura no Brasil. Os resultados mostram efeitos positivos dos choques climáticos e da norma climática sobre a produtividade da soja nos estados analisados. Como esperado, o efeito da norma climática é maior que o efeito encontrado no modelo *cross-section*, e o efeito dos choques climáticos de curto prazo são muito semelhantes aos encontrados pelo modelo de *fixed effects*.

Palavras-chave: mudanças climáticas, adaptação, produtividade da soja.

Abstract

This article uses a unifying methodology to analyze the effect of climate change on soybean productivity. The methodology seeks to unite the two main strands of the literature, the Ricardian approach and the production function approach, in order to correct the adaptation bias and the omitted variable. The unifying model was applied to analyze how climate change affects soybean productivity in the 8 largest soybean producing states in Brazil. The results show positive effects of climate shocks and climate norm on soybean productivity in the analyzed states. As expected, the effect of the climate norm is greater than the effect found in the cross-section model, and the effect of short-term climate shocks are very similar to those found by the fixed effects model.

Keywords: climate change, adaptation, soybean productivity.

Journal of Economic Literature (JEL): Q54

1. INTRODUÇÃO

Qual o papel da adaptação na mitigação/amplificação do efeito das mudanças climáticas sobre a produção agrícola? Os estudos já desenvolvidos na área clima-produto agrícola convergem para fortes evidências de que o aumento da temperatura e da precipitação, como consequência do aquecimento global, em geral, serão prejudiciais para a produção agrícola. Porém, como os produtores vão reagir a essas mudanças, qual o efeito dessa reação e sua heterogeneidade no que diz respeito a cada cultura e região, ainda é incerto.

A literatura econômica que busca analisar o efeito das mudanças climáticas sobre a produção agrícola se divide em duas principais vertentes. A primeira vertente, e mais comum, é a abordagem de função de produção que utiliza as variáveis climáticas como *inputs* e a produção de determinada cultura agrícola como *output* (Callaway *et al.*, 1982; Adams (1989), Flávia e Assunção, (2016)). Segundo Mendelsohn *et. al.* (1994) essa abordagem sofre de viés de adaptação ou viés de “*dumb farmer*”, pois não considera a infinita variedade de substituições, adaptações e atividades antigas e novas que podem substituir atividades não mais vantajosas à medida que as mudanças climáticas ocorrem, e com isso sobrestima os efeitos das mudanças climáticas sobre a produção agrícola. A segunda vertente, é a abordagem Ricardiana (Mendelsohn *et. al.*, (1994); Sanghi e Mendelsohn, (2008), Deressa e Hassan, (2009)), que ao questionar o viés de adaptação na abordagem de função de produção, propõe utilizar o valor da terra e a receita agrícola como *outputs*, com o argumento de que dessa forma é possível captar o impacto direto do clima sobre as diferentes culturas, assim como substituição de insumos e outras adaptações as mudanças climáticas.

Porém, a abordagem Ricardiana também tem pontos negativos, Mendelsohn (1994) enfatiza que uma preocupação é a que os efeitos climáticos podem não ser robustos ao longo do tempo, e que fatores econômicos e climáticos em determinado ano podem distorcer os resultados. Como a abordagem Ricardiana captura os efeitos de longo prazo, os autores Sanghi e Mendelsohn (2008) reconhecem que a técnica não captura custos de transação, nem distingue resiliência de curto prazo da adaptação de longo prazo, portanto, os resultados não representam medidas de ajustes dinâmicos, e sim, uma comparação entre os produtos de equilíbrio (com e sem mudança climática). Além disso, a abordagem assume que os preços são constantes, o que introduz um viés na análise, sobrestimando os benefícios e danos (Sanghi e Mendelsohn, 2008). Dado que a abordagem depende de uma variação *cross-section*, outra desvantagem é a impossibilidade de considerar fatores que determinam o produto e a renda da terra (qualidade do solo, etc), o que pode levar a uma confusão entre os efeitos climáticos e outros fatores, consequentemente resultando em viés de variável omitida (Deschenes e Greenstone, 2007).

Este artigo tem como objetivo corrigir tanto o problema de variável omitida quanto o problema de adaptação presente nos modelos que estimam a relação entre mudanças climáticas e produção agrícola. A metodologia proposta por Bento *et. al.* (2020) possibilita modelar os efeitos de variabilidade climática e das mudanças climáticas dentro de um modelo de efeitos fixos, e assim, permite solucionar tanto o viés de variável omitida quanto o viés de adaptação. A partir disso, o trabalho tem como objetivo analisar qual o efeito das mudanças climáticas sobre a produtividade agrícola dos municípios dos 8 maiores estados produtores de soja do Brasil entre o período de 2002 a 2020, utilizando uma memória climática de 20 anos, 1981 a 2001.

O artigo é dividido em 4 seções. A segunda seção expõe a fonte dos dados utilizados, descreve brevemente os principais modelos estimados até agora na literatura, e posteriormente desenvolve o modelo proposto. A terceira seção discute os resultados e a quarta conclui.

3. METODOLOGIA

3.1 Dados

Os dados de produtividade da soja (razão toneladas e área plantada) foram coletados no IBGE-SIDRA em nível municipal. As variáveis climáticas, precipitação média mensal em milímetros e temperatura média mensal em graus Celsius foram extraídas do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) por meio da base de dados de sensoriamento remoto ERA-land (*reanalysis*). Como os dados climáticos de sensoriamento remoto são disponibilizados por grids de 0.1 x 0.1 graus de latitude e longitude, foi necessário determinar quais níveis de precipitação e temperatura representariam um determinado município dentre todos os grids presentes em seus limites geográficos. Para isso, optou-se por adotar um método de *Inverse Distance Weighted Interpolation* com potência 2 para determinar quais os níveis de precipitação e temperatura dos centróides municipais.

3.2 Revisão de Métodos

Existem duas vertentes metodológicas distintas que buscam investigar o efeito das mudanças climáticas sobre a produção agrícola. A primeira vertente, estima um modelo com dados *cross-section*, em um ponto no tempo, para explorar a variação climática entre os locais e estimar o efeito das mudanças climáticas sobre a produção agrícola captando a adaptação, porém, essa modelagem sofre de viés de variável omitida pela impossibilidade de inclusão da heterogeneidade não observada (por exemplo, Callaway *et al.*, 1982; Mandelsohn, Norhaus, Shaw, 1994). Essa vertente estima a seguinte equação:

$$y_i = \alpha + \beta_{CS}x_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$\varepsilon_i = \mu_i + \epsilon_i \quad (2)$$

Onde y_i é a produtividade do município i em um dado período de tempo, e x_i a variável climática, precipitação e temperatura. A presença da heterogeneidade não observada μ_i no termo de erro ε_i pode causar viés caso as características dos indivíduos sejam correlacionadas com a variável climática de interesse.

Por outro lado, a segunda vertente (por exemplo, Deschenes and Greenstone, 2017; Shlenker and Roberts, 2009) estima um modelo de dados em painel com *efeitos fixos* buscando aproveitar a variação climática tanto no espaço geográfico quanto no tempo, o que possibilita considerar a heterogeneidade não observada dos municípios por meio dos efeitos fixos no tempo. Todavia, essa modelagem impossibilita captar a adaptação dos produtores frente as mudanças tecnológicas e climáticas. O modelo de efeitos fixos estima a seguinte equação:

$$y_{it} = \alpha + \beta_{FE}x_{it} + \mu_i + \lambda_t + \epsilon_{it} \quad (3)$$

Em que y_{it} é a produtividade do indivíduo i no período t , x_{it} é a temperatura ou precipitação no local do indivíduo i no período t e μ_i e λ_t são os efeitos fixos de indivíduo e tempo, respectivamente. A ideia a partir do modelo de efeitos fixos para estimar β_{FE} é transformar a equação acima para eliminar o μ_i . Essa transformação é chamada de *within transformation* e é obtida por calcular a média das variáveis para cada indivíduo i do período T e posteriormente subtrair cada observação de sua média:

$$\bar{y}_i = \beta_{FE}\bar{x}_i + \mu_i + \bar{\epsilon}_i \quad (4)$$

e

$$y_{it} - \bar{y}_i = \beta_{FE}(x_i - \bar{x}_i) + (\mu_i - \mu_i) + (\epsilon_{it} - \bar{\epsilon}_i) \quad (5)$$

ou

$$\dot{y}_{it} = \beta \ddot{x}_{it} + \ddot{\epsilon}_{it} \quad (6)$$

Posteriormente, sem a presença do efeito fixo, a equação acima pode ser estimada via *Pooled OLS*. Porém, vale ressaltar que o coeficiente β está captando o efeito do desvio das variáveis climáticas de suas respectivas médias do período temporal de análise para cada localidade. Dessa forma, o modelo de efeitos fixos capta o efeito da variabilidade climática e não o efeito das mudanças climáticas sobre a produtividade.

3.3 Método proposto

O presente artigo busca lidar com 2 potenciais vieses existentes nos modelos presentes na literatura: viés de variável omitida e viés de adaptação. A especificação do modelo proposto por Bento et. al. (2020) oferece uma solução alternativa ao *trade-off* viés variável omitida e viés adaptação e representa na mesma equação os efeitos meteorológicos e climáticos.

$$y_{it} = \alpha + \beta_W(x_{it} - \bar{x}_i) + \beta_C \bar{x}_i + \mu_i + \lambda_t + \epsilon_{it} \quad (7)$$

Caso fosse possível estimar este modelo, seria possível identificar os efeitos da variabilidade climática por meio de β_W , e o efeito climático de longo prazo via β_C , pois a presença do efeito fixo elimina o viés de variável omitida. Contudo, é impossível estimar essa equação, pelo fato de haver colinearidade perfeita entre \bar{x}_i e μ_i . A partir disso, os autores Bento et. al. (2020) propuseram o seguinte modelo:

$$y_{it} = \alpha + \beta_W(x_{it} - \bar{x}_{i\bar{p}}) + \beta_C \bar{x}_{i\bar{p}} + \mu_i + \lambda_s + \epsilon_{it} \quad (8)$$

Em que $\bar{x}_{i\bar{p}}$ é a média móvel da variável x_i em um período mais agregado do que t , e λ_s é um efeito fixo de tempo mais agregado do que p . Além disso, a tomada de decisão dos agentes acontece com um *gap* temporal, por isso a média móvel de variável x_i é inclusa com *lag* de um período. Com isso, a variação em $\bar{x}_{i\bar{p}}$ tem duas fontes distintas. A primeira fonte ocorre com a variação de x_{it} dentro do período \bar{p} e a segunda fonte é proveniente da variação móvel de \bar{p} ao longo do tempo. Seguindo a *within transformation*, é calculada a média do modelo acima:

$$\bar{y}_i = \alpha + \beta_W(\bar{x}_i - \bar{x}_i) + \beta_C \bar{x}_i + \mu_i + \bar{\epsilon}_i = \alpha + \beta_C \bar{x}_i + \mu_i + \bar{\epsilon}_i \quad (9)$$

E novamente subtraindo 1 de 2 tem-se:

$$y_{it} - \bar{y}_i = \beta_W(x_{it} - \bar{x}_{i\bar{p}}) + \beta_C(\bar{x}_{i\bar{p}} - \bar{x}_i) + (\epsilon_{it} - \bar{\epsilon}_i) \quad (10)$$

Com esse modelo é possível identificar β_W , que capta o efeito da variabilidade climática sobre $y_{it} - \bar{y}_i$, e aproximadamente equivale a β_{FE} . Da mesma forma, é possível identificar β_C , que capta o efeito das mudanças climáticas ao longo do tempo sobre $y_{it} - \bar{y}_i$, e se aproxima-se de β_{CS} , porém, sem o viés de variável omitida, que foi excluído pela inclusão e diferenciação do efeito fixo. Assim, a adaptação pode ser representada pela diferença entre $\beta_W - \beta_C$, e pelo

fato de os coeficientes serem estimados conjuntamente, é possível haver inferência sobre a adaptação.

4. RESULTADOS

As estimações dos modelos (1), (6) e (10) são apresentadas na tabela 1 abaixo. O modelo *cross-section* foi estimado para o ano de 2020 e inclui as variáveis de temperatura, precipitação e efeitos fixos de estado. O modelo de *fixed effects* é estimado para o período de 2002 a 2020 e inclui temperatura, precipitação e efeitos fixos de biênio. Da mesma forma, o modelo *unifying* é estimado para o período de 2002 a 2020 e inclui os desvios das médias mensais da safra vigente da média móvel das médias mensais da safra de temperatura e precipitação e os *lags* das médias móveis mensais de safra da temperatura e precipitação, e efeitos fixos de biênio, conforme a equação (10).

Tabela 1 – Resultados dos três modelos

	<i>Unifying</i>	<i>Fixed-Effects</i>	<i>Cross-Section</i>
Temperatura (desvio)	0.197*** (0.006)	0.166*** (0.006)	
Precipitação (desvio)	0.469*** (0.008)	0.448*** (0.008)	
Média temperatura	1.677*** (0.061)		0.011*** (0.004)
Média precipitação	1.152*** (0.107)		0.420*** (0.022)
Observações	33,891	33,891	2,091
R-quadrado	0.54	0.55	0.17

Fonte: Elaboração própria

Notas:

- Os asteriscos denotam o nível de significância: *** 1%; ** 5%; * 10%.
- Erros-padrão entre parênteses.

A princípio, é possível observar um efeito positivo da temperatura e precipitação sobre a produtividade da cultura da soja nos oito maiores estados produtores do Brasil. E conforme esperado, o efeito das mudanças climáticas captado pelo modelo *cross-section* é muito menor do que o captado pelo modelo *unifying*, indicando um possível viés e subestimação do efeito positivo da mudança climática sobre a produtividade. Por outro lado, os coeficientes de variabilidade climática estimados no modelo de *fixed effects* e *unifying* são muito semelhantes.

Tabela 2 – Teste de significância da diferença dos coeficientes

(Log) Produtiv.	Coef.	t	P-value	95% - CI	
Temperatura	-1.479* (0.059)	-24.73	0.000	-1.596	-1.362
Precipitação	0.682 (0.105)	-6.47	0.000	0.889	0.475

Fonte: Elaboração própria

Notas:

- Os asteriscos denotam o nível de significância: *** 1%; ** 5%; * 10%.
- Erros-padrão entre parênteses.

A tabela 2 exibe os resultados para o teste de subtração dos coeficientes $\beta_W - \beta_C$. A diferença dos coeficientes é significativa a 10% e uma diferença negativa indica que o efeito da variabilidade climática sobre a produtividade da soja é menor do que o efeito das mudanças climáticas.

Nesse caso, como a variável de produtividade é observada sazonalmente (por safra) e no curto prazo as decisões de produção são feitas com antecedência, as colheitas não podem ser alteradas dado que já foram plantadas. Com isso, o efeito da variabilidade climática pode ser entendido como o efeito dos choques sazonais climáticos sobre a safra de crescimento da cultura. Por outro lado, o efeito de longo prazo pode ser entendido como o efeito da mudança das normas climáticas sobre a produtividade ao longo de anos ou décadas.

Portanto, os resultados sugerem que o efeito da variabilidade climática, temperatura e precipitação, sobre o período de crescimento da cultura são positivos, ou seja, um aumento da média mensal de temperatura e precipitação durante o período da safra da soja está tendo um efeito positivo sobre a produtividade. Da mesma forma, o efeito das normas climáticas sobre a produtividade é positivo, mostrando que um aumento das normas climáticas de longo prazo pode possivelmente ter um efeito positivo sobre a produtividade da soja na região de análise. Além disso, o coeficiente de longo prazo é maior do que o coeficiente de curto prazo, indicando que os produtores estão se adaptando e implementando novas tecnologias que estão amplificando os efeitos positivos das mudanças climáticas sobre a produtividade da soja.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou analisar qual o efeito das mudanças climáticas sobre a produtividade da soja nos 8 maiores estados produtores do Brasil. Duas vertentes teóricas buscam analisar qual a relação entre as mudanças climáticas e a produtividade agrícola na literatura econômica recente, a Ricardiana e a de função de produção. A metodologia proposta busca unir ambas as metodologias e corrigir o viés de adaptação e o viés de variável omitida.

Com base nos resultados, é possível observar um efeito positivo dos choques climáticos de curto prazo, temperatura e precipitação, sobre a produtividade da soja nos municípios dos estados observados. Além disso, os resultados também sugerem que um aumento das normas climáticas impacta positivamente a produtividade da cultura no longo prazo. A diferença entre os coeficientes de curto e longo prazo representa uma medida de adaptação, e nesse caso, como ambos os coeficientes são positivos, pode ser entendida como uma “adaptação” dos produtores ao aumento das normas climáticas, de tal forma que um aumento da média de temperatura e precipitação de longo prazo em conjunto com técnicas e tecnologias implementadas no processo de produção agrícola podem estar aprimorando a produção da cultura e amplificando o efeito positivo das mudanças climáticas sobre a produtividade da soja.

Os resultados positivos dos efeitos de curto e longo prazo divergem em partes dos resultados encontrados em outros trabalhos aplicados para o setor agrícola no Brasil (Flávia e Assunção, (2016), Sanghi e Mendelsohn, (2008)). Os resultados encontrados por Sanghi e Mendelsohn (2008) mostram que um aumento de 2°C e 7% de precipitação tem efeitos heterogêneos sobre o valor da terra ao longo dos municípios do Brasil, em que os efeitos são positivos na maioria dos municípios do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, e em parte dos municípios do Paraná. No mesmo caminho, Flávia e Assunção (2016) chegam a evidências de que o aumento de 6.57% na média de temperatura e um decréscimo de 0.71% na precipitação afetam negativamente a produtividade agrícola para quase todos os estados do Brasil, com exceção de Santa Catarina. Porém, vale a pena ressaltar que os resultados encontrados na presente pesquisa são referentes a cultura da soja e a região dos oito maiores estados produtores do Brasil, que são fortemente especializados no plantio da cultura. Para futuras pesquisas vale ressaltar a importância de estimar o mesmo modelo para todo o território brasileiro e para outras culturas agrícolas.

REFERÊNCIAS

CALLAWAY, J.M. **An Analysis of Methods and Models for Assessing the Direct and**

MENDELSON, R.; NORDHAUS, W. D.; SHAW, D. The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis. **The American economic review**, p. 753-771, 1994.

Sanghi, A. and R. Mendelsohn (2008), 'The impacts of global warming on farmers in Brazil and India', *Global Environmental Change* 18: 655–665.

ASSUNÇÃO, Juliano; CHEIN, Flavia. Climate change and agricultural productivity in Brazil: future perspectives. **Environment and Development Economics**, v. 21, n. 5, p. 581-602, 2016.

SCHLENKER, Wolfram; ROBERTS, Michael J. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change. **Proceedings of the National Academy of sciences**, v. 106, n. 37, p. 15594-15598, 2009.

DESCHÊNES, Olivier; GREENSTONE, Michael. The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. **American economic review**, v. 97, n. 1, p. 354-385, 2007.

DERESSA, Temesgen Tadesse; HASSAN, Rashid M. Economic impact of climate change on crop production in Ethiopia: Evidence from cross-section measures. **Journal of African economies**, v. 18, n. 4, p. 529-554, 2009

BENTO, Antonio et al. **A unifying approach to measuring climate change impacts and adaptation**. National Bureau of Economic Research, 2020.