

Efeitos espaciais da adoção de sementes GM no Brasil

Spatial effects of GM seed adoption in Brazil

Pablo Miranda Guimarães

UFFRJ. Três Rios, Rio de Janeiro (RJ), Brasil

João Felema

UFG. Goiânia, Goiás (GO), Brasil

Humberto Francisco Silva Spolador

ESALQ/USP. Piracicaba, São Paulo (SP), Brasil

GT 12 -Impactos socioambientais das novas tecnologias no agronegócio

Resumo: Este trabalho analisa os efeitos da adoção de sementes geneticamente modificadas sobre o Valor Bruto da Produção agropecuária nos municípios brasileiros, com base nos Censos Agropecuários de 2006 e 2017. Para isso foi estimado um modelo espacial, com matriz de contiguidade tipo *queen*, para captar possíveis *spillovers* entre municípios vizinhos. Os resultados indicam forte dependência espacial e mostram que o aumento da área colhida com sementes GM eleva o VBP, sugerindo que a difusão tecnológica exerce papel relevante no desempenho produtivo municipal. Conclui-se que a adoção de GM gera efeitos diretos e indiretos, reforçando sua importância para a produtividade agrícola brasileira.

Palavras-chave: Biotecnologia, Econometria Espacial, Produtividade Agropecuária, Brasil

Abstract: This study analyzes the effects of genetically modified seed adoption on Agricultural Gross Production Value in Brazilian municipalities, using data from the 2006 and 2017 Agricultural Censuses. A spatial econometric model with a queen contiguity matrix is employed to capture spillover effects across neighboring municipalities. The results reveal strong spatial dependence and show that a larger harvested area with GM seeds increases VBP, indicating that technological diffusion plays an important role in municipal agricultural performance. The study concludes that GM adoption generates both direct and indirect effects, underscoring its relevance for Brazilian agricultural productivity.

Keywords: Biotechnology, Spatial Econometrics, Agricultural Productivity, Brazil.

1. Introdução

A adoção de tecnologias de sementes geneticamente modificadas (GM) representa um marco na evolução da agricultura brasileira, impulsionando a produtividade e gerando ganhos sociais. Sendo o Brasil um dos países de maior utilização dessa tecnologia, a adoção e disseminação desta foi estratégica para o setor.

Os efeitos de transbordamento espacial (*spatial spillovers*) da adoção tecnológica podem resultar em grande impacto para o crescimento da produtividade agrícola brasileira, multiplicando benefícios para além das fazendas adotantes por meio da difusão de conhecimento, comércio intermunicipal de insumos e capacidade de replicar técnicas. Dada a capacidade de regiões produtivas vizinhas gerarem elasticidades de produtividade até 2,5 vezes maiores do que regiões isoladas, há retornos crescentes de escala espacialmente dependentes (Almeida, 2010). Os estudos recentes de decomposição da produtividade total dos fatores (PTF)

da agropecuária brasileira observaram esses *spillovers* como componentes dominantes na performance do setor, onde interdependências regionais explicam até 35% da variação produtiva (Felema & Spolador, 2023).

Legalmente liberada em 2005, as sementes geneticamente modificadas posicionaram o Brasil como líder global de soja (97% GM) e milho (92% GM), gerando ganhos médios anuais de rendimento de 4,93% (milho) e 2,63% (soja), além de expansão 19 vezes da área cultivada entre 2006-2017. Os efeitos indiretos da adoção dessa tecnologia podem elevar a PTF em municípios, bem como impactos multilaterais comerciais e de redução de custos (CROPLIFE, 2023).

Este entendimento do *spillovers* espaciais e adoção GM é de grande relevância para a agricultura, especialmente para a do Brasil, onde externalidades positivas podem potencializar o impacto de ações de difusão tecnológica. Tecnologias precedentes, como o plantio direto (compartilhamento de plantadeiras, reduzindo a erosão) e a irrigação (otimização do uso da água), validam esse padrão, mas a GM amplifica-o exponencialmente pela escala e pela velocidade de difusão (DE GRAZIA, RADA, GRAFF, 2026).

Diante da tecnologia transformadora das sementes geneticamente modificadas (GM) e a intensidade de seus *spillovers* espaciais na agricultura brasileira, a compreensão de sua magnitude se faz de grande relevância.

Desta maneira, o presente trabalho visa quantificar os impactos da adoção de sementes GM a partir de função de produção espacial, utilizando dados dos Censos 2006-2017, de modo a observar os efeitos transbordamento da adoção tecnológica na agricultura. Desta forma, busca-se preencher lacunas sobre os *spillovers* da tecnologia GM no Brasil, a fim de gerar subsídios para políticas setoriais e de desenvolvimento regional sustentáveis.

2. Metodologia

Este estudo utilizou um painel de dados dos Censos Agropecuários de 2006 e 2017, publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, tendo como unidades espaciais os municípios do Brasil. A variável dependente¹ é o Valor Bruto da Produção (VBP), enquanto que as variáveis explicativas são: estrutura produtiva (área plantada, estoque de capital pecuário, lavoura permanente e mão de obra), adoção de tecnologias (intensidade de tratores, gastos na produção agropecuária e tecnologias geneticamente modificadas²) e características institucionais (acesso à assistência técnica, participação em cooperativas e ensino superior).

¹ As variáveis monetárias foram deflacionadas pelo IGP-DI.

² Percentual da área colhida com sementes geneticamente modificadas.

Para especificação do modelo, seguiu-se o procedimento descrito por Almeida (2012). Inicialmente, verifica-se a correlação espacial pelo I de Moran ao estimar um modelo clássico de regressão linear por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), e testa-se a autocorrelação espacial. Esta abordagem garante que a autocorrelação espacial – seja por interações entre regiões (modelo autorregressivo - SAR) ou por efeitos residuais (modelo de erro - SEM) – seja corretamente identificada e modelada (Elhorst, 2014).

Além dos modelos SAR e SEM é possível incorporar outras dimensões espaciais por meio de modelos com defasagens das variáveis explicativas. Dentre os modelos a serem testados destacam-se o modelo Durbin espacial (SDM), modelo Durbin de erro espacial (SDEM), modelo de defasagem espacial em X (SLX) e o modelo espacial combinado autoregressivo (SAC). A escolha do modelo espacial mais adequado se deu pelo menor critério de informação de Akaike, que considera simultaneamente o ajuste do modelo e sua parcimônia. Para capturar possíveis interdependências entre municípios vizinhos, foi construída uma matriz de pesos espaciais baseada na contiguidade geográfica entre municípios do tipo *queen*.

3. Resultados e Análise de Resultados

A análise dos modelos espaciais, após os teste e verificação dos critérios de informação, indicou o modelo de interação entre as variáveis dependentes das regiões vizinhas, ou seja, o Modelo de Defasagem Espacial (SAR). Na tabela 1 tem-se que o coeficiente lambda de 0,337 é altamente significativo; essa multidirecionalidade da dependência espacial indica que 33,7% da variação no VBP de um município é explicada pelo VBP médio dos vizinhos. Portanto, há *spillovers* espaciais positivos, como a difusão da tecnologia GM.

Tabela 1 - Modelo estimado - SAR

Coefficientes	Estimativa	Std. Error	t-value	Pr(> t)
Lambda	0.33686***	1.16E-02	29.131	< 2.2e-16
Área	0.34522***	1.51E-02	22.8685	< 2.2e-16
Tratores_baixoCV	0.00614	6.24E-03	0.9862	0.324025
Tratores_altoCV	0.05161***	6.65E-03	7.7624	8.34E-15
Despesas	0.23689***	7.56E-03	31.3514	< 2.2e-16
Rebanho	0.08325***	7.77E-03	10.7556	< 2.2e-16
Pés_LP	0.0328***	3.90E-03	8.4053	< 2.2e-16
Trabalho_comLaço	0.00005***	5.47E-06	9.6385	< 2.2e-16
Trabalho_semLaço	0.00001***	2.70E-06	5.1107	2.2E-16
GMO	0.19259***	2.39E-02	8.0417	8.86E-16
Ater	0.09229**	3.32E-02	2.7811	0.005418
Cooperativas	0.03918	3.05E-02	1.2827	0.199602
Educação	1.0505***	1.13E-01	9.337	< 2.2e-16

Fonte: Elaborado pelos autores

A partir do coeficiente estimado da adoção da tecnologia, tem-se que o aumento em 1 pp da área colhida com sementes GM eleva em 1,9% o VBP, ou seja, a adoção dessa tecnologia representa um *shifter* tecnológico. Quando observado os modelos sem a interação espacial, a resposta obtida foi de retornos de 0,59%, mostrando que o efeito da difusão espacial da tecnologia tem relevância.

4. Considerações finais

Os resultados sugerem que a adoção de sementes geneticamente modificadas está associada ao aumento do VBP agropecuário e que esse efeito é potencializado por interdependências espaciais entre os municípios analisados. A significância do modelo SAR indica que a produtividade local também é influenciada pelo desempenho das regiões vizinhas, o que evidencia a presença de *spillovers* tecnológicos. Assim, a difusão da tecnologia GM não atua apenas sobre as unidades adotantes, mas também sobre o seu entorno produtivo. Esses achados reforçam a relevância de políticas setoriais e regionais voltadas para a disseminação tecnológica, e para o fortalecimento da produtividade agrícola de forma integrada

Referências

Almeida, E. Econometria espacial. Campinas: Alínea, 2012.

Elhorst, J. P. Linear spatial dependence models for cross-section data. In: Elhorst, J. P. Spatial econometrics. Heidelberg: Springer, 2014. p. 5–36. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40340-8_2.

CROPLIFE BRASIL. **25 anos de transgênicos no campo**. [S. l.]: CropLife Brasil, 2023. Disponível em: https://static.poder360.com.br/2024/08/Relatorio_CropLife_Brasil_25_Anos_Transgenic_os_2023.pdf. Acesso em: 3 abr. 2026.

DE GRAZIA, Charles; RADA, Nicholas E.; GRAFF, Gregory. **Diffusion of genetically modified crop technology**. WIPO Economic Research Working Papers, [S.l.]: World Intellectual Property Organization - Economics and Statistics Division, 2026. Working Paper n. 93. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/wip/wpaper/93.html>. Acesso em: 7 abr. 2026.

FELEMA, João; SPOLADOR, Humberto Francisco Silva. Dependência espacial na agropecuária brasileira e seus efeitos sobre a produção e a produtividade da terra e do trabalho. **Nova Economia**, v. 32, n. 03, p. 743-774, 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2006. Brasília, DF: IBGE, 2006. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9827-censo-agropecuario.html>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2017. Brasília, DF: IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html>.