Ciência e tecnologia nos ganhos de produtividade da agropecuária

José Eustáquio Ribeiro Vieira Filho
Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasil

Ganhos de produtividade são determinantes no crescimento econômico. Na agropecuária, Brasil foi capaz de construir um importante sistema nacional de inovação, que resultou no crescimento da produtividade total dos fatores (PTF). Como as políticas públicas de inovação interferem no crescimento da produtividade? Por um estudo de séries temporais, buscou-se decompor fatores que influenciaram a PTF na economia paulista. No geral, resultados mostraram que capacitação, pesquisa, extensão e fomento, juntos, causaram a PTF. Na função impulso-resposta, houve impacto positivo na produtividade nas principais variáveis de ciência e tecnologia (C&T). Deve-se concluir que gastos em C&T foram importantes nos ganhos de produtividade.

Palavras-chave. Produtividade, Ciência e tecnologia, Crescimento, Agricultura.
Classificação JEL. C01, O03, O04.

1. Introdução

A mudança tecnológica é um fator determinante para garantir o crescimento econômico (Nelson e Winter, 1982; Dosi, 1984). Desde os anos 70, o Brasil se tornou um exemplo no fomento da ciência e tecnologia aplicadas ao setor agropecuário nacional (Vieira Filho et al., 2005; Vieira Filho e Silveira, 2016; Fishlow e Vieira Filho, 2020). O país tem conseguido ampliar a oferta produtiva, contribuindo assim para o abastecimento dos mercados interno e externo. No Brasil, o setor agropecuário representa mais da metade das exportações nacionais, um quarto do produto interno bruto e um quinto da geração de emprego na economia. Não há dúvidas de que este setor é muito importante no contexto nacional.

Desde a década de 1970, o Brasil foi capaz de construir um importante sistema nacional de inovação no setor agropecuário (Vieira Filho, 2022). O resultado foi o crescimento contínuo da produtividade total dos fatores (PTF). Regionalmente, o estado de São Paulo se mostra como referência na fronteira tecnológica do setor, sendo um dos estados mais inseridos no agronegócio moderno. As exportações paulistas do setor representaram, aproximadamente, 17% do total nacional, enquanto as importações foram de 32% do total brasileiro. Mesmo assim, observou-se, em 2021, um superavit estadual para o agronegócio superior a US$ 13 bilhões de dólares.

José Eustáquio Ribeiro Vieira Filho : jose.vieira@ipea.gov.br
O autor agradece o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) na disponibilização de dados e recursos necessários para a elaboração deste estudo, que foi desenvolvido no âmbito do projeto Pesquisa e Inovação: indicadores, métodos e evidências de impactos.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.
2024 Fundação Getúlio Vargas https://doi.org/10.5935/0034-7140.20240021

Cana, soja, café, laranja, carne bovina e carne de frango foram os produtos mais importantes. De 1974 a 2020, a participação destes produtos saltou de 62% para 82% do valor bruto da produção total do estado. Em 2020, São Paulo figurou como o principal produtor brasileiro de cana e laranja. Nesse período, a área agrícola aumentou, enquanto as pastagens reduziram. O rendimento agropecuário mostrou um contínuo crescimento. Para milho, soja e laranja, o rendimento (toneladas por hectare) cresceu 2,2%, 1,7% e 1,6%, respectivamente. Na pecuária, a taxa de lotação (cabeça por hectare) subiu de 0,9 para 1,7. Ressalta-se que, em 2020, a média nacional ficou de 1,1 cabeças por hectare.

O objetivo deste estudo é o de aprofundar as análises de produtividade e de impacto da pesquisa na dinâmica produtiva. Particularmente, busca-se verificar como as questões de ciência e tecnologia, fundamentalmente na relação das políticas de financiamento da pesquisa, interferem na dinâmica competitiva e produtiva (Thirtle et al., 2008; Alene, 2010; Gasques et al., 2012; Collier e Dercon, 2014; Fuglie, 2018; Rada e Fuglie, 2019). Pretende-se atualizar e revisar o estudo de Araújo et al. (2018).[1]

Este artigo é um estudo de avaliação de impacto da pesquisa na produtividade agrícola de São Paulo, desenvolvido no âmbito do projeto “Pesquisa e inovação: indicadores, métodos e evidências de impactos" (projeto da Fapesp). Para tanto, são apresentadas quatro seções, além dessa breve introdução. A segunda seção expõe a metodologia adotada: i) modelagem econométrica de impacto da ciência e tecnologia (C&T) na produtividade; e ii) base de dados. A terceira seção apresenta a análise e discussão dos resultados, focando no impacto da pesquisa na dinâmica produtiva. Por fim, seguem as considerações gerais do estudo.

2. Metodologia

2.1 *Abordagem econométrica: séries temporais*

Busca-se estimar o modelo Vetorial Autorregressivo (VAR), no intuito analisar as possíveis relações das séries temporais selecionadas, bem como o comportamento da PTF.

O modelo VAR é um sistema de equações simultâneas, que capturam a existência de relações de interdependência entre variáveis. Com tal modelagem, é possível avaliar o impacto de choques estocásticos sobre determinada variável do sistema. O modelo VAR é uma extensão do modelo Autorregressivo (AR), só que para mais de uma série em análise. De forma representativa, o VAR é um modelo no qual K variáveis são especificadas como funções lineares de p de suas próprias defasagens, p defasagens das outras $K-1$ variáveis, e possivelmente variáveis exógenas adicionais. Algebricamente, um modelo VAR de ordem p, que pode ser escrito como VAR(p), com variáveis exógenas $\mathbf{x}_t$, é dado por

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{v} + \mathbf{A}_1\mathbf{y}_{t-1} + \cdots + \mathbf{A}_p\mathbf{y}_{t-p} + \mathbf{B}_o x_t + \mathbf{B}_1\mathbf{x}_{t-1} + \cdots + \mathbf{B}_s\mathbf{x}_{t-s} + \mathbf{u}_t \quad t \in \{-\infty, \infty\}, \qquad (1)$$

[1] Este estudo mensurou a produtividade total dos fatores (PTF) na agricultura paulista e avaliou os investimentos públicos em capital humano. Os principais resultados fizeram parte do projeto de pesquisa que visava estimar a contribuição da Fapesp no desenvolvimento da agricultura do estado de São Paulo.

onde $\mathbf{y}_t = (y_{1t}, \cdots, y_{Kt})'$ é um vetor $K \times 1$; $\mathbf{A}_1$ a $\mathbf{A}_p$ são matrizes de parâmetros $K \times K$; $\mathbf{x}_t$ é um vetor $M \times 1$ de variáveis exógenas; $\mathbf{B}_0$ a $\mathbf{B}_s$ são matrizes de coeficientes $K \times M$; $\mathbf{v}$ é um vetor de parâmetros $K \times 1$; e $\mathbf{u}_t$ é assumido como sendo o ruído branco, ou termo de erro estocástico que tem média igual a zero $(E(\mathbf{u}_t) = 0)$, variância constante $(E(\mathbf{u}_t \mathbf{u}_t')) = \Sigma)$ e covariância nula $(E(\mathbf{u}_t \mathbf{u}_s') = 0)$ para $t \neq s$.

Há $K^2 \times p + K \times (M(S+1)+1)$ parâmetros na equação para $\mathbf{y}_t$, e há $K \times (K+1)/2$ parâmetros na matriz de covariância Σ. Uma forma de reduzir o número de parâmetros é especificar um VAR incompleto, em que algumas matrizes $\mathbf{A}$ ou $\mathbf{B}$ são definidas como zero. Outra opção é especificar restrições lineares em alguns dos coeficientes do VAR.

Os parâmetros representam relações dinâmicas entre as variáveis. Todas as variáveis são endógenas e explicadas de forma dinâmica. O choque ocorre no erro e pode ter efeito contemporâneo sobre a variável. Em um modelo estacionário, os choques se dissipam após alguns períodos. Busca-se estimar também as funções impulso-resposta, que mostram a resposta a choques nas variáveis através de erros aleatórios. Procura-se medir o efeito dos choques no período t sobre os períodos futuros.

Com algumas hipóteses técnicas, é possível derivar outra representação do VAR. Sendo estável o VAR, $\mathbf{y}_t$ pode ser escrito como

$$\mathbf{y}_t = \mu + \sum_{i=0}^{\infty} \mathbf{D}_i \mathbf{x}_{t-i} + \sum_{i-0}^{\infty} \Phi_i u_{t-i}, \tag{2}$$

onde μ é a média invariante $K \times 1$ do processo no tempo, e $\mathbf{D}_i$ e Φ_i são $K \times M$ e $K \times K$ matrizes dos parâmetros, respectivamente. Esta equação mostra que o processo pelo qual as variáveis em $\mathbf{y}_t$ flutuam em torno de suas médias invariantes no tempo é completamente determinado pelos parâmetros em $\mathbf{D}_i$ e Φ_i, assim como pela história passada (infinita) das variáveis exógenas $\mathbf{x}_t$ e pelos choques independentes e identicamente distribuídos (i.i.d) nos erros. Esta é a representação vetorial de média móvel do VAR, no qual $\mathbf{D}_i$ representa as funções de multiplicador dinâmico, ou funções de transferência. Os coeficientes de média móvel Φ_i são conhecidos como as funções de impulso-resposta no horizonte i.

A distribuição conjunta de $\mathbf{y}_t$ é determinada pelas distribuições de $\mathbf{x}_t$ e u_t, bem como pelos parâmetros $\mathbf{v}$, $\mathbf{A}_i$ e $\mathbf{B}_i$. A estimação dos parâmetros do VAR requer que as variáveis $\mathbf{y}_t$ e $\mathbf{x}_t$ sejam estacionárias, o que significa que seus dois primeiros momentos existam e são invariantes no tempo. Se não houver estacionariedade em nível, as variáveis serão diferenciadas até que se tornem estacionárias.

Além disso, para verificar a estacionariedade das séries, empregaram-se os testes de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) e o de Phillips e Perron (Dickey e Fuller, 1979; Phillips e Perron, 1988). No primeiro teste, compara-se o resultado da estatística t com os valores determinados reportados por Dickey-Fuller para determinar se aceita ou se rejeita a hipótese nula. Essa hipótese nula será rejeitada se o valor calculado da estatística t for maior do que o valor crítico de Dickey-Fuller, indicando que a série seja estacionária; caso contrário, a série é não-estacionária. O teste ADF é muito sensível à presença de valores discrepantes (*outliers*). Nesse sentido, utilizou-se o teste de Phillips e Perron, que considera a presença de quebra estrutural nas variáveis.

Com o objetivo de ordenar as variáveis de acordo com o grau de endogeneidade, recorreu-se ao teste de causalidade de Granger (Granger, 1969). É importante avaliar, então, a precedência temporal das variáveis. Se uma variável X ajuda a prever Y; então, diz-se que X causa Y. Deve-se observar que a direção da causalidade é afetada pela inclusão adicional dos termos defasados e os erros das duas equações não devem ser correlacionados, isto é, as variáveis com maior poder de causalidade devem ser inseridas no início da sequência e as variáveis com menor poder de causalidade no final da sequência.

A partir do modelo especificado, dois instrumentais analíticos foram realizados. O primeiro é a decomposição da variância dos erros de previsão, que consiste na separação da variância dos erros de previsão para cada variável em componentes, atribuídos por ela própria e pelas demais variáveis endógenas. Esta decomposição é apresentada em termos percentuais. O segundo é a função impulso-resposta, na qual acompanha o resultado de um choque não antecipado sobre determinada variável tem sobre ela própria e nas demais variáveis pertencentes ao modelo.

2.2 *Base de Dados*

Para fins de avaliação dos gastos em capacidade de absorção tecnológica, pretende-se estudar, mesmo que de forma inicial, o comportamento das séries de tempo dos gastos em fomento, pesquisa, capacitação e extensão rural e associá-lo à trajetória da produtividade. O nexo teórico de causalidade segue a ideia de que investimentos em capacidade de absorção tecnológica influenciam nos ganhos de produtividade e, consequentemente, no aumento da renda dos produtores (Evenson e Kislev, 1973; Cohen e Levinthal, 1989).

O Quadro 1 descreve as variáveis analisadas, em termos de fomento, pesquisa, capacitação e extensão rural, que buscam dimensionar a capacidade de absorção tecnológica estadual de São Paulo. Procurou-se contabilizar gastos relacionados ao fomento de atividades nas áreas de ciências agrárias, à pesquisa agrícola, à capacitação de recursos humanos voltados para a economia rural, bem como à assistência técnica e produtiva do setor agropecuário. A produtividade total dos fatores[2] foi mensurada a partir do índice de Tornqvist, tal como calculada por Gasques et al. (2020).

Quadro 1: PTF e variáveis de gastos em fomento, pesquisa, capacitação e extensão rural

Variável	Descrição	Unidade	Fonte	Período
Produtividade	Produtividade total dos fatores mensurada a partir do índice de Tornqvist	Índice	IBGE, IEA, RAIS, Anfavea, Anda e Faosta	1974 a 2020

Continua na próxima pagina

[2] O presente estudo não detalhará a mensuração da PTF, por compreender que o objetivo principal é o de verificar os fatores que mais influenciaram a produtividade do setor no estado de São Paulo. Para detalhes metodológicos do índice de Tornqvist, veja Diewert (1978).

Continuação do Quadro 1

Variável	Descrição	Unidade	Fonte	Período
	Investimento estadual da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) de bolsas concedidas de mestrado, doutorado e pós-doutorado à área de Ciências Agrárias	R$	CAPES	1995 a 2014
Fomento	Investimento estadual do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) nos programas de Ciências Agrárias	R$	CNPQ	2001 a 2020
	Valores concedidos aos projetos voltados para a agricultura e o agronegócio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) nas seguintes áreas de classificação: auxílios, bolsas regulares, inovação tecnológica e programas especiais	R$	FAPESP	1976 a 2020
	Orçamento estadual da Embrapa, que incorpora as unidades Embrapa Pecuária Sudeste (1976 a 2020), Embrapa Meio Ambiente (1983 a 2020), Embrapa Instrumentação Agropecuária (1985 a 2020), Embrapa Agricultura Digital (1987 a 2020), Embrapa Monitoramento por Satélite (1989 a 2020) e Embrapa Gestão Territorial (2011 a 2017)	R$	EMBRAPA	1976 a 2020
Pesquisa	Valores de execução orçamentária do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), do Instituto de Zootecnia (IZ), do Instituto Biológico (IB), do Instituto de Economia Agrícola (IEA), do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) e do Instituto de Pesca (IP) vinculados à Agência Paulista de Tecnologias dos Agronegócios (APTA) da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do estado de São Paulo	R$	APTA	1974 a 2020
	Orçamento destinado às unidades (escolas e faculdades) da Universidade de São Paulo (USP) que engloba a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq), a Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ), a Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) e o Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena)	R$	USP	1974 a 2020

Continua na próxima pagina

Continuação do Quadro 1

Variável	Descrição	Unidade	Fonte	Período
Capacitação	Orçamento destinado às unidades (escolas e faculdades) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) que engloba a Faculdade de Engenharia Ilha Solteira (FEIS), a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), a Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), a Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ), a Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT) e a Faculdade de Medicina Veterinária (FMVA)	R$	UNESP	1976 a 2020
	Orçamento destinado à Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)	R$	UNICAMP	1986 a 2020
	Centro Paula Souza (CPS)	R$	CPS	2000 a 2020
Extensão	Orçamento da Coordenação de Assistência Técnica Integral (CATI)	R$	CATI	1974 a 2020

3. Análise dos resultados

De acordo com o cálculo da PTF, pela Figura 1, observa-se a evolução do indicador para o setor agropecuário paulista de 1974 a 2020. Enquanto o índice de produto cresceu 77,1%, o índice de insumos expandiu somente 5,6%. Esta diferença sinalizou um crescimento da produtividade de 67,6%. O resultado da PTF é estimado residualmente, ou seja, o que não for relacionado ao crescimento dos insumos será explicado pela tecnologia – tudo aquilo que não é possível dimensionar quantitativamente e monetariamente. O formato parabólico com concavidade para baixo condiz com a realidade econômica do estado de São Paulo, pois, em última análise, a PTF analisa a relação entre a renda bruta (produção) e os custos totais (insumos). Com base na teoria microeconômica, em um ambiente competitivo, a renda líquida tenderá a zero e, assim, com o passar do tempo, a taxa de crescimento da PTF se torna cada vez menor. É possível compreender o índice da PTF como uma medida das imperfeições de mercado. Quanto mais homogêneo e avançado for o setor em uma determinada região, menor é o crescimento deste indicador, o que significa que o crescimento da produção é cada vez mais explicado pela tecnologia embarcada nos insumos.

Esta seção pretende analisar a resposta da PTF em relação a choques nas variáveis de fomento, pesquisa, capacitação e extensão rural, todas as séries relacionadas ao campo das ciências agrárias e economia rural. O fomento inclui os investimentos realizados na CAPES, no CNPq e na Fapesp, fundamentalmente nesta última instituição. A pesquisa inclui o orçamento das instituições de pesquisa, no caso as unidades da Embrapa no estado de São Paulo e a APTA. A capacitação inclui o orçamento destinado às faculdades e escolas ligadas às ciências agrárias da USP, UNESP, UNICAMP, bem como do CPS. Por fim, a extensão rural basicamente incorpora o orçamento da

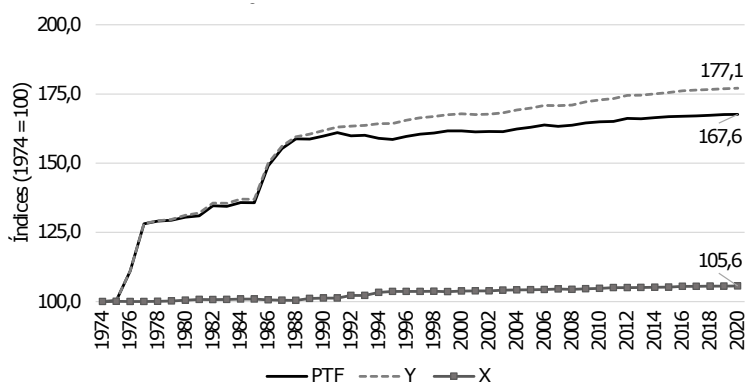


Figura 1. Evolução dos índices de produtividade, produção e insumos no estado de São Paulo de 1974 a 2020

CATI. Construiu-se também uma variável que se chama ciência e tecnologia (C&T), que engloba os gastos do fomento, da pesquisa e da capacitação.

Pela Figura 2, observa-se que os gastos da Fapesp, em particular, representaram uma fatia significativa nos gastos em C&T. O orçamento da Fapesp relacionado às ciências agrárias se inicia no ano de 1976. De 1976 a 1994, a participação dos gastos da Fapesp saltou de pouco menos de 1% para 15%. O pico da série histórica se deu no ano de 1999, quando os gastos da Fapesp representaram mais da metade dos gastos em C&T. De 1976 a 2020, a média da participação dos gastos da Fapesp no conjunto dos gastos de C&T ficou em 22%. Não há dúvidas que a Fapesp se mostra como instituição chave na promoção da C&T no estado de São Paulo. De 1976 até meados da década de 1990, a Fapesp era praticamente a única instituição de fomento no estado. O gasto da Fapesp no conjunto dos gastos de fomento ficou, em média, no período analisado, em torno de 95%. Portanto, os gastos da Fapesp são centrais na dinâmica da promoção da C&T no estado de São Paulo.

Pela Figura 3, observa-se o comportamento de todas as séries de tempo (variáveis da pesquisa), em valores constantes de 2020. Nota-se que, provavelmente, as séries analisadas não são estacionárias, possuindo alguma tendência estocástica, assim como a existência de possíveis quebras estruturais. A extensão tem uma queda drástica da década de 1970 até o início dos anos 90. Posteriormente, os gastos em extensão seguem de forma mais estável. A pesquisa tem oscilações grandes ao longo de todo o período. O fomento tem um crescimento paulatino desde os anos 80, mas expandindo-se após o ano de 1994. Por fim, os gastos em educação e capacitação seguem um comportamento crescente no tempo, com uma queda a partir do ano de 2015.

Antes de iniciar qualquer tipo de análise, é importante mencionar as limitações dos dados, o que prejudica as avaliações do modelo a ser estimado. Por se tratar de séries de tempo, englobando um longo período, a conjuntura macroeconômica, por exemplo, da década de 1970 é muito distinta do ambiente político e econômico da última década. O Brasil da década de 1970 é muito distinto do atual. Além disso, ao longo de todo período, há vários governos, com diferentes planos econômicos e diversos eventos domésticos e internacionais.

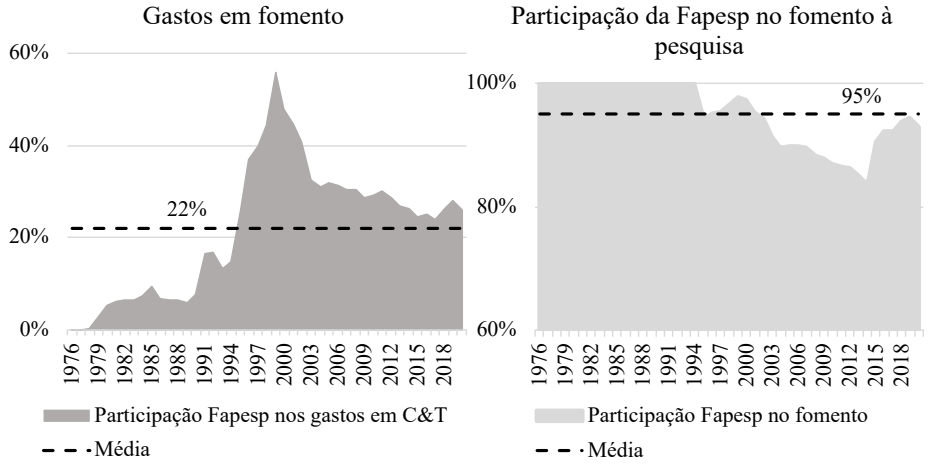


Figura 2. Participação dos gastos da Fapesp na área de ciências agrárias no total de gastos em ciência e tecnologia (C&T) no estado de São Paulo (1976 a 2020)

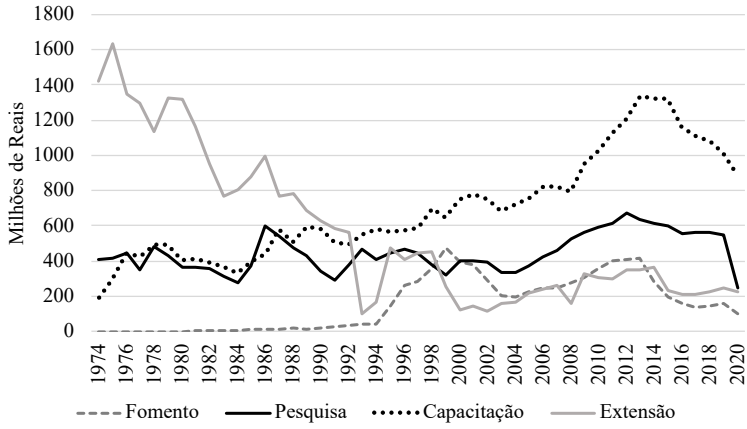


Figura 3. Gastos em capacidade de absorção – fomento, pesquisa capacitação e extensão rural – no estado de São Paulo, de 1974 a 2020 (em milhões de Reais)

Na década de 1970, o mundo passou por dois choques de petróleo. Nos anos 80, o governo, no início, passou por uma crise de financiamento externo e, depois, sucessivos planos monetários de estabilização da moeda. No início da década de 1990, transformações institucionais significativas foram incorporadas, culminando na implantação do Plano Real em 1994. Em seguida, vieram as crises do México, da Rússia e dos países asiáticos. Na primeira década do novo milênio, vieram os atentados do 11 de setembro e, em seguida, o crescimento chinês e o aumento do preço das commodities. Em 2008, a economia americana passou por uma crise financeira, que rebateu em diversos países. Finalmente, na última década, o Brasil passou por uma forte crise política e econômica. Em 2020, veio a pandemia, que impactou toda economia mundial.

Portanto, avaliar um período tão extenso é muito complicado, ainda mais com tantas transformações existentes. Nesse sentido, as análises a serem extraídas do estudo eco-

nométrico serão de curto prazo, visando avaliar o impacto dos gastos em capacidade de absorção na produtividade por meio da função impulso-resposta e da decomposição da variância do erro, isto é, não recorrendo ao teste de cointegração, como também, na análise de longo prazo.

Em relação ao período analisado, trabalhou-se com séries temporais de 1974 a 2020, totalizando 46 observações, devido à disponibilidade das fontes pesquisadas. Contudo, em alguns casos, por filtros necessários, o número de observações se reduziu. De qualquer forma, mesmo compreendendo as limitações, estimaram-se três modelos para verificar a interação das variáveis selecionadas com a PTF, bem como o comportamento da produtividade em questão.

O **primeiro modelo** avaliou a resposta da PTF em relação ao choque nas quatro variáveis – fomento, pesquisa, capacitação e extensão. O **segundo modelo** se restringiu na resposta da PTF em três variáveis – pesquisa, capacitação e extensão. Por fim, o **terceiro modelo** estudou a resposta da PTF frente ao choque em duas variáveis apenas – ciência e tecnologia (que seria a soma de fomento, pesquisa e capacitação), bem como extensão rural.

Antes da avaliação individual de cada modelo, a investigação empírica verificou as propriedades de cada uma das séries temporais, quanto à presença de tendências estocásticas, ou mesmo com a inclusão de ruídos em suas trajetórias. Para tanto, foram utilizados os testes tradicionais de raiz unitária (Dickey e Fuller, 1979; Phillips e Perron, 1988). As séries são estacionarias em primeira diferença. Os resultados mostraram que as séries possuem diferentes ordens de integração. Enquanto a PTF e o fomento se mostraram estacionárias em nível, as demais séries estudadas apresentaram raiz unitária. No entanto, em primeira diferença, a tendência estocástica das séries foi eliminada.

Nesse sentido, todas as séries foram admitidas como integradas de ordem 1 ou estacionárias nas primeiras diferenças. Os testes de raiz unitárias foram repetidos em primeira diferença;[3] porém, não se rejeitou a hipótese nula aos níveis usuais de significância. Como as séries possuem diferentes ordens de integração, não se realizará o teste de cointegração (Johansen, 1991). Apesar da existência de relações de longo prazo entre as variáveis, o modelo de vetor de correção de erros (VEC) não pode ser aplicado. Portanto, para avaliar as relações de curto prazo, estima-se o modelo VAR e suas respectivas funções impulso-resposta.

3.1 *Primeiro modelo*

O primeiro modelo buscou avaliar a resposta do fomento, da pesquisa, da capacitação e da extensão rural na PTF. Assim, procurou-se avaliar o conceito de causalidade introduzido em Granger (1969), o qual melhora a previsão dos valores futuros de uma variável, quando se consideram informações sobre os valores presente e passado de outra variável. Procura-se testar, então, a precedência temporal das variáveis.[4]

Os resultados mostraram que fomento, pesquisa, capacitação e extensão rural, no conjunto, causam a PTF. Ademais, individualmente, a capacitação é estatisticamente

[3] Veja Tabelas A.1 e A.2 do anexo

[4] Para os respectivos testes do modelo 1, ver Tabelas B.1, B.2 e B.3 do anexo.

significativa na causalidade da PTF e, para esta variável apenas, existe bicausalidade no conjunto das demais variáveis. Estimou-se o modelo VAR. Uma das principais vantagens desse modelo é a de estimar as funções de impulso-resposta e a decomposição da variância do erro. Em um modelo estacionário, os choques se dissipam no tempo.

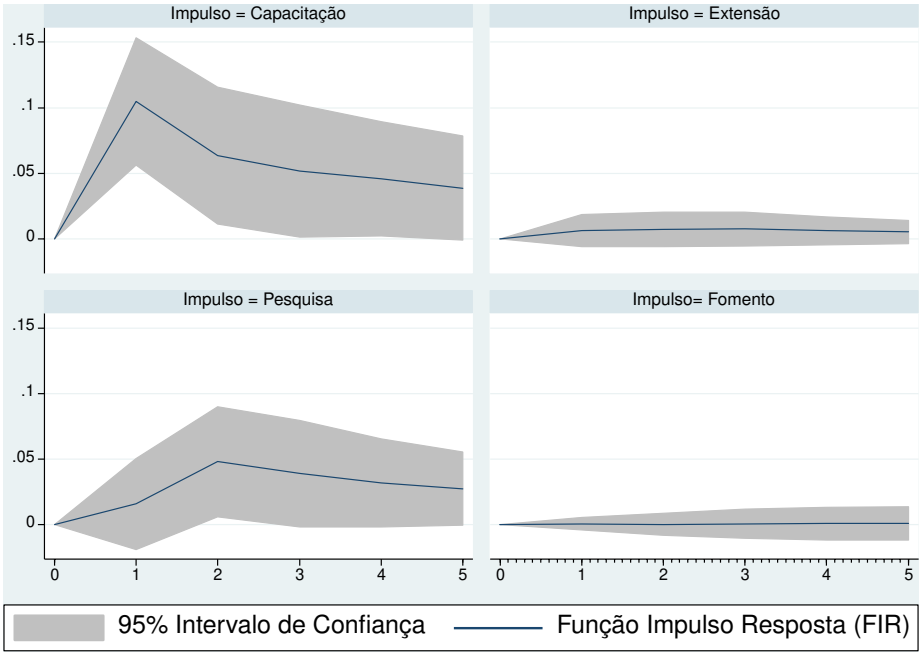


Figura 4. Funções impulso-resposta para choques no fomento, na pesquisa, na capacitação e na extensão rural com efeito na PTF em 5 períodos

Conforme a Figura 4, tem-se a resposta da PTF aos choques no fomento, na pesquisa, na capacitação e na extensão rural. No que tange à pesquisa, observa-se uma resposta positiva da PTF, principalmente no segundo e no terceiro período após o choque, e estabilizando posteriormente. Em relação à capacitação, há uma resposta positiva da PTF no primeiro período, diminuindo no segundo período e estabilizando em seguida. O intervalo de confiança é superior a zero nos três períodos iniciais. O fomento e a extensão rural praticamente não tiveram impacto na PTF.

Pela Figura 5, em relação à decomposição da variância do erro, a resposta ao choque é explicada, praticamente, já no quinto período por 62% pela própria PTF, 26% pela pesquisa, 9% pela capacitação, 2% pela extensão e por muito pouco pelo fomento.

3.2 *Segundo modelo*

O segundo modelo buscou avaliar a resposta da pesquisa, da capacitação e da extensão rural na PTF. Esta estratégia foi adotada, pois a série de fomento se inicia em 1976, o que faz com que o modelo tenha apenas 44 observações. Com os filtros para ajuste

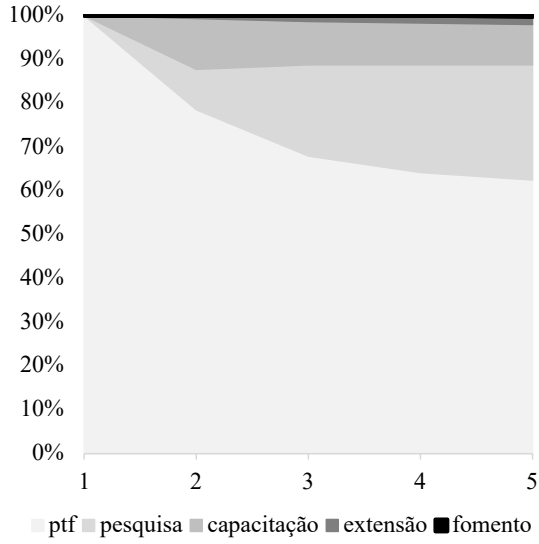


Figura 5. Decomposição da variância do erro – fomento, pesquisa, capacitação e extensão rural (em %).

das séries, o número de observações cai para 43, o que em parte prejudica as especificações do modelo.[5]

Seguiram-se os mesmos procedimentos realizados no modelo 1. As condições de estabilidade foram adequadas. A condição de normalidade não foi atendida. Deve-se ressaltar que a hipótese de normalidade para dados econômicos associados à economia brasileira raramente é aceita, possivelmente devido à volatilidade característica presente em inúmeras séries. No entanto, o modelo foi novamente estimado.

Os resultados mostraram que pesquisa, capacitação e extensão rural, no conjunto, causam a PTF. Ademais, individualmente, a capacitação, novamente, é estatisticamente significativa na causalidade da PTF e, para esta variável apenas, existe bicausalidade no conjunto das demais variáveis. Conforme a Figura 6, tem-se a apresentação do segundo modelo. As respostas da PTF aos choques na capacitação e na pesquisa apresentaram evidências de impacto. No caso da capacitação, esta evidência foi estatisticamente significativa pelo fato de seu intervalo de confiança se mostrar acima do zero. No caso da pesquisa, o limite inferior do intervalo de confiança é ligeiramente tangente ao valor zero, notadamente no segundo período. A extensão rural praticamente não impactou a PTF.

Em relação à decomposição da variância do erro (Figura 7), a resposta ao choque foi explicada, praticamente, já no quarto período por 57% pela própria PTF, por 25% na pesquisa, por 14% na capacitação e por 2% na extensão rural. É importante observar que a causalidade das variáveis seguiu os pressupostos esperados, além das tendências positivas de crescimento. Vale ressaltar, mais uma vez, que o modelo estimado foi possível, embora se observem dificuldades dos dados e informações disponibilizadas.

[5] Para os respectivos testes do modelo 2, ver Tabelas C.1, C.2 e C.3 do anexo.

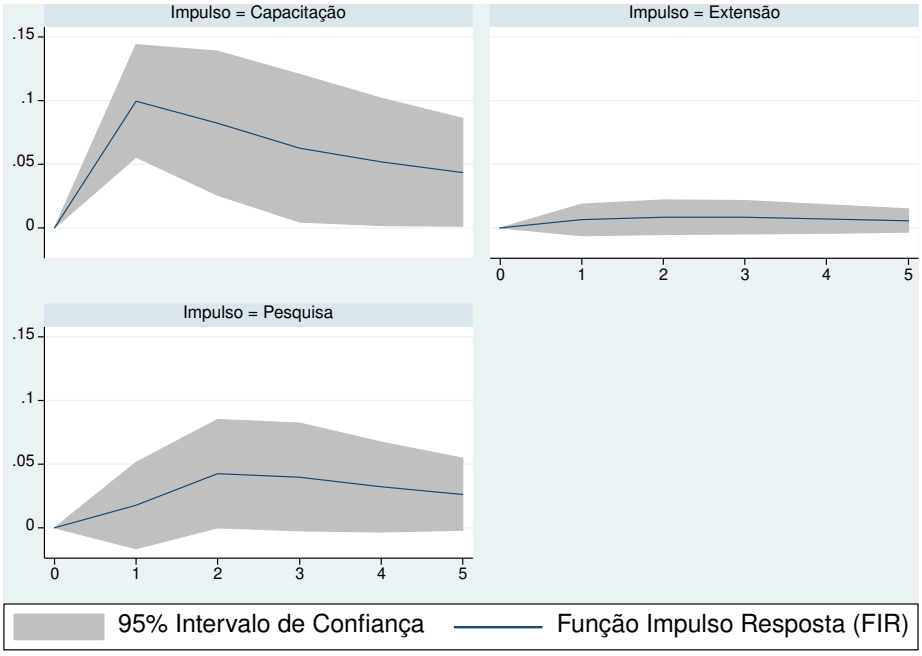


Figura 6. Funções impulso-resposta para choques na pesquisa, na capacitação e na extensão rural com efeito na PTF em 5 períodos.

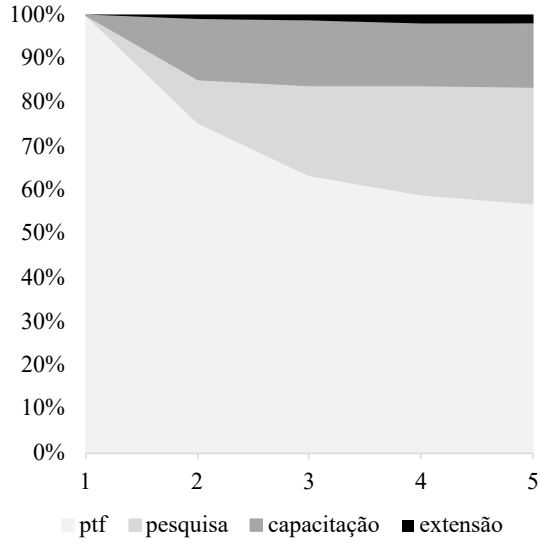


Figura 7. Decomposição da variância do erro – pesquisa capacitação e extensão rural (em %).

3.3 *Terceiro modelo*

Por fim, buscou-se estimar o terceiro modelo, o qual focou na resposta da C&T (como somatório das variáveis fomento, pesquisa e capacitação) e da extensão rural na PTF.

Seguiram-se os mesmos procedimentos dos modelos 1 e 2. Novamente, as condições de estabilidade foram adequadas. Entretanto, a condição de normalidade não passou no teste. Este resultado não impediu as estimações realizadas.[6]

Os resultados mostraram que C&T e extensão rural, no conjunto, causam a PTF. Ademais, individualmente, C&T é estatisticamente significativa na causalidade da PTF e, para esta variável, existe bicausalidade no conjunto das demais variáveis. Conforme a Figura 8, tem-se a apresentação do terceiro modelo. As respostas da PTF aos choques na C&T e na extensão apresentaram evidências de impacto. No caso da C&T, esta evidência foi estatisticamente significativa pelo fato de seu intervalo de confiança se mostrar acima do zero para os cinco períodos avaliados. No caso da extensão rural, há resposta positiva entre o primeiro e o quinto período; porém, o intervalo de confiança incluiu o valor zero.

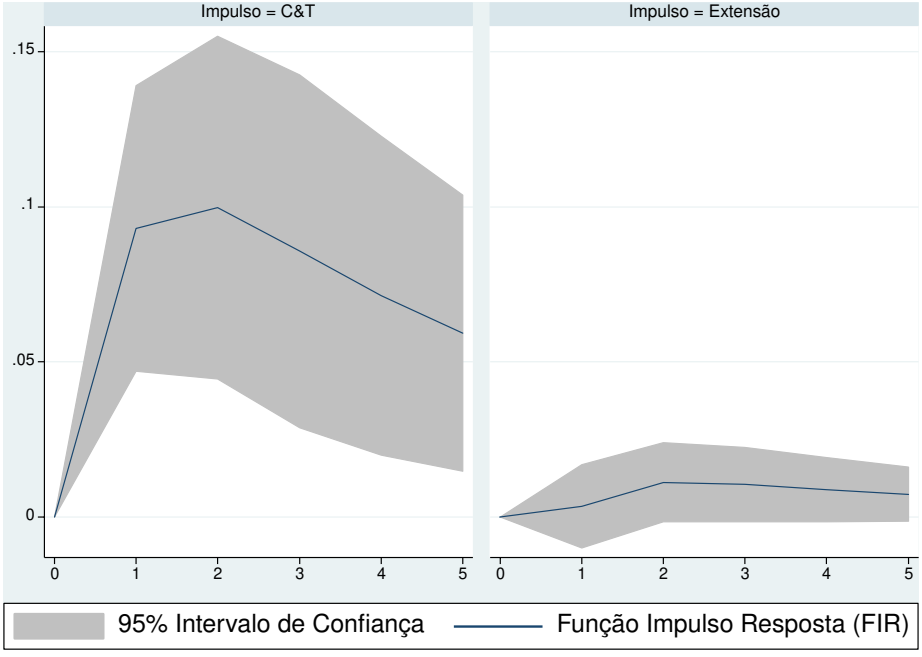


Figura 8. Funções impulso-resposta para choques na C&T e na extensão rural com efeito na PTF em 5 períodos.

Pela Figura 9, tem-se a decomposição da variância do erro frente a resposta aos choques. Pode-se mostrar que, praticamente, o choque já no quinto período foi explicado pela própria PTF por 62%, por 34% na C&T e por apenas 4% na extensão rural. É importante observar que a causalidade das variáveis seguiu os pressupostos esperados, além das tendências positivas de crescimento, similarmente ao encontrado nos modelos anteriores.

[6] Para os respectivos testes do modelo 3, ver Tabelas D.1, D.2 e D.3 do anexo.

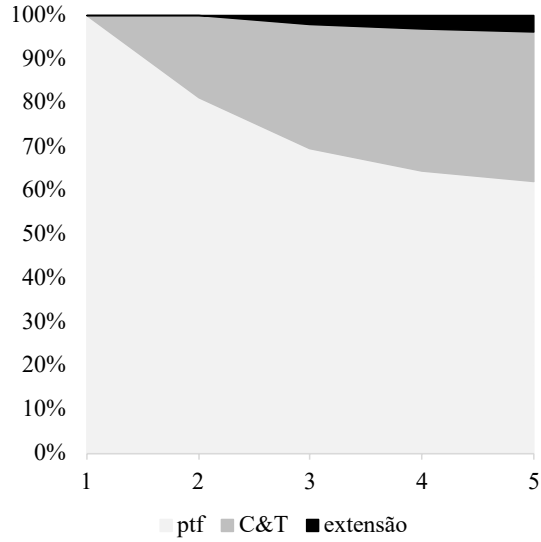


Figura 9. Decomposição da variância do erro – C&T e extensão rural (em %).

4. Considerações finais

Este trabalho foi uma tentativa de desmembrar e separar alguns fatores que influenciam a mudança da PTF agropecuária em São Paulo, que é um estado que está na fronteira tecnológica da produção brasileira. A produtividade pode ser influenciada por diferentes variáveis, como a pesquisa básica e aplicada, os efeitos de transbordamentos (*spillovers*) dos investimentos, a extensão rural, o treinamento da mão de obra, a escala produtiva e, sem dúvida, as características mais amplas, como o comércio internacional e as condições climáticas e geográficas. Estimativas confiáveis são difíceis de obter, já que existem transformações significativas no tempo e a relação das variáveis envolvidas é muito complexa.

O estudo avaliou a relação do conjunto dos investimentos realizados em pesquisa, fomento, capacitação e extensão rural na agropecuária paulista. O estudo foi composto por três seções. Primeiramente, seguiu-se uma de caráter teórico-metodológico, detalhando os pressupostos, procedimentos e fontes de dados. Em segundo lugar, buscou-se mensurar a PTF da agropecuária no estado de São Paulo. Por fim, avaliou-se o impacto da C&T na dinâmica da PTF, analisando os resultados de diferentes modelos econométricos.

Os gastos da Fapesp representaram cerca de 95% de todo o gasto em fomento e, aproximadamente, 22% dos gastos totais de C&T. Em geral, os resultados mostraram que capacitação, pesquisa, extensão e fomento, no conjunto, causam a PTF. Na função impulso-resposta, tem-se a resposta da PTF aos choques nas variáveis estudadas. Embora não se analisem as elasticidades do modelo VAR, por entender que estes parâmetros estimados são viesados, a participação dos gastos da Fapesp no conjunto dos gastos em C&T e dos dispêndios em fomento é muito elevada, ou seja, o impacto destas variáveis na PTF seria significativo.

De todos os modelos, o modelo 3, o qual incorpora o somatório das variáveis de fomento, pesquisa e capacitação (C&T), foi o que melhor se ajustou aos resultados. Foi possível apresentar um impacto positivo nos gastos em ciência e tecnologia, bem como na extensão rural. Nos modelos 1 e 2, observou-se resposta da PTF aos choques na capacitação e na pesquisa. Fica claro que a separação das variáveis interfere na dinâmica das estimações. No geral, observa-se impacto positivo na produtividade nos gastos de ciência e tecnologia, assim como causalidade esperada entre as variáveis envolvidas.

Apêndice A: Testes de raiz unitária

Tabela A.1. Teste de Raiz Unitária, Dickey-Fuller Aumentado (ADF) e Phillips e Perron para as séries da ptf, pesquisa, capacitação e extensão, log-transformadas, de 1974 a 2020.

	Dickey-Fuller Aumentado (ADF)			Phillips e Perron		
	$\iota\tau$	$\tau\mu$	τ	Com tendência (τ)	Sem constante (τ)	Defs.
LPTF	−5,14*	−5,31*	1,48	−3,44**	2,12**	1
LPESQUISA	−2,74	−2,76***	−0,52	−2,52	−0,10	1
LCAPACITAÇÃO	−3,08	−1,79	0,89	−3,91**	1,42	1
LEXTENSÃO	−2,66	−2,01	−1,07	−2,80	−0,98	1
LFOMENTO	−4,30*	−4,57*	−0,07	−4,16*	0,15	1
LC&T	−1,60	−1,68	0,40	−1,41	0,89	1

Para os testes ADF, os valores críticos para o modelo com constante e com tendência ao nível de 1%, 5%, e 10% são respectivamente -4,20, -3,52 e -3,20, para o modelo com constante e sem tendência os valores críticos são, ao nível de 1% (-3,61), 5% (-2,94) e 10% (-2,61) e para o modelo sem constante e sem tendência os valores críticos são, ao nível de 1% (-2,63), 5% (-1,95) e 10% (-1,61). Já para o teste de Phillips e Perron, os valores críticos para o modelo com tendência são ao nível de 1% (-3,19), 5% (-3,52) e 10% (-3,19). Para o modelo sem constante são ao nível de 1% (-2,63), 5% (-1,95) e 10% (-1,61). ***indica que a hipótese nula é rejeitada ao nível de significância de 10%. **indica que a hipótese nula é rejeitada ao nível de significância de 5%. *indica que a hipótese nula é rejeitada ao nível de significância de 1%. Defs. = Defasagens.

Tabela A.2. Teste de Raiz Unitária, Dickey-Fuller Aumentado (ADF) e Phillips e Perron para as séries pesquisa, capacitação e extensão, log-transformadas, em primeira diferença, de 1974 a 2020.

	Dickey-Fuller Aumentado (ADF)			Phillips e Perron		
	$\iota\tau$	$\tau\mu$	τ	Com tendência (τ)	Sem constante (τ)	Defs.
LPESQUISA	−4,33*	−4,41*	−4,48*	−4,68*	−4,79*	1
LCAPACITAÇÃO	−5,50*	−5,64*	−5,72*	−6,18*	−6,17*	1
LEXTENSÃO	−2,66***	−6,09*	−6,02*	−7,31*	−7,32*	1
LC&T	−4,20*	−4,10*	−4,18*	−4,68*	−4,57*	1

Para os testes ADF, os valores críticos para o modelo com constante e com tendência ao nível de 1%, 5%, e 10% são respectivamente -4,20, -3,52 e -3,20, para o modelo com constante e sem tendência os valores críticos são, ao nível de 1% (-3,61), 5% (-2,94) e 10% (-2,61) e para o modelo sem constante e sem tendência os valores críticos são, ao nível de 1% (-2,63), 5% (-1,95) e 10% (-1,61). Já para o teste de Phillips e Perron, os valores críticos para o modelo com tendência são ao nível de 1% (-4,19), 5% (-3,52) e 10% (-3,19). Para o modelo sem constante são ao nível de 1% (-2,63), 5% (-1,95) e 10% (-1,61). ***indica que a hipótese nula é rejeitada ao nível de significância de 10%. **indica que a hipótese nula é rejeitada ao nível de significância de 5%. *indica que a hipótese nula é rejeitada ao nível de significância de 1%. Defs. = Defasagens.

Apêndice B: Testes modelo 1

Tabela B.1. Teste de Wald para causalidade de Granger nas séries estudadas no modelo 1

Equação	Excluído	χ^2	g.l.	p-valor
lnptf	diflnpesquisa	0,808	1	0,369
lnptf	diflncapacitacao	17,952	1	<0,001
lnptf	diflnextensao	0,958	1	0,328
lnptf	lnfomento	0,100	1	0,751
lnptf	Todas	27,464	4	<0,001
diflnpesquisa	lnptf	0,366	1	0,545
diflnpesquisa	diflncapacitacao	1,244	1	0,265
diflnpesquisa	diflnextensao	0,571	1	0,450
diflnpesquisa	lnfomento	0,135	1	0,713
diflnpesquisa	Todas	2,423	4	0,659
diflncapacitacao	lnptf	0,448	1	0,504
diflncapacitacao	diflnpesquisa	10,172	1	0,001
diflncapacitacao	diflnextensao	0,152	1	0,696
diflncapacitacao	lnfomento	0,615	1	0,433
diflncapacitacao	Todas	10,385	4	0,034
diflnextensao	lnptf	0,006	1	0,938
diflnextensao	diflnpesquisa	0,680	1	0,410
diflnextensao	diflncapacitacao	1,023	1	0,312
diflnextensao	lnfomento	0,004	1	0,948
diflnextensao	Todas	1,246	4	0,870
lnfomento	lnptf	2,921	1	0,087
lnfomento	diflnpesquisa	1,646	1	0,200
lnfomento	diflncapacitacao	0,017	1	0,896
lnfomento	diflnextensao	2,019	1	0,155
lnfomento	Todas	6,443	4	0,168

Tabela B.2. Escolha ótima dos lags.

Lag	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0		$2{,}7\times10^{-7}$	−0,9437	−0,7389	−0,8681
1	255,07	$2{,}3\times10^{-9}$*	−5,7127	−4,4839*	−5,2595*
2	51,47*	$2{,}3\times10^{-9}$	−5,7468*	−3,4941	−4,9161

Tabela B.3. Diagnóstico do modelo 1.

Diagnóstico	Teste	Estatística	Distribuição Aproximada	p-valor	Conclusão
Normalidade	JB	187,19	$\chi^2(10)$	$0{,}000$	Rejeita H0: Resíduos não tem distribuição normal
Autocorrelação	LM-1	45,30	$\chi^2(25)$	$0{,}008$	Rejeita H0: Existe autocorrelação
Autocorrelação	LM-2	33,38	$\chi^2(25)$	$0{,}123$	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação

Apêndice C: Testes modelo 2

Tabela C.1. Teste de Wald para causalidade de Granger nas séries estudadas no modelo 2

Equação	Excluído	χ^2	g.l.	p-valor
lnptf	diflnpesquisa	1,037	1	0,309
lnptf	diflncapacitacao	19,674	1	<0,001
lnptf	diflnextensao	0,954	1	0,329
lnptf	Todas	29,289	3	<0,001
diflnpesquisa	lnptf	0,805	1	0,370
diflnpesquisa	diflncapacitacao	1,236	1	0,266
diflnpesquisa	diflnextensao	0,706	1	0,401
diflnpesquisa	Todas	2,195	3	0,533
diflncapacitacao	lnptf	2,666	1	0,103
diflncapacitacao	diflnpesquisa	5,234	1	0,022
diflncapacitacao	diflnextensao	0,355	1	0,551
diflncapacitacao	Todas	7,064	3	0,070
diflnextensao	lnptf	0,335	1	0,563
diflnextensao	diflnpesquisa	0,584	1	0,445
diflnextensao	diflncapacitacao	0,774	1	0,379
diflnextensao	Todas	1,033	3	0,793

Tabela C.2. Escolha ótima dos lags.

Lag	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0		$4{,}0\times10^{-7}$	−3,3762	−3,2140	−3,3161
1	159,13*	$2{,}2\times10^{-8}$*	−6,2655*	−5,4545*	−5,9648*
2	25,10	$2{,}7\times10^{-8}$	−6,1086	−4,6488	−5,5673

Tabela C.3. Diagnóstico do modelo 2.

Diagnóstico	Teste	Estatística	Distribuição Aproximada	p-valor	Conclusão
Normalidade	JB	174,07	$\chi^2(8)$	0,000	Rejeita H0: Resíduos não tem distribuição normal
Autocorrelação	LM-1	45,30	$\chi^2(16)$	0,131	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação
Autocorrelação	LM-2	18,25	$\chi^2(16)$	0,310	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação

Apêndice D: Testes modelo 3

Tabela D.1. Teste de Wald para causalidade de Granger nas séries estudadas no modelo 3

Equação	Excluído	χ^2	g.l.	p-valor
lnptf	diflnC&T	15,653	1,0	<0,001
lnptf	diflnextensao	0,264	1,0	0,607
lnptf	Todas	15,986	2,0	<0,001
diflnC&T	lnptf	0,546	1,0	0,460
diflnC&T	diflnextensao	4,318	1,0	0,038
diflnC&T	Todas	4,877	2,0	0,087
diflnextensao	lnptf	0,012	1,0	0,912
diflnextensao	diflnC&T	0,453	1,0	0,501
diflnextensao	Todas	0,508	2,0	0,776

Tabela D.2. Escolha ótima dos lags.

Lag	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0		$4{,}0\times10^{-7}$	−3,3762	−3,2140	−3,3161
1	159,13*	$2{,}2\times10^{-8}$*	−6,2655*	−5,4545*	−5,9648*
2	25,10	$2{,}7\times10^{-8}$	−6,1086	−4,6488	−5,5673

Tabela D.3. Diagnóstico do modelo 3.

Diagnóstico	Teste	Estatística	Distribuição	p-valor	Conclusão
Normalidade	JB	145,580	$\chi^2(6)$	0,000	Rejeita H0: Resíduos não tem distribuição normal
Autocorrelação	LM-1	8,410	$\chi^2(9)$	0,494	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação
Autocorrelação	LM-2	5,620	$\chi^2(9)$	0,777	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação

Referências Bibliográficas

Alene, Arega D (2010): "Productivity growth and the effects of R&D in African agriculture," *Agricultural Economics*, 41 (3-4), 223–238. [2]

Araújo, P. F. C., A. L. M. Barros, A. C. Nicolella, M. A. Carvalho, J. R. M. Barros, J. C. P. R. Conceição, e P. H. Conceição (2018): "Produtividade total dos fatores de produção na agricultura paulista e os investimentos públicos em capital humano," in *Contribuição da Fapesp ao desenvolvimento da agricultura do estado de São Paulo*, ed. por A. C. Araújo, P. F. C.; Nicolella, São Paulo: Fapesp, cap. 8, 357–395. [2]

Cohen, Wesley M e Daniel A Levinthal (1989): "Innovation and learning: The two faces of R & D," *The Economic Journal*, 99 (397), 569–596. [4]

Collier, Paul e Stefan Dercon (2014): "African agriculture in 50 years: Smallholders in a rapidly changing world?" *World development*, 63, 92–101. [2]

Dickey, David A e Wayne A Fuller (1979): "Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root," *Journal of the American Statistical Association*, 74 (366a), 427–431. [3, 9]

Diewert, W Erwin (1978): "Superlative index numbers and consistency in aggregation," *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 883–900. [4]

Dosi, Giovanni (1984): *Technical change and industrial transformation: The theory and an application to the semiconductor industry*, Springer. [1]

Evenson, Robert E e Yoav Kislev (1973): "Research and productivity in wheat and maize," *Journal of Political Economy*, 81 (6), 1309–1329. [4]

Fishlow, Albert e José Eustáquio Ribeiro Vieira Filho (2020): *Agriculture and industry in Brazil: Innovation and competitiveness*, Columbia University Press. [1]

Fuglie, Keith (2018): "R&D capital, R&D spillovers, and productivity growth in world agriculture," *Applied Economic Perspectives and Policy*, 40 (3), 421–444. [2]

Gasques, J. G., M. R. P. Bacchi, E. T. Bastos, e C. Valdes (2020): "Crescimento e produtividade da agricultura brasileira," in *Uma jornada pelos contrastes do Brasil: Cem anos de censo agropecuário*, ed. por J. G. Vieira Filho, J. E. R.; Gasques, Brasília: Ipea, cap. 7, 107–120. [4]

Gasques, J. G., E. T. Bastos, C. Valdes, e M. R. P. Bacchi (2012): "Total factor productivity in Brazilian agriculture," in *Productivity growth in agriculture: An international perspective*, ed. por K. O. Fuglie, S. L. Wang, e V. E. Ball, Oxfordshire: CAB International, cap. 7, 145–162. [2]

Granger, Clive WJ (1969): "Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods," *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 424–438. [4, 9]

Johansen, Søren (1991): "Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models," *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1551–1580. [9]

Nelson, Richard R e Sidney G Winter (1982): *An evolutionary theory of economic change*, Harvard University Press. [1]

Phillips, Peter CB e Pierre Perron (1988): "Testing for a unit root in time series regression," *Biometrika*, 75 (2), 335–346. [3, 9]

Rada, Nicholas E e Keith O Fuglie (2019): "New perspectives on farm size and productivity," *Food Policy*, 84, 147–152. [2]

Thirtle, Colin, Jenifer Piesse, e David Schimmelpfennig (2008): "Modeling the length and shape of the R&D lag: An application to UK agricultural productivity," *Agricultural Economics*, 39 (1), 73–85. [2]

Vieira Filho, José Eustáquio Ribeiro (2022): "Eliseu Alves e a moderna agricultura do Brasil," *Revista de Política Agrícola*, 31 (1), 28. [1]

Vieira Filho, José Eustáquio Ribeiro, Antônio Carvalho Campos, e Carlos Maurício de Carvalho Ferreira (2005): "Abordagem alternativa do crescimento agrícola: Um modelo de dinâmica evolucionária," *Revista Brasileira de Inovação*, 4 (2), 425–476. [1]

Vieira Filho, José Eustáquio Ribeiro Vieira e José Maria Ferreira Jardim da Silveira (2016): "Competências organizacionais, trajetória tecnológica e aprendizado local na agricultura: O paradoxo de Prebisch," *Economia e Sociedade*, 25, 599–630. [1]