

Adilson Giovanini^{1*}

ORCID: [0000-0001-8948-1186](https://orcid.org/0000-0001-8948-1186)

Kleverton Clovis de Oliveira Saath²

ORCID: [0000-0001-6862-9030](https://orcid.org/0000-0001-6862-9030)

Helberte João F. Almeida²

ORCID: [0000-0003-0163-0197](https://orcid.org/0000-0003-0163-0197)

¹ Universidade do Estado de Santa Catarina, Balneário Camboriú, Santa Catarina, Brasil.

² Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

* adilsoneconomia@gmail.com

INEFICIÊNCIAS ALOCATIVAS E SUA RELAÇÃO COMO CRESCIMENTO DA PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA INTERNACIONAL

RESUMO

O aumento da produtividade agropecuária é de suma importância para o desenvolvimento econômico do país. Para compreender os fatores que determinam os ganhos no âmbito agrícola internacional, no período de 2000 a 2014, a produtividade é decomposta em quatro indicadores, a saber: ganhos de escala, progresso técnico, alocação entre os insumos, e ganhos de eficiência técnica. Os resultados encontrados indicam que capital, insumos e progressos técnicos têm influência positiva sobre o crescimento da PTF. Assim, políticas focadas na realocação de fatores e redução da ineficiência técnica podem contribuir, positivamente, para aumentar a oferta de alimentos e reduzir os problemas de insegurança alimentar.

Palavras-chave: Decomposição da Produtividade Total dos Fatores; Fronteira Estocástica; Ineficiência Técnica.

ABSTRACT

The increase in agricultural productivity is of paramount importance for the economic development of the country. In order to understand the factors that determine the gains of international agricultural productivity, in the period from 2000 to 2014, productivity is broken down into four indicators, namely: gains in scale, technical progress, allocation between inputs, and gains in technical efficiency. The results indicate that capital, inputs and technical progress have a positive influence on the growth of TFP. Thus, policies focused on the reallocation of factors and reduction of technical inefficiency can positively contribute to increase the supply of food and reduce problems of food insecurity.

Keywords: Decomposition of Total Factor Productivity; Stochastic Frontier; Technical Inefficiency.

JEL Code: Q1; Q18; Q55.

INTRODUÇÃO

A agricultura mundial desempenha funções importantes na economia, entre as quais: o ganho de divisas internacionais via exportação, as externalidades dos ganhos tecnológicos de modernização e a oferta de alimentos para a população mundial, que, em 2015, era de, aproximadamente, sete bilhões de pessoas, com projeções crescentes para os próximos anos. (FAO, 2015).

Além do crescimento da população, projetada para 9,5 bilhões de pessoas em 2050 (FAO, 2015), a ampliação da renda e as mudanças demográficas devem reforçar o aumento da demanda futura de alimentos. As projeções para o crescimento da renda *per capita* mundial são estimadas pelo Cepii (2010) em 2,18% ao ano, no período de 2012 a 2050. Os maiores crescimentos anuais são observados nos países do sul da Ásia (5,39% a.a.), oeste da Ásia (3,69% a.a.) e África (3,48% a.a.).

Diante do cenário de crescimento elevado da demanda por alimentos e importantes restrições sobre a expansão da produção em novas terras agricultáveis, o incremento da produtividade é um dos caminhos para a expansão da oferta de alimentos. Desta forma, o objetivo deste estudo é decompor a produtividade total dos fatores em quatro indicadores: ganhos de escala, progresso técnico, alocação entre os insumos, e ganhos de eficiência técnica (SOUZA *et al.* 2010). A hipótese defendida no presente estudo é de que existem diferenças consideráveis de produtividade entre os países, em razão da má alocação dos fatores e das ineficiências técnicas.

Para testar a hipótese defendida, é aplicada a metodologia¹ de Bauer (1990) e Kumbhakar (2000), utilizada por Souza *et al.* (2010), a qual apresenta a vantagem de identificar a influência que a variação na eficiência tecnológica exerce sobre a produtividade. Ademais, esse método permite verificar os efeitos das mudanças na escala de produção e na ineficiência alocativa dos fatores. Portanto, esse procedimento se mostra superior à decomposição da PTF através do índice Malmquist, que usa a fronteira de produção restrita, obtida por meio da imposição de rendimentos constantes de escala (SOUZA *et al.*, 1992).

A contribuição deste estudo consiste em utilizar uma amostra ampla, composta por 41 países² produtores de alimentos e, posteriormente, adicionar insumos intermediários oriundos de outros setores da economia, e não somente insumos da própria agricultura, conforme o trabalho realizado por Souza *et al.* (2010), Aigner Lovell e Schimidt (1967), Meeusen *et al.* (1977) e Battese *et al.* (1977). Desta forma, é possível verificar os

¹ Dentre os autores que utilizam a decomposição da PTF para identificar os fatores que influenciam na produtividade agrícola, destacam-se os estudos realizados por Helfand *et al.* (2015), Souza *et al.* (2010), Feitosa (2009), Conceição (2005), Fonseca (2007), Gasques *et al.* (2004) e Gasques *et al.* (2010).

² A amostra ficou restrita a apenas esses países devido à limitação dos dados, haja vista a carência de bases de dados mais amplas tanto em termos espaciais quanto temporais, o que restringe as possibilidades de análise. Em suma, os países analisados são os que apresentam dados.

determinantes da produtividade agropecuária com maior precisão, de modo a buscar maior eficiência nesse setor.

Além desta introdução, este artigo encontra-se estruturado da seguinte forma: na próxima seção, apresenta-se o referencial teórico sobre a produtividade agropecuária e seus determinantes; a seção seguinte discorre sobre a metodologia utilizada; na subsequente, mostra-se os resultados obtidos e realiza-se uma discussão acerca deles; e por fim, a última seção traz as considerações finais.

DETERMINANTES DA PRODUTIVIDADE AGROPECUÁRIA

Segundo Goodman e Redclift (2002), o crescimento acelerado da produtividade agropecuária mundial foi possível através das tecnologias difundidas a partir da comprovação empírica, por Justus Von Liebig, no final do século XIX, de que a produtividade das plantas era diretamente proporcional à quantidade de insumos químicos colocados no solo. Dessa maneira, desenvolve-se a indústria de fertilizantes sintéticos, tais como potássio, nitrogênio e fósforo, que substituem o uso de fertilizantes naturais, como húmus e esterco. Por sua vez, Khush (2001) aponta que essas inovações possibilitaram que a produção de grãos, que havia demorado milhares de anos para alcançar 1 bilhão de toneladas em 1960, obtivesse aumento expressivo e, com cerca de 40 anos, chegasse a 2 bilhões de toneladas no ano 2000.

De acordo com Albergoni e Pelaez (2007), a partir de 1980, os avanços da Revolução Verde começam a apresentar certo esgotamento tecnológico. Essa tendência faz surgir a necessidade de superação desse problema, o que gera investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), proporcionando o desenvolvimento de híbridos e produtos geneticamente modificados (transgênicos). Ainda segundo os autores, a engenharia genética passa a ser adotada como instrumento voltado ao desenvolvimento de novas variedades que dispensam o uso de pesticidas e fertilizantes, à redução do impacto sobre o meio ambiente e à obtenção de aumentos na produtividade. Tal fato possibilita a exploração comercial da biotecnologia.

Albergoni e Pelaez (2007) destacam que a biotecnologia moderna tem se caracterizado pelo desenvolvimento nas áreas da genômica e da proteômica, por meio das quais se busca conhecer a complexidade do conjunto dos genes dos organismos e como estes se expressam e interagem, a partir de redes funcionais. Portanto, essas redes possibilitam um novo passo para o crescimento da produtividade agropecuária.

Diferentes autores têm buscado avaliar os determinantes da produtividade em vários países, utilizando as mais diversas metodologias. Dessa maneira, Lal (2004) observa que há potencial para o aumento da produtividade agrícola, por meio da restauração de solos degradados e moderadamente degradados. Lima *et al.* (1999) salientam que a área irrigada vem crescendo de forma significativa, o que possibilita o crescimento da agropecuária. Outros importantes estudos sobre a

produtividade agrícola são os que utilizam diferentes metodologias para decompor a PTF, tais como os trabalhos de: Baráth e Fertő (2017), Anik *et al.* (2017), Fuglie e Wang (2012), Alston *et al.* (2010), Davis *et al.* (2012), FAO (2013), Headey *et al.* (2010), Restuccia (2008), e Luh *et al.* (2008). Em suma, os estudos identificam que o progresso técnico, a alocação de recursos e a utilização de insumos agrícolas vêm proporcionando o crescimento da produtividade agropecuária mundial.

Um importante trabalho condizente com o presente estudo é realizado por Gasques, Bastos e Bacchi (2008), que utilizam o índice de Tornqvist para acompanhar a evolução da PTF no período de 1975 a 2005. Os resultados encontrados indicam que o índice de produto cresceu 208%, em virtude da expansão do uso de fatores primários de produção (mão de obra, terra e capital) e do crescimento da PTF. Mais precisamente, o índice de insumos cresceu 55% entre 1975 e 2005, e o índice de produtividade total cresceu 99% no mesmo período.

No que se refere aos estudos de produtividade agropecuária no Brasil, destacam-se o trabalho de Conceição (1998), no qual o fator referente aos ganhos de produtividade é decomposto em progresso técnico, economia de escala e utilização da capacidade produtiva. As estimações mostram que, no período de 1955 a 1975, a produtividade da agricultura brasileira cresceu, em sua grande maioria, através da obtenção de ganhos de escala. Apenas no período de 1975 a 1994, os ganhos de produtividade obtidos através de mudanças técnicas econômicas passam a ser significativos e coincidem com a consolidação e o fortalecimento dos elos existentes entre o setor agrícola e o setor industrial.

Na mesma linha dos estudos que buscam avaliar os determinantes da produtividade agrícola para o Brasil, Vicente (2004) utiliza o índice de produtividade de Malmquist para decompor a PTF em dois componentes distintos: mudanças técnicas e mudanças de eficiência. Os resultados obtidos indicam que o progresso tecnológico foi o fator que mais contribuiu para a obtenção de ganhos de produtividade nas regiões de agricultura mais avançada no Brasil no período de 1970 a 1995. Por outro lado, o aumento de eficiência foi o fator que mais contribuiu para a obtenção de ganhos de produtividade em regiões de agricultura de baixa tecnologia.

Outro importante estudo que decompõe a PTF para o Brasil é o realizado por Helfand *et al.* (2015). Os autores utilizam dados extraídos do censo agropecuário de 1985, 1995/96 e 2006, agregados em nível municipal para cinco classes de tamanho de fazendas. Os resultados desse estudo apontam para expressivas perdas de eficiência técnica em fazendas de todos os tamanhos, o que implica perdas significativas no crescimento da PTF. Além disso, as fazendas de médio porte alcançam o mais lento crescimento de mudança técnica na PTF, enquanto o crescimento é mais rápido nas fazendas de menor e de maior porte.

MÉTODO

O presente estudo busca avaliar os determinantes da produtividade total dos fatores. Para tanto, utiliza-se o método de Fronteira Estocástica de produção, proposto inicialmente por Aigner *et al.* (1977) e Meusen e Broeck (1977) e depois aprimorado por Pitt e Lee (1981) e Schmidt e Sickles (1984). Por fim, Battese e Coeli (1995) modificam o método, permitindo a modelagem de dados em painel, que incorpora o componente de ineficiência técnica de produção.

Para estimar a fronteira de produção, são testados um modelo na forma funcional logarítmica e outro na forma em nível. Com o intuito de avaliar qual o modelo que melhor se ajusta, realiza-se, então, um teste de adequação. Este, por sua vez, mostrou que a função logarítmica é a que melhor se adequa à forma funcional aqui proposta.

Deste modo, a função de fronteira de produção logarítmica é especificada da seguinte forma:

$$\ln Y_{it} = \alpha_1 + \alpha_2 t + \alpha_3 \ln K_{it} + \alpha_4 \ln L_{it} + \alpha_5 \ln T_{it} + \alpha_6 \ln I_{it} + v_{it} - u_{it} \quad (1)$$

em que Y_{it} é o valor adicionado do país i no período t para o setor agropecuário (em milhões de dólares); α_i é a constante; K_{it} é o estoque de capital físico; T_{it} é a terra utilizada (em mil hectares); I_{it} é o insumo intermediário (em milhões de dólares); L_{it} é o número de empregados (em milhões); v_{it} é o distúrbio aleatório da função de produção, que segue, por hipótese, uma distribuição normal $N(0, \sigma_\omega^2)$; e, por fim, u_{it} é a ineficiência técnica de produção.

Por sua vez, a modelagem da ineficiência técnica é designada por:

$$u_{it} = \delta z_{it} + v_{it}, \quad (2)$$

em que $z_{it} (z_{1t}, z_{2t}, z_{3t}, z_{4t}, z_{5t}, z_{6t}, z_{7t})^3$ corresponde a um vetor de variáveis, definidas logo abaixo, que explicam a ineficiência técnica. Ademais, v_{it} é um termo de erro, que tem distribuição normal por hipótese $N(0, \sigma_\omega^2)$. De acordo com a hipótese acima, assume-se que u_{it} é independentemente distribuída.

Como variáveis de ineficiência, admite-se que z_{1t} é a constante; z_{2t} é o efeito tendência; z_{3t} é a variação da taxa de câmbio⁴; z_{4t} é a proporção das horas trabalhadas pelos trabalhadores com baixa qualificação (HLS); z_{5t} é o grau de abertura econômica⁵; z_{6t} é o logaritmo do consumo do governo⁶ (em milhões de dólares); e z_{7t} é a inflação⁷.

³ A escolha das variáveis utilizadas para modelagem do termo de ineficiência técnica baseia-se em trabalhos empíricos que utilizam esse procedimento para estimação de fronteiras paramétricas envolvendo dados agregados (FEITOSA, 2009).

⁴ Identifica-se a influência que alterações nos termos de troca exercem sobre a ineficiência. Assume-se que a apreciação do câmbio influencia o crescimento da produção (BRESSER-PEREIRA, 2012).

⁵ A abertura econômica influencia de diferentes formas a produtividade. A menor abertura da economia implica menor acesso a insumos importados, menor acesso a tecnologias desenvolvidas no exterior e menor concorrência entre os produtores locais e estrangeiros.

Dados do Modelo

A amostra total utilizada para a realização das estimações é composta por 615 observações obtidas para 41 países, referentes ao período de 2000 a 2014. Todos os países analisados são considerados desenvolvidos ou em desenvolvimento. Logo, possuem elevada relevância na produção agropecuária ou adotam técnicas de produção avançadas.

O valor adicionado, o número de trabalhadores, a Formação Bruta de Capital Fixo, a evolução dos preços do setor agropecuário, a participação dos trabalhadores com qualificação elevada no total de horas trabalhadas e a participação dos trabalhadores com qualificação média no total de horas trabalhadas são obtidas junto ao *World Input-Output Database* (2019).

O valor adicionado e os insumos intermediários são deflacionados com base no indicador setorial de evolução dos preços, disponibilizado pelo *World Input-Output Database* (TIMMER *et al.* 2015). O desvio dos preços em relação aos preços dos Estados Unidos é calculado a partir da evolução dos preços do valor adicionado setorial, disponibilizados pelo *World Input-Output Database*. A Formação Bruta de Capital é disponibilizada já deflacionada na base original, *Penn World Table*, versão 8.1 (FEENSTRA, *et al.* 2015).

A taxa de câmbio real e a participação do governo na demanda agregada nacional são extraídas da base de dados disponibilizada pela *Penn World Table*, versão 8.1. A volatilidade da taxa de câmbio real é calculada utilizando a abordagem do desvio padrão móvel. Mais precisamente, ela é calculada em dois passos: inicialmente, se obtém a taxa de câmbio real, a partir dos dados referentes à taxa de câmbio nominal, em R\$/US\$ (e) e dos preços externos (p^*) e internos (p : $E = \frac{e.p^*}{p}$), sendo posteriormente obtida a volatilidade da taxa de câmbio real com base na média da taxa de câmbio para os i países que compõem a amostra de tamanho n : $\sigma_E = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n}$ (Silva *et al.*, 2016). A abertura econômica⁸ é calculada a partir dos dados disponibilizados pelo Banco Mundial (2019). Por fim, a área agropecuária é calculada pela soma das áreas agrícola e de pastagem⁹, disponibilizadas pela FAO (2019).

Procedimentos de Decomposição

Para realizar a decomposição da PTF, primeiramente estima-se o modelo das equações (1) e (2). Uma vez obtido o modelo estimado, é possível

⁶ O gasto do governo possui uma relação positiva com a ineficiência técnica.

⁷ Maior instabilidade dos preços exerce uma influência positiva sobre a ineficiência, calculada por $\ln(1+i)$.

⁸ A abertura econômica é definida por: (importações + exportações) / PIB.

⁹ *Agricultural area e Permanent meadows and pastures*.

decompor a taxa de mudança da PTF. Dessa forma, os componentes da produtividade são identificados após algumas manipulações algébricas da expressão que denota a parte determinística da fronteira de produção, combinada com a expressão referente ao índice de mudança da produtividade. Precisamente:

$$g_{ptf} = \frac{\dot{y}}{y} - s_k \frac{\dot{K}}{K} - s_l \frac{\dot{L}}{L} - s_i \frac{\dot{I}}{I} - s_t \frac{\dot{T}}{T}. \quad (3)$$

Da parte determinística, tem-se:

$$\frac{\dot{y}}{y} = \frac{\partial \ln f(t, K, L, I, T, \beta)}{\partial t} + \varepsilon_k \frac{\dot{K}}{K} + \varepsilon_l \frac{\dot{L}}{L} + \varepsilon_i \frac{\dot{I}}{I} + \varepsilon_t \frac{\dot{T}}{T} - \frac{\partial u}{\partial t}, \quad (4)$$

em que g_{ptf} é o crescimento da PTF; $\frac{\dot{y}}{y}$ é o crescimento da produção; t é a tendência; s_k é a participação do capital na renda; s_l é a participação do trabalho na renda; s_i é a participação dos insumos na renda; s_t é a participação da terra na renda; $\frac{\dot{K}}{K}$, $\frac{\dot{L}}{L}$, $\frac{\dot{I}}{I}$ e $\frac{\dot{T}}{T}$ são as taxas de variação de cada insumo; ε_k é a elasticidade do capital; ε_l é a elasticidade do trabalho; ε_i é a elasticidade dos insumos intermediários; ε_t é a elasticidade da terra; e β , o parâmetro estimado das variáveis explicativas.

Denotam-se os retornos de escala (RTS) como a soma das elasticidades. Formalmente:

$$RTS = \varepsilon_k + \varepsilon_l + \varepsilon_i + \varepsilon_t \quad (5)$$

Considerando $\Lambda_k = \frac{\varepsilon_k}{RTS}$, $\Lambda_l = \frac{\varepsilon_l}{RTS}$, $\Lambda_i = \frac{\varepsilon_i}{RTS}$ e $\Lambda_t = \frac{\varepsilon_t}{RTS}$, e fazendo-se a devida substituição no índice, após algumas manipulações algébricas, tem-se a seguinte expressão:

$$g_{ptf} = PT - \dot{u} + (RTS - 1) \cdot [\Lambda_k g_k + \Lambda_l g_l + \Lambda_i g_i + \Lambda_t g_t] + [(\Lambda_k - s_k) \cdot g_k + (\Lambda_l - s_l) \cdot g_l + (\Lambda_i - s_i) \cdot g_i + (\Lambda_t - s_t) \cdot g_t], \quad (6)$$

sendo g_k a taxa de crescimento de K ; g_l , a taxa de crescimento de L ; g_t , a taxa de crescimento de T ; g_i , a taxa de crescimento de I ; PT , o progresso técnico; e \dot{u} , a taxa de variação da ineficiência técnica.

Dessa maneira, a taxa de mudança na PTF, g_{PTF} , pode ser decomposta em quatro elementos, que juntos explicam a variação da PTF, sendo eles: progresso técnico, mudança na eficiência técnica, mudanças na escala de produção e mudanças na eficiência alocativa.

O progresso técnico é representado pela derivada da função de produção em relação ao tempo. O primeiro elemento da função (6), PT , é dado pela expressão:

$$PT = \frac{\partial \ln f(t, K, L, I, T, \beta)}{\partial t}. \quad (7)$$

A mudança na eficiência técnica é denotada pelo coeficiente de ineficiência técnica com o sinal negativo. Formalmente:

$$\dot{u} = \frac{\partial u}{\partial t}. \quad (8)$$

A mudança na escala de produção é dada pela expressão que contém os rendimentos de escala e as taxas de crescimento do capital, trabalho, insumos e terra. Precisamente:

$$(RTS - 1) \cdot [\lambda_k g_k + \lambda_l g_l + \lambda_i g_i + \lambda_t g_t]. \quad (9)$$

As mudanças na eficiência locativa, que relaciona as proporções de rendimentos de escala, participações do capital, trabalho, terra e insumos e as taxas de crescimento são denotadas por:

$$[(\lambda_k - s_k) \cdot g_k + (\lambda_l - s_l) \cdot g_l + (\lambda_i - s_i) \cdot g_i + (\lambda_t - s_t) \cdot g_t]. \quad (10)$$

RESULTADOS DO MODELO PROPOSTO

Buscando avaliar o progresso técnico, bem como a existência de eficiência técnica, foram realizados os testes sugeridos por Battese *et al.* (1995) e Feitosa (2009), cujos resultados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Teste da razão de verossimilhança para os parâmetros estimados

Teste	Hipótese nula	H_0	Valor de λ	Valor crítico	(nível de 5%)
Ausência de PT		$\alpha_2 = 0$	231,51	2,71	Rejeita-se H_0
Inexistência de ineficiência técnica		$z_{1t}, z_{2t}, \dots, z_{7t} = 0$	722,15	14,85	Rejeita-se H_0

Fonte: Elaboração própria.

$\lambda = -2 \{ \log [\text{verossimilhança } (H_0)] - \log [\text{verossimilhança } (H_1)] \}$. Esses testes possuem distribuição qui-quadrado com graus de liberdade equivalentes ao número de restrições independentes, ou seja, parâmetros testados iguais a 0.

Ao analisar a Tabela 1, verifica-se a presença de progresso técnico e de ineficiência técnica na agropecuária. Os resultados obtidos são amplamente reportados pela literatura sobre produtividade agrícola¹⁰. Portanto, os valores encontrados para esses testes estão de acordo com o esperado.

Após a escolha do modelo, a função de produção proposta na equação (1) foi estimada e a ineficiência técnica modelada, como sugerido na equação (2). Os valores encontrados estão consolidados na Tabela 2. A grande maioria dos coeficientes estimados foi significativa para um nível de confiança de 90% (indicado por **) ou 95% (*).

¹⁰ Dentre os estudos mais recentes que apresentam evidências que corroboram essa afirmação se destacam: Baráth e Fertő (2017), Anik *et al.* (2017), Fuglie e Wang (2012), Alston *et al.* (2010), Davis *et al.* (2012), FAO (2013), Headey *et al.* (2010), Restuccia (2008) e Luh *et al.* (2008).

Tabela 2. Resultado encontrado para as estimações realizadas

Função de produção			Ineficiência técnica		
Variável	Coeficiente	Desvio padrão	Variável	Coeficiente	Desvio padrão
t	0,04*	0,001	z_{2t}	-0,005*	0,001
$\ln K_{it}$	0,01	0,01	z_{3t}	-0,0004	0,039
$\ln L_{it}$	0,04*	0,02	z_{4t}	-0,25	0,25
$\ln T_{it}$	-0,13*	0,02	z_{5t}	-0,10*	0,04
$\ln I_{it}$	1,09*	0,02	z_{6t}	0,13	0,13
-	-	-	z_{7t}	-0,05	0,12
Constante	1,52*	0,36	Constante	1,26**	0,75

Fonte: Elaboração própria.

O valor encontrado para a variável terra é significativo e positivo, o que demonstra uma relação positiva entre o maior uso de terras e o crescimento da produção, para os países que compõem a amostra. No caso brasileiro, esse crescimento está relacionado aos ganhos de produtividade e às condições favoráveis de mercado, assim como às políticas públicas, incluindo as de apoio à comercialização e de crédito rural (Plano Agrícola e Pecuário 2014/2015).

Os resultados encontrados para o fator terra são aderentes aos obtidos por Cunha (1994), Vieira Filho e Silveira (2012), Fornazier e Vieira Filho (2013) e Alves (2010). Assim, o progresso técnico agropecuário é apontado como poupador de insumos. A importância relativa da terra para a produção agropecuária é reduzida diante da maior relevância dos demais insumos utilizados. Porém, os resultados do modelo demonstram que a quantidade de capital utilizada não é estatisticamente significativa (equação 11). Esse resultado pode indicar que o espaço para o aumento da produção através da adoção de políticas de estímulo à aquisição de máquinas agrícolas pode ter encontrado seu ponto de saciedade. Conforme apontado por Ricardo (1996), as terras de melhor qualidade, propícias à mecanização, já foram plenamente mecanizadas, de modo que a adoção de políticas de financiamento agrícola estimulou a aplicação dessa técnica em terras marginais, não propícias à mecanização. Tal procedimento, em terras mais adequadas para a pecuária, e a produção de frutas, ao invés da produção agrícola, não se converteram em aumento da produção de alimentos.

Os resultados aqui encontrados contrariam Resende (2002), para o qual tanto a terra de segunda¹¹ como a terra virgem podem ser convertidas em terras de melhor qualidade, mediante a aplicação de capital. Na realidade, existe um limite a partir do qual uma maior mecanização não irá necessariamente resultar em maior produção.

Esse resultado está de acordo com os encontrados por Gasques *et al.* (2010), Gasques, Bastos e Bacchi (2012, 2011, 2008), Gasques, Villa Verde e Oliveira (2004), Gasques e Conceição (2000) e Freitas e Bacha (2004), os quais demonstram que o capital humano, a mecanização e a utilização de insumos bioquímicos são os fatores que contribuem para o aumento da produção agropecuária no período recente. A FAO (2009) destaca a

¹¹ Terras marginais, conforme exposto no trabalho de Ricardo (1996).

crescente substituição de trabalho e terra por insumos bioquímicos na produção de alimentos. Fuglie e Wang (2012) e Alves (2010) argumentam que a terra passou a ser usada de forma intensiva, sendo o avanço da produtividade explicado pelo maior uso de fertilizantes. Alston *et al.* (2010) mostram que a produtividade mundial da terra e do trabalho diminuíram a partir da década de 1990, sendo a China e a América Latina as únicas exceções. Por fim, Alves (2010) indica que a mecanização possibilita a substituição de trabalho por capital. Portanto, é possível aumentar a produção apenas com maior utilização de fertilizante e capital, em substituição aos insumos referentes ao trabalho e à terra.

O incremento em 1% na quantidade de trabalho utilizada implica um crescimento de 0,04% da quantidade produzida, entre os países analisados. Esse resultado indica que, apesar da redução na contribuição relativa do trabalho para a produção de alimentos (FAO, 2009; FORNAZIER; VIEIRA FILHO, 2012, 2013; FUGLIE; WANG, 2012) e do desenvolvimento de novas tecnologias, como o plantio direto, a mecanização e a utilização de insumos químicos, – que possibilitam a produção em maiores quantidades empregando-se menos mão de obra (VIEIRA FILHO, 2009) –, tal fator continua relevante para o crescimento da produção agrícola.

Os resultados encontrados para os insumos intermediários, que compreendem todos aqueles oriundos de outros setores da economia e da própria agropecuária (serviços, adubos, fertilizantes, transporte, energia, entre outros) apresentam sinal positivo. De acordo com o resultado encontrado na equação (11), o aumento em 1% nos gastos com insumos intermediários resulta no acréscimo de 1,09% na produção agropecuária, sendo este o principal fator responsável pelo crescimento da produtividade agrícola.

Esse resultado está de acordo com o demonstrado por FAO (2013), Khush (2001) e Goodman e Redclift (2002). A incorporação de insumos intermediários aumenta a produção das lavouras. Por sua vez, pode-se afirmar que esses resultados também vão ao encontro dos apresentados por Graziano da Silva (1996) e Conceição (1998), os quais mostram que a modernização agrícola altera as relações na produção, através da formação de cadeias agroindustriais, resultando no aumento das ligações entre a agricultura e outros setores da economia. Deste modo, a utilização de insumos oriundos de outros setores (e.g. produtos químicos e fertilizantes) exercem influência elevada sobre a produção agrícola.

Em complemento, Restuccia (2008) afirma que as diferenças na produtividade agrícola entre os países são explicadas por variações na produtividade da economia como um todo e pela presença de barreiras ao uso de insumos intermediários modernos e barreiras no mercado de trabalho. A menor produção em países subdesenvolvidos se deve ao menor uso de insumos intermediários. Deste modo, a utilização mais intensiva desses insumos pode resultar em avanço considerável na quantidade produzida.

O indicador de tendência/progresso técnico (equação 11) ficou com sinal positivo e significativo a 95%, indicando que o progresso técnico contribuiu para o avanço da produção agrícola no período analisado, apesar de ter sido baixo. Esse resultado está de acordo com as evidências empíricas encontradas em Baráth e Fertő (2017), Anik *et al.* (2017), Fuglie e Wang (2012), Davis *et al.* (2012), O'Donnell (2011), Alston *et al.* (2010), OCDE (2011) e FAO (2009), os quais constataam que houve desaceleração da taxa de crescimento da produtividade agropecuária nos últimos anos nos países desenvolvidos, se elevando apenas em alguns países em desenvolvimento.

Essa queda na taxa de crescimento da produtividade se deve ao baixo nível de investimento no aperfeiçoamento de novas tecnologias, principalmente nos países em desenvolvimento (FAO, 2009). O investimento nesses países está concentrado na iniciativa pública e na produção de alimentos básicos e culturas menores, em detrimento de culturas comerciais. Ademais, o investimento em P&D agrícola está cada vez mais concentrado em poucos países. Segundo a FAO (2013), os baixos investimentos privados em P&D se devem às poucas condições de apropriabilidade, principalmente em países menores e em relação a *commodities* com distribuição geográfica limitada, o que acaba restringindo o crescimento da produtividade. Hertel e Baldos (2016) mostram que o investimento nessas *commodities* através do desenvolvimento de novas variedades pode elevar significativamente a produtividade agrícola.

O'Donnell (2011) e Baráth e Fertő (2017) salientam que os países europeus que se encontram próximos da fronteira agrícola devem investir em P&D para que as taxas de crescimento de sua produtividade voltem a se elevar. Por outro lado, para os países que se encontram mais distantes da fronteira, a cópia e a adaptação de tecnologias adotadas nos países da fronteira são capazes de elevar consideravelmente a produtividade. Recomendações semelhantes são feitas por Anik *et al.* (2017) para os países asiáticos, também sugerindo a realização de reformas institucionais que resultem em melhor funcionamento do mercado de arrendamento de terras, além do investimento em educação.

Os parâmetros estimados para as variáveis que explicam a ineficiência técnica são estatisticamente significativos a 95%, excetuando-se a variação do câmbio, o capital humano e a inflação, conforme se pode verificar nos indicadores da equação (12). Ademais, os sinais estimados para os parâmetros significativos são consistentes com os valores esperados.

De acordo com os resultados apresentados na equação (12), a abertura comercial (z_{2t}) apresenta sinal negativo. Isso sugere que os países que apresentam maior abertura comercial possuem menor ineficiência técnica na agropecuária. Esse resultado está de acordo com a literatura segundo a qual a abertura econômica contribui para o aumento da eficiência. Uma complementação para esse resultado é encontrada em Coura, Figueiredo e Santos (2006), os quais salientam que a abertura econômica resultou em aumento na eficiência produtiva em regiões que possuem maior acesso a serviços de assistência técnica e extensão rural. Esse resultado também é

corroborado por Headey *et al.* (2010), Fuglie e Wang (2012), Davis *et al.* (2012) e Fuglie e Wang (2012), os quais afirmam que os países precisam criar sistemas próprios de pesquisa e desenvolvimento, capazes de adaptar tecnologias desenvolvidas no exterior, desenvolver tecnologias próprias e investir em capital humano.

Assim, a visão aqui defendida é a de que a abertura econômica, por si só, contribui para o avanço da produtividade. Porém, o seu impacto é maior quando acompanhada de políticas de aquisição de tecnologias e de avanço na produtividade. Os países devem desenvolver competências internas que possibilitem a aquisição, utilização e ampla disseminação de tecnologias e conhecimentos externos, através da conciliação de atividades de pesquisa e desenvolvimento e formação de parcerias internacionais com políticas de extensão e disseminação de conhecimentos técnicos e melhores práticas de produção.

O capital humano (z_{4t}) apresenta sinal negativo, conforme demonstrado na equação (12), mas não significativo, indicando que a menor proporção de trabalhadores com qualificação resulta em maior ineficiência técnica. Esse resultado vai ao encontro do consenso convencional, segundo o qual o aumento do capital humano resulta em maior produção (SOLOW, 1988). Ademais, a literatura defende que o processo de difusão de novas tecnologias contribui para o aumento da produtividade dos países e aumenta a capacidade de realização de P&D (ROMER, 1990; ALBERGONI; PELAEZ, 2007).

A decomposição da produtividade, realizada por Luh (2008), mostra que a interação entre P&D doméstico e capital humano se constitui no principal determinante do progresso tecnológico agrícola interno das economias do leste asiático, sendo a dotação de capital humano crucial para a aquisição de conhecimentos estrangeiros via *spillovers* internacionais de conhecimento. Os países que não desenvolvem a capacidade de aprendizagem, para assimilar e explorar o conhecimento externo livremente disponível, podem não conseguir se beneficiar dos *spillovers* internacionais de P&D e avanço da produtividade agrícola. Essa argumentação é reforçada por Fuglie e Wang (2012) e Fuglie e Rada (2013). Já Lagakos e Michael (2013) mostram que a maior ineficiência técnica de países em desenvolvimento é explicada pelo menor nível de qualificação dos trabalhadores.

No entanto, Fuglie e Wang (2012) e Davis *et al.* (2012) constataam que as capacidades nacionais em pesquisa agrícola e industrial estão significativamente correlacionadas com o crescimento da PTF. De tal modo, a presença de trabalhadores qualificados é condição necessária, mas não é suficiente para o avanço da produtividade. As capacidades nacionais em extensão e educação agrícolas também são importantes. Contudo, Fuglie e Wang (2012) e Headey *et al.* (2010) destacam que ambas parecem ser menos relevantes do que a capacidade em pesquisa, quanto à liberação de restrições à produtividade. Portanto, a construção de centros nacionais de pesquisa é um importante elemento, por reduzir a ineficiência técnica, através do desenvolvimento de novas variedades mais

produtivas de cultivos locais, da correção do solo e do desenvolvimento de novas técnicas de cultivos e adaptação das variedades às características locais.

Para a variável z_{5t} (consumo do governo), contida na equação (12), foi demonstrada sua influência negativa sobre a ineficiência técnica, resultado contrário ao encontrado por Feitosa (2009) e Luh (2012). A intervenção do governo gera efeitos positivos e que estimulam a produtividade e a competitividade. Ademais, argumenta-se que a intervenção adequadamente realizada pode resultar em distorção no uso dos insumos e demais recursos, privilegiando grupos específicos de produtos agrícolas com maior potencial de crescimento em produtividade, o que reduz a ineficiência técnica.

Na Tabela 3, é exposto o crescimento da PTF e suas componentes que definem a mudança de escala, a eficiência locativa, o progresso técnico e a ineficiência técnica, obtidas a partir da equação (6). Nesta tabela, são apresentadas as variações dos insumos Trabalho (L), Valor Adicionado da agricultura (VA), Capital (K), Terra (T) e Insumos intermediários (I).

A expansão na produção foi acompanhada por uma maior utilização de capital e insumos intermediários, assim como pela redução no tamanho das terras utilizadas para a produção, conforme demonstrado na Tabela 3. Esse resultado indica que a produção agropecuária cresceu de forma intensiva, corroborando as evidências encontradas por Miranda (2002) e Gasques *et al.* (2008). Os resultados encontrados também reforçam a leitura favorável à argumentação de que as fronteiras agropecuárias estão próximas de seus limites, uma vez que os dados apresentados na Tabela 3 mostram baixo crescimento do progresso técnico¹².

Os ganhos de escala e progresso técnico apresentam taxa de crescimento positiva, apesar de baixa, contribuindo para a expansão da PTF de forma gradual nesse período (Tabela 3). Esse resultado corrobora as evidências levantadas por Alene (2010), Ludena (2010), Flugie e Wang (2012), Albergoni e Pelaez (2007), Conceição (1998) e Vicente (2004). Por exemplo, no caso do Brasil, os ganhos de escala foram de 0,76 (coluna sete), o que indica que a contribuição dos ganhos de escala para o crescimento da produtividade total dos fatores desse período foi próxima de nula.

Por mais que os países estejam apresentando produção mais intensiva em capital e insumos, a contribuição negativa na mudança de alocação de fatores, para a maioria deles, sugere que, no período analisado, o crescimento da produção mais intensiva não implicou necessariamente melhor alocação dos fatores. O resultado foi positivo apenas para Chipre e Grécia (Tabela 3). Cabe observar que esses países realizaram, mais recentemente, a abertura de suas economias e uma maior aproximação do mercado europeu, o que pode ter contribuído para a alocação mais eficiente dos fatores de produção no período. Oliveira (2006) destaca que a União Europeia (UE) é conhecida pela interferência que impõe aos seus

¹² Para mais informações, FAO (2009, 2013).

parceiros comerciais, impactando o país que desponta como competidor no mercado internacional, subsidiado pela UE.

Tabela 3. Média do crescimento dos fatores de produção, valor adicionado e as componentes da PTF por país no período de 2000-2014

País	VA	L	K	T	I	Escala	Alocati	PT	Eficiência	gptf
							va		técnica	
Austrália	141,61	79,79	176,88	94,28	120,20	100,43	72,84	106,36	20,71	3463620,69
Áustria	203,72	133,40	143,86	97,45	99,84	100,03	74,61	105,71	128,78	-139,61
Bélgica	143,86	169,62	149,25	96,69	112,01	100,23	71,16	106,97	-39,68	478979,34
Bulgária	240,29	84,16	242,39	100,55	95,01	100,08	31,46	104,83	140,18	-827745,41
Brasil	352,66	86,61	496,96	137,13	166,46	100,76	33,29	108,40	31,03	28069,67
Canadá	130,72	92,71	138,95	94,70	98,78	100,00	78,16	104,45	127,83	1422,91
Suíça	239,70	90,27	161,78	97,57	109,87	100,15	56,66	106,16	17,72	-172120,23
Chipre	41,32	90,73	79,03	81,82	104,53	100,17	130,78	108,28	-13,58	-6136015,55
República Checa	176,52	65,07	143,25	76,92	116,04	100,29	79,23	105,39	168,17	117088,67
Alemanha	157,01	106,88	130,43	100,49	67,88	99,46	55,74	100,69	187,85	420946,42
Dinamarca	203,24	95,61	113,48	106,11	112,71	100,18	99,17	105,32	351,90	10273,61
Espanha	148,67	99,54	140,38	93,98	151,85	100,74	94,43	109,30	25,71	-215,34
Estônia	545,48	64,87	516,98	96,60	133,15	100,47	24,30	112,23	-10,69	-101727,70
Finlândia	134,18	107,16	144,37	101,71	96,45	99,97	69,13	105,31	-38,73	224779,02
França	88,61	95,92	126,19	99,93	100,34	100,01	78,77	104,33	-151,00	-919334,68
Reino Unido	288,67	114,35	170,59	110,31	163,57	101,09	73,99	110,26	393,14	-1428567,83
Grécia	87,84	69,45	82,80	81,76	96,51	100,00	115,84	104,89	27,55	-19826,28
Croácia	185,62	89,11	156,66	95,33	84,94	99,80	61,22	103,15	-23,69	-2,67
Hungria	163,58	54,23	146,10	93,83	76,00	99,60	56,46	101,14	-63,79	-30730,73
Indonésia	377,47	190,58	565,01	116,34	114,27	100,27	12,65	103,23	3701,32	1253,00
Índia	411,32	106,52	407,38	97,59	139,55	100,56	25,74	105,44	-64,83	5850,27
Irlanda	119,27	83,45	89,39	89,06	141,66	101,63	83,45	109,89	40,75	-68657,25
Itália	113,79	92,86	125,26	80,68	94,99	99,96	75,10	104,29	56,65	297,70
Japão	101,69	107,93	101,69	95,00	81,11	99,73	81,03	101,63	106,61	-1481410054,5
Coreia, Rep.	178,30	95,12	175,93	87,39	108,74	100,18	55,04	103,27	121,31	-15,80
Lituânia	156,71	92,42	171,04	144,10	156,02	100,83	59,83	112,71	146,70	-1494715,52
Luxemburgo	497,10	207,95	669,97	100,98	232,99	101,47	27,89	126,27	40,07	-11,99
Letônia	431,83	49,02	432,08	126,20	165,35	100,76	16,35	114,35	117,55	6030,10
México	150,67	115,16	150,67	100,66	127,65	100,39	81,54	105,82	5,42	-38255,94
Malta	181,51	67,58	181,51	99,67	79,85	99,71	37,37	104,46	134,86	15,64
Países Baixos	161,99	96,60	152,69	115,47	112,42	100,15	67,34	105,71	64,98	1822,20
Noruega	131,00	75,00	137,81	91,73	100,38	100,01	71,61	104,65	-57,67	5378,58
Polônia	103,48	67,60	112,20	80,45	96,49	100,02	88,82	103,97	-5,39	821,39
Portugal	162,90	91,19	153,45	69,19	110,72	100,23	72,06	107,34	2318,54	-422,30
Romênia	408,82	44,38	348,48	93,67	97,75	100,13	15,95	104,02	59,90	7,36
Federação Russa	378,65	63,52	351,53	99,40	158,91	100,82	30,21	106,57	74,20	11,38
República Eslovaca	119,11	46,95	174,53	94,26	89,05	99,82	44,28	104,15	69,73	-100,89
Eslovênia	108,10	51,11	120,23	106,38	89,54	99,80	68,26	104,53	81,33	17,42
Suécia	258,05	125,82	156,34	96,32	109,83	100,18	66,97	105,41	102,64	-13646,66
Turquia	785,77	124,57	486,85	87,00	135,22	100,55	11,47	107,56	-1,39	-114,74
Estados Unidos	162,60	96,53	177,45	87,95	92,96	99,94	51,35	103,36	-19,01	-1170614525,2

Fonte: Elaboração própria.

A ineficiência técnica apresenta contribuição positiva, explicando parte considerável da distância dos países em relação à fronteira eficiente no período de 1995 a 2009. Apenas 15 dos 41 países analisados apresentaram avanço no progresso técnico, sendo que os demais registraram aumento na ineficiência técnica. Nesse item, destacam-se Indonésia, Portugal, Reino Unido e Dinamarca, que apresentam taxas muito maiores que os demais países em eficiência técnica, o que reflete importantes ganhos de eficiência

técnica nesse período. Assim, as elevadas taxas de crescimento da PTF nesse grupo de países são explicadas por essas mudanças.

Ademais, observa-se elevada variação da produtividade total dos fatores entre os países. Alguns, como é o caso de Estados Unidos, Suécia, Suíça, França, Espanha, Reino Unido, Estônia e Bulgária, apresentam elevada redução na PTF. Por outro lado, países como a Austrália, Bélgica, República Checa, Alemanha, Dinamarca, Finlândia, Letônia, Austrália e Bélgica registram avanço na PTF. O comportamento distinto da PTF entre tais países é explicado pela evolução da ineficiência técnica e pelas políticas econômicas adotadas. A presença de fatores idiossincráticos faz a ineficiência técnica variar significativamente entre os países, resultando em variação elevada da produtividade total dos fatores. De tal modo, a produtividade agrícola apresenta alta sensibilidade a fatores não mensurados pelas variáveis adicionadas ao modelo, por exemplo, devido às intempéries climáticas.

Por um lado, alguns países em desenvolvimento lograram êxito em se aproximar da fronteira tecnológica. Eles adotaram políticas econômicas voltadas para qualificação dos trabalhadores, investimento em pesquisa e abertura e estabilização da economia, as quais contribuíram para a ocorrência do progresso técnico, se desdobrando em avanço da PTF. Por outro lado, alguns países europeus, como é o caso da França, estão revendo suas políticas agrícolas, buscando estimular a adoção de práticas ambientais mais sustentáveis, o que pode explicar a redução na produtividade. Já no caso dos Estados Unidos, a redução da PTF pode ser explicada pela política de diversificação na matriz energética. Por exemplo, a política de estímulo à produção de etanol a partir do milho leva muitos agricultores a plantarem milho em detrimento de outras culturas que apresentam maior PTF. Como esses países já se encontram próximos da fronteira eficiente, as possibilidades de ganho via aumento da eficiência técnica são baixas, o que somado à adoção de políticas econômicas voltadas para a sustentabilidade e a autonomia energética pode ter contribuído para a redução da PTF.

As evidências encontradas neste trabalho estão de acordo com os resultados alcançados por Helfand *et al.* (2015), os quais mostram que as fazendas brasileiras apresentam perda de eficiência técnica. O fenômeno parece não ter sido exclusivamente brasileiro, estando associado ao aumento do conteúdo tecnológico e das exigências técnicas necessárias para a realização da produção agropecuária no cenário mundial. A literatura internacional reporta que a presença de ineficiência técnica é o principal elemento que explica as diferenças de produtividade entre os países (ANIK *et al.*, 2017; NIN-PRATT, 2016; LUH, 2012; DAVIS *et al.*, 2012; ALSTON *et al.*, 2010).

O menor ritmo de crescimento da produtividade no período em análise no Brasil é explicado pela ineficiência locativa e técnica, de 33,29 e 31,03, respectivamente, e a maior contribuição positiva para o crescimento foi a do progresso técnico, 108,40. No período de 2000 a 2014, a quantidade empregada de fatores de produção aumentou. Todavia, a produção

creceu em ritmo maior. Entretanto, os ganhos de progresso técnico e de escala contribuíram para que o impacto negativo da ineficiência técnica e alocativa não fosse de maior magnitude (Tabela 3). Resultado semelhante é encontrado por Vicente (2004) para o período de 1970 a 1995. Vicente (2004), Fuglie e Wang (2012) e Alston *et al.* (2010) salientam que existe espaço para o crescimento da produtividade agrícola nos países analisados, por meio da realização de políticas que resultem no aumento da eficiência técnica. Dado que o Brasil já atingiu a estabilidade econômica, o investimento em pesquisa e desenvolvimento e assistência técnica e extensão rural se encontram entre as políticas que o governo brasileiro pode adotar para promover a elevação na eficiência da produtividade e da produção agropecuária. Tal política deve ser pontual, direcionada principalmente para as atividades que apresentam maior distância da fronteira técnica internacional e para os cultivos locais com baixa produtividade, a fim de auxiliar as atividades com menor produtividade em termos relativos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das expectativas de crescimento da renda e da população mundial nas próximas décadas, haverá pressão adicional sobre a demanda de alimentos. Nessas circunstâncias, a expansão da oferta se coloca como condição necessária para evitar maiores conflitos de acesso a alimentos e, conseqüentemente, aumento da fome no mundo.

A produtividade agropecuária mundial, embora tenha apresentado avanço considerável nas últimas décadas, vem demonstrando maiores dificuldades para manter essa expansão. Assim, o ritmo de crescimento da produtividade está caindo, e a expansão da produção se torna um desafio cada vez maior. Dada a limitação do aumento da oferta de alimentos através da expansão da área plantada, o crescimento da produtividade se coloca como primordial para que a pressão adicional sobre a oferta de alimentos seja reduzida. Nesse contexto, o presente trabalho buscou identificar quais foram os principais fatores responsáveis pelo comportamento apresentado pela produtividade agropecuária nos principais países produtores de alimentos entre 2000 e 2014.

Os resultados corroboram a proposição levantada, isto é, não se pode rejeitar a hipótese de que o crescimento da eficiência técnica foi o fator que mais contribuiu para o avanço na produtividade agropecuária e, por consequência, na oferta de alimentos. No período recente, o crescimento da PTF foi positivamente influenciado pelo progresso técnico. Porém, este está desacelerando, principalmente nos países desenvolvidos. A adoção de políticas responsáveis por promover o aumento na eficiência técnica, através da abertura comercial e do investimento em pesquisa, pode contribuir para o avanço na produtividade agrícola.

Ademais, a introdução de insumos à agropecuária se apresentou como fator determinante para o aumento da produção. Por conseguinte, o maior uso de insumos químicos proporcionou relação de substituição dos fatores

de produção, resultando em maior produção com menor quantidade de terra e trabalho, o que refletiu em melhorias na eficiência alocativa.

Por outro lado, o fator capital e os ganhos de escalas não contribuíram para o avanço da produção, provavelmente devido à sua elevada difusão e ocupação dos espaços existentes. Atualmente, a expansão do capital ocorre principalmente em terras marginais, nas quais a sua maior utilização não resulta em maior produção. Políticas voltadas para a aquisição de capital, como o financiamento subsidiado, tendem a não apresentar resultados positivos sobre a produção agrícola, pois apenas estimulam a expansão da mecanização para terras com menor produtividade, nas quais a inserção de capital resulta em má alocação de recursos. Tais políticas também tendem a gerar concentração de renda, não sendo recomendada a sua adoção.

Os resultados obtidos para a decomposição da PTF mostraram que os países em desenvolvimento estão manifestando elevada mudança tecnológica, mas ainda apresentam ineficiência alocativa. Esta é explicada pelo baixo grau de acesso à informação, pela carência de habilidades entre os agricultores e por problemas de fornecimento de insumos. Nesse contexto, a adoção de políticas voltadas para pesquisa adaptativa, extensão, educação dos fazendeiros e melhor fornecimento de insumos pode resultar em crescimento considerável da produtividade, ao reduzir tais ineficiências. A criação de centros nacionais de P&D e de programas de cooperação e transferência tecnológica são as principais ações que os países devem adotar para reduzir a ineficiência técnica.

Em linhas gerais, o presente estudo mostrou que a produção mundial de alimentos pode crescer por meio da adoção de políticas de promoção do progresso técnico e da eficiência técnica. Ademais, a utilização de insumos intermediários e a pesquisa podem ampliar a oferta de alimentos, sem necessidade de expansão dos limites territoriais já explorados e da mecanização, que já ocupou todos os espaços possíveis. Pesquisas futuras podem empregar a metodologia aqui utilizada para avaliar se a produtividade dos países que recebem subsídios agrícolas é superior aos países que não adotam essa prática.

REFERÊNCIAS

AIGNER, Dennis; LOVELL, CA Knox; SCHMIDT, Peter. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of econometrics*, v. 6, n. 1, p. 21-37, 1977.

ALBERGONI, Leide; PELAEZ, Victor. Da revolução verde à agrobiotecnologia: ruptura ou continuidade de paradigmas? *Revista de Economia*, v. 33, n. 1, 2007.

ALENE, Arega D. Productivity growth and the effects of R&D in African agriculture. *Agricultural Economics*, v. 41, n. 3-4, p. 223-238, 2010.

ALSTON, Julian M.; BABCOCK, Bruce A.; PARDEY, Philip G. *The shifting patterns of agricultural production and productivity worldwide*. Midwest Agribusiness Trade Research and Information Center, 2010.

ALVES, Eliseu Roberto de Andrade. O que significam as medidas de produtividade da agricultura? *Revista de Economia e Agronegócio/Brazilian Review of Economics and Agribusiness*, v. 8, n. 822-2016-54229, p. 349-370, 2010.

ANIK, Asif Reza; RAHMAN, Sanzidur; SARKER, Jaba Rani. Agricultural productivity growth and the role of capital in South Asia (1980-2013). *Sustainability*, v. 9, n. 3, p. 470, 2017.

BARÁTH, Lajos; FERTŐ, Imre. Productivity and convergence in European agriculture. *Journal of Agricultural Economics*, v. 68, n. 1, p. 228-248, 2017.

BATTESE, George E.; CORRA, Greg S. Estimation of a production frontier model: with application to the pastoral zone of Eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural economics*, v. 21, n. 3, p. 169-179, 1977.

BATTESE, George Edward; COELLI, Tim J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical economics*, v. 20, n. 2, p. 325-332, 1995.

BAUER, Paul W. Recent developments in the econometric estimation of frontiers. *Journal of econometrics*, v. 46, n. 1-2, p. 39-56, 1990.

BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos. A taxa de câmbio no centro da teoria do desenvolvimento. *Estudos Avançados*, v. 26, n. 75, p. 7-28, 2012.

CEPII. The world economy in 2050: a tentative picture. *CEPII Working paper*, 2010.

CONCEIÇÃO, Pedro Henrique Zuchi. *Produtividade total e mudança técnica na agricultura brasileira, período 1955-1994*. 1998. Tese (Doutorado em ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo.

CONNOR, Richard. *The United Nations world water development report 2015: water for a sustainable world*. UNESCO publishing, 2015.

CUNHA, A. *et al.* Uma avaliação da sustentabilidade da agricultura nos cerrados. *Estudos de Política Agrícola*, n. 2, dez. 1993.

DAVIS, Kristin *et al.* Impact of farmer field schools on agricultural productivity and poverty in East Africa. *World Development*, v. 40, n. 2, p. 402-413, 2012.

FAO. *Fao statistical yearbook 2013 world food and agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome p. 307, 2013.

FAO. *Food and Agriculture Organization of the United Nations. Trade – Crops and livestock products*, 2015.

FAO. *How to feed the world in 2050. High level expert forum*. Convened at FAO Headquarters in Rome on 12-13 Oct. 2009.

FAO. *The state of food insecurity in the world 2014: strengthening the enabling environment for food security and nutrition*. Rome, 2015.

FEENSTRA, Robert C. et al. The Next Generation of the Penn World Table. *American Economic Review*, v. 105, n. 10, p. 3150-3182, 2015.

FEITOSA, Débora Gaspar. *Três ensaios sobre crescimento econômico na América Latina e no Brasil*. 2009. Tese (Doutorado em economia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

FONSECA, Ricardo Mendonça da. *Função de produção para a agricultura e produtividade total dos fatores-Brasil, 1995-96*. 2007. Tese (Doutorado em economia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

FORNAZIER, Armando; VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro. *Heterogeneidade estrutural na produção agropecuária: uma comparação da produtividade total dos fatores no Brasil e nos Estados Unidos*. Texto para Discussão, 2013.

FREITAS, Clailton Ataídes de; BACHA, Carlos José Caetano. Contribuição do capital humano para o crescimento da agropecuária brasileira: período de 1970 a 1996. *Revista Brasileira de Economia*, v. 58, n. 4, p. 533-557, 2004.

FUGLIE, Keith O.; WANG, Sun Ling. New evidence points to robust but uneven productivity growth in global agriculture. *Amber Waves*, v. 10, n. 3, p. 1, 2012.

FUGLIE, Keith; RADA, Nicholas. Resources, policies, and agricultural productivity in sub-Saharan Africa. *USDA-ERS Economic Research Report*, n. 145, 2013.

GASQUES, J. G.; VILLA VERDE, C. M.; OLIVEIRA, J. A. F. G. *Crédito rural e estruturas de financiamento*. Brasília: Ipea, texto para Discussão, n. 1036, 2004.

GASQUES, J. G; et al. *Condicionantes da produtividade da agropecuária brasileira*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2004.

GASQUES, José Garcia (Org.); VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro (Org.); NAVARRO, Zander (Org.). *A agricultura brasileira: desempenho, desafios e perspectivas*. IPEA, 2010.

GASQUES, José Garcia; BASTOS, Eliana Teles; BACCHI, Mirian R. Piedade. *Produtividade e fontes de crescimento da agricultura brasileira. Políticas de incentivo à inovação tecnológica*, 2008.

GASQUES, José Garcia; DA CONCEIÇÃO, Júnia Cristina PR. *Transformações estruturais da agricultura e produtividade total dos fatores*. Brasília: Ipea, Texto para Discussão, n. 768, 2000.

GOODMAN, David; REDCLIFT, Michael. *Refashioning nature: food, ecology and culture*. Routledge, 2002.

GRAZIANO DA SILVA, José. *A nova dinâmica da agricultura brasileira*. Campinas, IE/ UNICAMP, 1996.

HEADEY, Derek; ALAUDDIN, Mohammad; RAO, DS Prasada. Explaining agricultural productivity growth: an international perspective. *Agricultural Economics*, v. 41, n. 1, p. 1-14, 2010.

HELFAND, Steven M.; MAGALHÃES, Marcelo M.; RADA, Nicholas E. *Brazil's agricultural total factor productivity growth by farm size*. IDB Working paper series, 2015.

HERTEL, T. W.; BALDOS, U. L. C. *Crescimento da Produtividade e Rendimentos no Setor de Culturas Globais: Mudança Global e os Desafios da Alimentação Sustentável de um Planeta em crescimento*. Springer International Publishing. p. 27-39, 2016.

KHUSH, Gurdev S. Green revolution: the way forward. *Nature reviews genetics*, v. 2, n. 10, p. 815-822, 2001.

KUMBHAKAR, Subal C.; DENNY, Michael; FUSS, M. Estimation and decomposition of productivity change when production is not efficient: a panel data approach. *Econometric Reviews*, v. 19, n. 4, p. 312-320, 2000.

LAGAKOS, David; WAUGH, Michael E. Selection, agriculture, and cross-country productivity differences. *American Economic Review*, v. 103, n. 2, p. 948-80, 2013.

LAL, Rattan. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, Raquel Scalia Alves; CHRISTOFIDIS, Demetrios. *O uso da irrigação no Brasil. O estado das águas no Brasil*. Agência Nacional de Energia Elétrica. CD-ROM, 1999.

LUDENA, Carlos. E. *Agricultural Productivity Growth, Efficiency Change and Technical Progress in Latin America and the Caribbean*. IDB Working Paper No. 61. Available at SSRN: <<https://ssrn.com/abstract=1817296> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1817296>>, 2010

LUH, Yir-Hueih; CHANG, Ching-Cheng; HUANG, Fung-Mey. Efficiency change and productivity growth in agriculture: A comparative analysis for selected East Asian economies. *Journal of Asian Economics*, v. 19, n. 4, p. 312-324, 2008.

MEADOWS, Donella H. et al. *Beyond the limits: Confronting global collapse, envisioning a sustainable future*. Post Mills, Vt.: Chelsea Green Pub. Co., 1992.

MEEUSEN, Wim; VAN DEN BROECK, Julien. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, p. 435-444, 1977.

MIRANDA, E. F. *Agricultura: 1994/2002- Crescimento e modernização*. Ministério da Fazenda Secretaria de Política Econômica, Ago. 2002.

NIN-PRATT, Alejandro. Inputs, productivity and agricultural growth in sub-Saharan Africa. In: *Productivity and Efficiency Analysis*. Springer, Cham, 2016. p. 175-201.

O'DONNELL, Christopher J. et al. *DPIN version 1.0: a program for decomposing productivity index numbers*. School of Economics, University of Queensland, Australia, 2010.

OLIVEIRA, Samuel José de Magalhães; FERREIRA FILHO, Joaquim Bento de Souza. A expansão da União Européia em 2004 e seus impactos no agronegócio brasileiro. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 46, n. 4, p. 937-967, 2008.

ORGANIZAÇÃO DE COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). *Fostering productivity and competitiveness in agriculture*. OECD, 2011.

PITT, Mark M.; LEE, Lung-Fei. The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry. *Journal of development economics*, v. 9, n. 1, p. 43-64, 1981.

RESENDE, Gervásio Castro de. *Ocupação Agrícola e Estrutura Agrícola no Cerrado: o Papel do Preço da Terra, dos Recursos Naturais e da Tecnologia*. IPEA, 2002.

RESTUCCIA, Diego; YANG, Dennis Tao; ZHU, Xiaodong. Agriculture and aggregate productivity: A quantitative cross-country analysis. *Journal of monetary economics*, v. 55, n. 2, p. 234-250, 2008.

RICARDO, David. *Os Economistas- Princípios de Economia Política e Tributação*. Editora nova Cultura, São Paulo, 1996.

ROMER, Paul M. Endogenous technological change. *The Journal of Political Economy*, v. 18 n.5 p. 71-102, 1990.

SCHMIDT, Peter; SICKLES, Robin C. Production frontiers and panel data. *Journal of Business & Economic Statistics*, v. 2, n. 4, p. 367-374, 1984.

SILVA, Fernanda Aparecida; FREITAS, Carlos Otávio de; MATTOS, Leonardo Bornacki de. Volatilidade da taxa de câmbio e seus efeitos sobre o fluxo de comércio dos países da América do Sul. *Revista de Economia Contemporânea*, v. 20, n. 2, p. 229-249, 2016.

SOLOW, Robert M. Growth theory and after. *The American Economic Review*, v. 78, n. 3, p. 307-317, 1988.

SOUZA, G. S.; GOMES, E. G.; GAZZOLA, R. *Eficiência técnica na agricultura brasileira: uma abordagem via fronteira estocástica*. Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, n. 13, 2010.

TIMMER, Marcel P. et al. An illustrated user guide to the world input-output database: the case of global automotive production. *Review of International Economics*, v. 23, n. 3, p. 575-605, 2015.

VICENTE, José R. Mudança tecnológica, eficiência, produtividade total de fatores na agricultura brasileira, 1970-95. *Economia Aplicada*, v. 8, n. 4, p. 729-760, 2004.

VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro; SILVEIRA, José Maria Ferreira Jardim da. Mudança tecnológica na agricultura: uma revisão crítica da literatura e o papel das economias de aprendizado. *Revista de economia e sociologia rural*, v. 50, n. 4, p. 721-742, 2012.