

Eficiência e mudanças tecnológicas da agropecuária no nordeste brasileiro em 2006 e 2017

Efficiency and technological change of the agricultural sector in the Brazilian Northeastern Region in 2006 and 2017

Renata Benício de Oliveira¹ , Janaina da Silva Alves² , Eliane Pinheiro de Sousa³ 

¹Programa de Pós-graduação em Economia Aplicada, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba (SP), Brasil. E-mail: renatabenicio086@gmail.com

²Programa de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal (RN), Brasil. E-mail: janaina.alves@ufrn.br

³Programa de Pós-graduação em Economia Regional e Urbana, Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato (CE), Brasil. E-mail: pinheiroeliane@hotmail.com

Como citar: Oliveira, R. B., Alves, J. S., & Sousa, E. P. (2025). Eficiência e mudanças tecnológicas da agropecuária no nordeste brasileiro em 2006 e 2017. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 63, e284563. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2025.284563>

Resumo: Este estudo busca mensurar os escores de eficiência técnica do setor agropecuário dos municípios do Nordeste brasileiro, em 2006 e 2017, e analisar a influência das mudanças tecnológicas e de eficiência sobre os resultados obtidos. Para tal, utilizaram-se o modelo de Análise Envoltória dos Dados (DEA), juntamente com o Índice de Malmquist, para uma amostra de 1.263 municípios. Os resultados evidenciaram que, em ambos os anos, parcela majoritária destes obteve escores de eficiência menores que 0,25, indicando, portanto, que os produtores, em nível municipal, estão desperdiçando insumos durante seu processo produtivo. Ademais, o Índice de Malmquist revelou que o maior obstáculo para o aumento da eficiência é o atraso tecnológico, que permanece presente mesmo considerando-se um hiato temporal superior a 10 anos. Assim, concluiu-se que é necessário que o poder público fortaleça seus instrumentos promotores do desenvolvimento agropecuário no Nordeste e amplie o alcance destes, de modo a atingir uma maior quantidade de produtores.

Palavras-chave: agropecuária nordestina, análise envoltória dos dados, índice de Malmquist.

Abstract: This study seeks to measure the technical efficiency scores of the agriculture and animal farming sector of the municipalities of the Brazilian Northeastern region, in 2006 and 2017, and to analyze the influence of technological change and of efficiency on the obtained results. In order to achieve that, it was used the Data Envelopment Analysis model (DEA), along with the Malmquist Index, for a sample of 1,263 municipalities. The results showed that, in both years, the majority of these obtained efficiency scores lower than 0.25, therefore indicating that the producers/farmers, at the municipal level, are wasting raw material during their production process. In addition, the Malmquist Index revealed that the greatest obstacle for the increase of efficiency is technological backwardness, which is still present even in view of a time gap higher than 10 years. Thus, it was concluded that it is necessary that public authorities strengthen their tools to promote the development of agriculture and animal farming in the Northeast and expand their reach, so as to encompass a larger number of producers/farmers.

Keywords: northeastern agriculture and animal farming, data envelopment analysis, Malmquist index.

1 Introdução

O Brasil dispõe de diversas vantagens naturais, decorrentes de sua benéfica localização geográfica, que, juntamente às inversões feitas em prol do desenvolvimento da pesquisa e tecnologia agrícola, contribuíram para que o país viesse a se tornar um grande exportador de bens agropecuários (Brasil, 2018). Entre tais vantagens, podem ser mencionadas o clima favorável, que contribui para um custo de produção relativamente menor que em outras



nações; a existência de largas extensões de terra adequadas para cultivo; e o apoio fornecido por instituições de pesquisa agropecuária conceituadas, como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (Guimarães & Pereira, 2014). Assim, o papel da agropecuária nacional é extremamente relevante, tanto socialmente, a partir do fornecimento de gêneros alimentícios, como economicamente, sobretudo no que se refere ao crescimento do agronegócio (Pintor & Piacenti, 2016).

A agropecuária brasileira tem representado tanto uma parcela expressiva do Produto Interno Bruto (PIB) como das exportações nacionais. Considerando o ano de 2017, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017), esse segmento obteve uma participação de 5,7% no PIB, enquanto, paralelamente, conforme o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior [MDIC] (Brasil, 2022), esse setor também foi responsável por 17,94% do valor total das exportações, tornando o Brasil o terceiro maior exportador de produtos agropecuários no mundo. Além disso, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019a), no ano de 2017, o Brasil possuía 5.073.324 estabelecimentos agropecuários, que ocupavam aproximadamente 41% da área do país.

Em âmbito regional, percebe-se que a distribuição dos estabelecimentos é semelhante ao longo do país, com exceção do Nordeste, onde há maior concentração. De acordo com Leão (2018), essa região abriga 2,2 milhões de unidades agropecuárias, o que corresponde a 45,8% do total nacional, que estão alocadas em 45,31% da área nordestina. Ademais, conforme o BNB (Banco do Nordeste do Brasil, 2021), em 2019, as vendas do agronegócio corresponderam a 46,3% do total exportado pela região. Do ponto de vista da balança comercial, o BNB (Banco do Nordeste do Brasil, 2020) ressalta que, ainda em 2019, esta apresentou um superávit equivalente a mais de US\$5 bilhões, resultantes das exportações de quase 15,5 milhões de toneladas de *commodities*. Já ao se observar os valores da produção agrícola, em 2021, os dados da Produção Agrícola Municipal (PAM), pesquisa realizada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2022a), apontam que as lavouras temporárias e permanentes somaram pouco mais de 80 milhões de reais, o que representa cerca de quase 11% do valor total registrado pelo Brasil. Por outro lado, segundo os dados da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM), divulgada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022b), o valor da produção agropecuária nordestina em 2021 correspondeu a cerca de 15,6 milhões de reais (ou 17,15% do valor total nacional).

Apesar da boa *performance* da agricultura e da pecuária nordestinas, algumas características geográficas da região Nordeste – em especial, a quantidade e a irregularidade da frequência das chuvas, o que resulta em períodos de seca; altas temperaturas, o que facilita a perda de água por parte dos solos e das plantas; pouca permeabilidade dos solos; e riscos de erosão (Aquino et al., 2020) dificultam a produção agropecuária. Além disso, os produtores nordestinos não são homogêneos, o que atribui uma certa complexidade às características do setor da região. Nesse sentido, Silva et al. (2019) citam o exemplo dos agricultores nordestinos das regiões semiáridas e não semiáridas, que se diferenciam em seus contextos geográficos, culturais, econômicos, ambientais, históricos, sociais e institucionais, o que faz com que estes possuam distintas oportunidades de produção.

Diante desse conjunto de obstáculos, a utilização eficiente de seus recursos produtivos se torna de extrema relevância, ao otimizar os recursos, que são escassos. Em consonância com Guesmi et al. (2012), na presença de ineficiências técnicas, os produtores possuem condições de elevar a quantidade produzida, sem a necessidade de aumentar seu nível de insumos, que, geralmente, são escassos, ou adotar novas tecnologias ou práticas com essa finalidade. Assim, pode-se evitar que os recursos disponíveis sejam desperdiçados, o que é um requisito para

a sustentabilidade econômica. Ademais, é comum que agricultores mais eficientes tenham resultados econômicos melhores do que os menos eficientes.

A definição de eficiência econômica é constituída a partir da junção de dois conceitos: eficiência técnica e alocativa. A primeira analisa a razão entre o produto observado e o potencial máximo atingível, considerando-se um dado nível de insumos; enquanto a segunda avalia a razão entre o nível de insumos empregado e o mínimo necessário para se produzir determinada quantidade de produto (Lovell, 1992), considerando os preços relativos e visando maximizar o lucro ou minimizar os custos (Reis et al., 2005). Isso implica dizer que uma unidade ineficiente tem capacidade de produzir mais, com uma certa quantidade de insumos, ou de manter o nível de produção vigente, utilizando menos insumos (Brasil, 2018).

No que tange aos estudos realizados com foco nas atividades agropecuárias, podem ser mencionados os estudos recentes de Scherer & Porsse (2017), que buscaram analisar a eficiência do setor agropecuário no Estado do Rio Grande do Sul, com dados de 2006; Effendy et al. (2019), que almejavam avaliar a eficiência das fazendas de cacau na região de Celebes, na Indonésia, para o ano de 2016; Silva et al. (2019), que compararam a eficiência técnica entre as regiões semiáridas e não semiáridas do Nordeste, considerando dados municipais referentes aos anos de 1975, 1985, 1995/96 e 2006; Reis et al. (2020), que mensuraram a eficiência do setor agrícola para os países da América Latina e Caribe, nos anos de 1991 a 2012; Wang e Hu (2021), que computaram a eficiência técnica de 18 produtores de milho, localizados em 12 países, para o período 2012-2019; Santos et al. (2022), que se propuseram a analisar o comportamento da produtividade total dos fatores (PTF) de algumas empresas do setor agropecuário brasileiro que receberam crédito do BNDES, entre 2012 e 2015; Baion et al. (2023), que investigaram o crescimento da produtividade agrícola nos países da África Subsaariana, no período 1961-2019; Ramos & Vieira Filho (2023), que tiveram como objetivo avaliar o impacto das cooperativas e associações na produção agropecuária familiar brasileira e estudar os condicionantes de sua eficiência técnica, para o ano de 2017; Bassotto et al. (2024), que se propuseram a calcular a eficiência técnica dos produtores familiares de leite em Minas Gerais para o ano de 2021. Nesse contexto, este estudo inova ao trazer um cenário mais recente sobre a eficiência da agropecuária nordestina, uma vez que utiliza os dados dos Censos Agropecuários de 2006 e 2017.

Considera-se que o setor agropecuário é um dos que colabora para a geração de empregos¹ e de excedente exportável². Dessa forma, elevar os níveis de eficiência da produção rural é uma das metas mais relevantes que os governos têm buscado ao longo dos anos, em razão dos benefícios proporcionados, como aumento da produção e da renda dos produtores rurais, o que desestimula o êxodo rural; elevação do saldo da balança comercial (Gomes & Baptista, 2004); aumento da segurança alimentar e a criação de excedentes que contribuem de forma considerável para o crescimento industrial (Scherer & Porsse, 2017).

Diante do exposto, infere-se que análises direcionadas à eficiência permitem a identificação de gargalos no processo de produção e, assim, facilitam o planejamento e a tomada de decisão, de modo a melhorar o desempenho de determinado setor e, conseqüentemente, das condições de vida da parcela da população que está envolvida nessas atividades. Logo, se propõe nesta pesquisa mensurar a eficiência do setor agropecuário nos municípios localizados na região Nordeste do Brasil, em 2006 e 2017, com uso das metodologias DEA e Índice de Malmquist, e analisar a influência das mudanças tecnológicas e de eficiência sobre os resultados obtidos,

¹ O número de pessoas ocupadas, em 2017, correspondeu a 1,5 milhões, no setor agropecuário (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019b); a 7,7 milhões, na indústria (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019c); e a 12,3 milhões, no setor de serviços (Gandra, 2019).

² Em 2017, a participação do agronegócio nas exportações totais do Brasil foi de 44% (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada [CEPEA], 2018).

visto que os subíndices do Índice de Malmquist exibem os efeitos das alterações tecnológicas e no nível de eficiência sobre a produtividade das unidades produtivas, sendo um instrumental relevante para a compreensão dos escores de eficiência calculados. O conceito de eficiência considerado neste estudo contempla a possibilidade de se produzir mais mantendo-se constante o nível de insumos utilizados pelos estabelecimentos naquele período

O artigo está estruturado em cinco seções, incluindo esta com as considerações introdutórias. A segunda destina-se ao embasamento teórico. Os métodos analíticos, as variáveis consideradas e fontes dos dados estão detalhados na terceira. Os resultados são mostrados e discutidos na quarta e, por fim, reserva-se a última para as conclusões.

2 Fundamentação Teórica

Na literatura econômica, a mensuração do nível de eficiência, no que se refere ao processo de produção, é realizada com base na comparação entre os valores observados e os valores considerados ótimos. Portanto, a noção de eficiência está conectada com o menor custo ou a maior produção possível em dado sistema produtivo (Freitas, 2014). Dessa forma, um processo produtivo economicamente eficiente é aquele em que os custos são minimizados, empregando-se a melhor combinação possível dos insumos disponíveis, dados os seus respectivos preços, e, simultaneamente, o produto potencial é maximizado (Almeida, 2012).

Por vezes, o conceito de eficiência é confundido com o de produtividade, porém esses termos possuem significados diferentes. Enquanto a eficiência é focada em valores ótimos, a fim de evitar desperdícios, a produtividade está associada à razão entre produto e insumo, isto é, a quantidade produzida por cada unidade de insumo utilizado. Dessa forma, quando uma unidade produtiva corrige suas ineficiências, a produtividade aumenta, porém, não necessariamente a situação inversa será verdadeira (Stuker, 2003).

O primeiro indicador de eficiência produtiva, denominado de Coeficiente de Utilização dos Recursos, foi desenvolvido por Debreu (1951) e se fundamentava na ideia de que os insumos produtivos estão alocados de forma eficiente quando, a partir de determinado ponto, se torna impossível decrescer sua quantidade e manter o mesmo nível de produção. Assim, após mensurar os coeficientes de cada firma, o autor analisou os níveis de ineficiência a partir das distâncias destas em relação à fronteira de produção ótima. Freitas (2014) acrescenta que, na mesma década, Koopmans (1951) e Shephard (1953) também forneceram contribuições importantes para a temática. Koopmans (1951) estabeleceu um conceito de eficiência segundo o qual essa é alcançada quando a produção de um bem não é passível de ser elevada sem que a de outro bem seja reduzida. Por outro lado, assim como Debreu (1951), Shephard (1953) baseou sua análise de eficiência a partir das distâncias entre as unidades produtivas ineficientes e a fronteira de eficiência.

Apesar da relevância dessas contribuições, o conceito mais utilizado e difundido é o de Farrel (1957), que defende que uma unidade produtiva é eficiente quando produz a maior quantidade possível com os insumos disponíveis. Quintela (2011) explica que Farrel (1957) contribuiu para a literatura que trata da eficiência, ao elaborar técnicas de programação matemática direcionadas à sua mensuração. Assim, o autor criou uma fronteira de eficiência, representada por uma isoquanta, tendo como base as diferentes combinações de insumos, tecnologias e produtos gerados.

Posteriormente, Farrel & Fieldhouse (1962) contribuíram para essa temática, ao desenvolverem medidas de eficiência capazes de avaliar, simultaneamente, as relações entre vários insumos e produtos, a partir do cálculo de uma unidade tomadora de decisão (*Decision Making Unit* –

DMU, em inglês) “virtual”, resultante de uma média ponderada de firmas eficientes, que seria utilizada como referência para as demais unidades (Alvim & Stulp, 2014). Na década de 1970, Charnes et al. (1978) aprimoraram os estudos de Farrel e criaram o método de Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA, em inglês), que produz resultados mais detalhados do que as medidas paramétricas, permitindo, assim, um melhor gerenciamento dos recursos produtivos disponíveis (Sena, 2005).

Sendo assim, pode-se afirmar que a definição de eficiência econômica é constituída a partir da junção de dois conceitos: eficiência técnica e alocativa. A primeira analisa a razão entre o produto observado e o potencial máximo atingível, considerando-se um dado nível de insumos; enquanto a segunda avalia a razão entre o nível de insumos empregado e o mínimo necessário para se produzir determinada quantidade de produto (Lovell, 1992), considerando os preços relativos e visando maximizar o lucro (Reis et al., 2005). Isso implica dizer que uma unidade ineficiente tem capacidade de produzir mais, com uma certa quantidade de insumos, ou de manter o nível de produção vigente, utilizando menos insumos (Brasil, 2018).

A escolha adequada da escala de produção é relevante, pois muitas atividades podem mudar de acordo com o tipo de escala determinado e, por conseguinte, ocasionar modificações na fronteira de possibilidade de produção, que servirá como referência para as unidades localizadas em seu interior. Em outros termos, para cada tipo de escala, há uma fronteira específica (Pereira, 1999). A estimação dos escores de eficiência técnica, seguindo-se os modelos com retornos constantes e variáveis de escala, dá origem ao conceito de eficiência de escala. Essa é obtida a partir da razão entre ambos os escores, sendo que, se esses diferem, a firma apresentará ineficiência de escala. O contrário também é válido (Nogueira, 2005).

No que tange aos estudos realizados com foco na mensuração da eficiência técnica dos estabelecimentos agropecuários, tem-se que, por exemplo, uma unidade produtiva que, dada uma certa quantidade de insumos, apresente um índice de eficiência técnica de 64%, está operando 36% abaixo de sua produção potencial. Logo, esse último percentual equivale à produção adicional que a mesma poderia alcançar, mantendo-se o nível de insumos empregados, caso melhorasse sua eficiência (Villano et al., 2010). No caso deste estudo, adotou-se o modelo com retornos constantes de escala, a fim de se obter os escores de eficiência técnica, como empregado por Santos & Fernandes (2009), Blancard & Martin (2014), Musemwa et al. (2013) e Effendy et al. (2019).

As medidas de eficiência são precedidas pela determinação do tipo de orientação, que pode ser baseada na redução dos insumos (orientação insumo) ou na maximização da produção (orientação produto) (Coelli et al., 2005). Sendo assim, do ponto de vista da orientação insumo, uma unidade produtiva é tecnicamente ineficiente quando um determinado nível de produto estiver sendo alcançado com mais insumos do que o necessário e alocativamente ineficiente quando os recursos disponíveis estiverem alocados de forma inadequada, considerando seus respectivos preços relativos. Já sob a ótica da orientação produto, a ineficiência técnica ocorre quando o conjunto de insumos utilizados corresponde a um nível de produto efetivo abaixo do produto potencial e alocativamente ineficiente quando o produto disponível não estiver alocado apropriadamente, tendo em vista seus respectivos preços relativos (Quintela, 2011).

Neste trabalho, optou-se pela orientação produto, conforme proposto por Stuker (2003) e Effendy et al. (2019), uma vez que esta especificação permite identificar a possibilidade de aumentos na produção com o montante de insumos que já se encontra à disposição dos agricultores, sendo, portanto, uma abordagem mais adequada, considerando-se que a população e, conseqüentemente, a demanda do setor agropecuário estão sempre crescendo.

A Figura 1 representa graficamente o conceito de eficiência, tanto técnica como alocativa, sob a orientação produto e, a fim de simplificar a análise, adota-se o modelo com retornos constantes de escala. Considere-se uma unidade produtiva que produz dois bens (y_1 e y_2), fazendo uso de um único insumo (x), cuja curva de possibilidade de produção é denotada por ZZ' . Os pontos que estiverem abaixo desta curva, como é o caso do ponto A, são considerados ineficientes, pois neles o produto observado é menor que o produto potencial. Assim, tem-se que a distância AB corresponde ao nível de ineficiência técnica, permitindo inferir-se que, mantida a quantidade utilizada do insumo x , ainda é possível produzir mais.

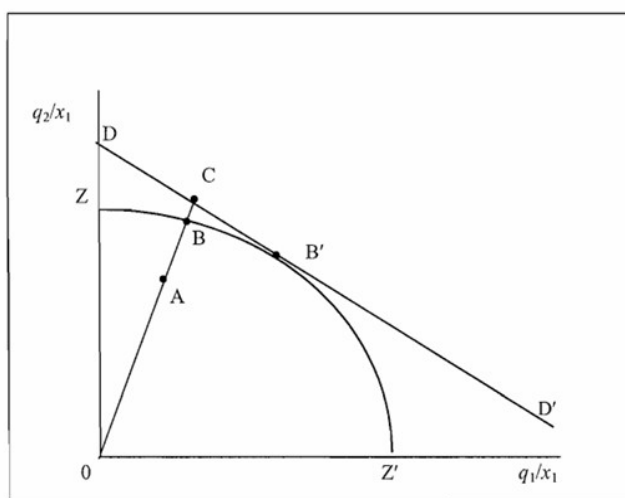


Figura 1 - Eficiências Técnica e Alocativa sob a Orientação Produto.
Fonte: Coelli (1996).

Assim, a eficiência técnica (ET) é determinada conforme a Equação (1):

$$ET = \frac{OA}{OB} \quad (1)$$

em que o segmento de reta $\overline{OA}$ representa a distância percorrida pelo nível de produção efetiva e o segmento de reta $\overline{OB}$ corresponde à distância total necessária para que o nível produtivo atinja o máximo alcançável e, conseqüentemente, a firma opere não ociosamente, mas sim eficientemente.

Caso as informações acerca dos preços dos produtos estivessem disponíveis, seria possível definir a linha DD' , que corresponde à isoreceita. Dessa forma, poderia se identificar o ponto B' como aquele em que a combinação de y_1 e y_2 maximiza a produção e a receita, dada a linha de isoreceita. Nesse mesmo ponto, nota-se que a Taxa Marginal de Transformação (TMT) se iguala à razão entre os preços. A eficiência alocativa (EA) corresponde, portanto, a Equação (2):

$$EA = \frac{OB}{OC} \quad (2)$$

em que o segmento de reta $\overline{OB}$ representa a distância percorrida pelo nível de produção potencial e o segmento de reta $\overline{OC}$ corresponde à distância entre a curva de possibilidade de produção e a isoreceita.

Nesse sentido, tem-se que a eficiência econômica (EE) é expressa pelo produto das duas medidas (ET e EA), conforme ilustrado na Equação (3):

$$EE = \frac{OA}{OC} = \frac{OA}{OB} \times \frac{OB}{OC} = ET \times EA \quad (3)$$

Segundo Guesmi et al. (2012), no caso da mensuração da eficiência técnica, duas abordagens se destacam na literatura: as paramétricas, sendo que a Análise da Fronteira Estocástica (AFS) é mais conhecida; e as não paramétricas, em que a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis*, DEA) é a mais utilizada. A diferença entre elas é que a última fornece mais flexibilidade, pois sua execução não exige que se conheça a verdadeira especificação da forma funcional que caracteriza o processo produtivo nem a formulação de hipóteses sobre a distribuição dos erros. Todavia, possui como principal desvantagem a impossibilidade de se isolar os efeitos de ineficiência derivados de ruídos ou choques aleatórios.

Stuker (2003) explica que conhecer a forma funcional de relação entre as variáveis dependente e independente e a admissão de hipóteses sobre a distribuição dos resíduos são requisitos obrigatórios para o emprego da abordagem paramétrica, que faz uso do método de regressão para avaliar o comportamento das observações em termos médios. Por outro lado, a abordagem não-paramétrica dispensa tais exigências, pois interpreta que quaisquer desvios em relação à fronteira de eficiência são resultantes de ineficiência produtiva e não de outros fatores.

Assim, ressalta-se que todo método é passível de crítica, em razão dos seus respectivos problemas, tanto práticos como teóricos. Assim, independente de qual seja usado, os escores de eficiência não devem ser vistos como resultados conclusivos, mas como sinalizadores (Sarafidis, 2002). No caso do presente estudo, optou-se pela mensuração da eficiência por meio do método DEA, de acordo com a abordagem do Índice de Malmquist, que será abordado de forma mais detalhada na seção a seguir.

3 Metodologia

3.1 Análise Envoltória de Dados (DEA)

O modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma ferramenta não-paramétrica que se baseia no uso de programação matemática. Para a mensuração da eficiência, o DEA analisa o conjunto de variáveis para uma dada amostra e, a partir dessas informações, calcula os pontos extremos e as suas combinações lineares, de modo que é formada uma fronteira de referência, onde se encontram as unidades consideradas plenamente eficientes, que servirá de comparação, em termos de uso de insumos e geração de produtos, para as demais unidades (Pozo, 2002; Coelli et al. 2005). A fim de ilustrar o conceito de eficiência adotado pelo DEA, a Figura 2 exemplifica o caso de duas unidades produtivas, A e B. No caso de A, nenhuma expansão radial é possível, uma vez que esta já se encontra na fronteira de eficiência formada com base na amostra. Em contrapartida, sujeito à restrição das melhores práticas observadas no conjunto de dados, a unidade B ainda possui capacidade de expandir radialmente seu vetor de produtos, ou seja, ela pode melhorar sua performance (Pereira, 1999).

Como todo método, o DEA possui vantagens e limitações, as quais são mostradas no Quadro 1. Entre as vantagens mencionadas, Souza et al. (2011) destacam a possibilidade de se incluir múltiplos insumos e produtos na análise, o que faz com que o DEA gere resultados próximos da realidade, tendo em vista que as DMUs, comumente, empregam uma infinidade de fatores para maximizar diversos vetores de objetivos. Dessa forma, assim como outros métodos não-paramétricos, a Análise Envoltória de Dados consegue abranger as complexidades das condições reais das unidades produtivas, o que lhe confere um alto potencial de explicação.

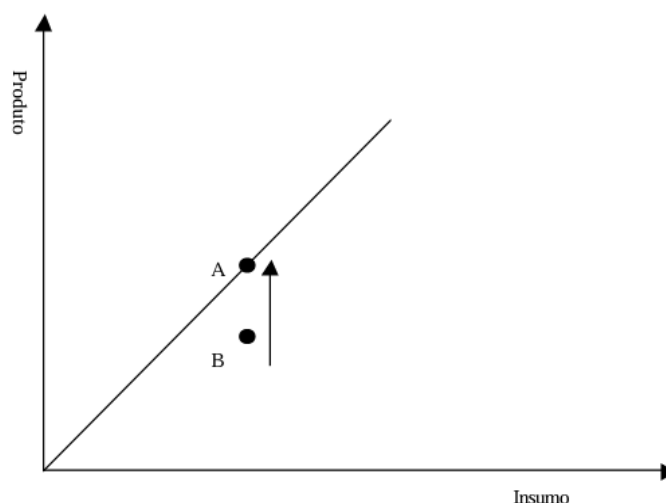


Figura 2 - Gráfico do Modelo DEA Básico.
Fonte: Pereira (1999).

Quadro 1 - Principais vantagens e limitações no uso da Análise Envoltória de Dados

Vantagens	Limitações
Não há necessidade de se conhecer a forma funcional da função de produção	Modelo determinístico
Identifica o desempenho individualizado de cada unidade tomadora de decisão	A presença de <i>outliers</i> tem grande influência sobre a fronteira de eficiência estimada
Permite a análise de múltiplos insumos e produtos	Não isola os efeitos de choques externos sobre a eficiência

Fonte: Elaboração própria com base em Pozo (2002), Souza et al. (2011) e Guesmi et al. (2012).

Neste estudo, as DMUs corresponderam os municípios da região Nordeste do Brasil. No que diz respeito à orientação, optou-se pela orientação produto, conforme adotado por Stuker (2003), Effendy et al. (2019) e Baion et al. (2023). Em consonância com Stuker (2003), tal especificação se baseia na ideia de que, dados os fatores de produção tradicionais (terra, capital e trabalho), o município deve maximizar seu nível produtivo. No que diz respeito ao modelo, empregou-se o modelo com retornos constantes de escala, seguindo os trabalhos de Santos & Fernandes (2009), Blancard & Martin (2014), Musemwa et al. (2013) e Effendy et al. (2019). Após a operacionalização do DEA, obtiveram-se os escores de eficiência e, *a posteriori*, os municípios foram classificados nas seguintes classes de eficiência: $E < 0,25$; $0,25 \leq E < 0,5$; $0,5 \leq E < 0,75$; $0,75 \leq E < 1$; e $E = 1$.

Uma vez que o presente artigo buscou mensurar os níveis de eficiência do setor agropecuário nos municípios da região Nordeste, para os anos de 2006 e 2017, adotou-se a abordagem DEA-Malmquist, sob a justificativa de que essa é a mais indicada ao se analisar resultados obtidos entre diferentes anos.

3.2 Índice de Malmquist

De acordo com Saurin et al. (2013), o Índice de Malmquist foi desenvolvido por Sten Malmquist, em 1953, a fim de possibilitar a observação da mudança na Produtividade Total dos Fatores

(PTF). Desde então, as formas de mensuração desse índice têm evoluído, com destaque para as contribuições de Caves et al. (1982) e, sobretudo, Färe et al. (1994), que empregaram essa medida em conjunto com o DEA.

Segundo Pereira (1999), a combinação do DEA com o índice de Malmquist permite observar ao longo do tempo, de maneira desagregada, as mudanças na produtividade decorrentes de alterações no indicador de eficiência e do progresso tecnológico. Além disso, o autor destaca outras vantagens em sua utilização, como a não necessidade de definição do comportamento da função; a minimização de custos ou maximização de receitas, sobretudo em situações nas quais os pesquisadores não conhecem os produtores ou quando estes possuem características diversas entre si; e o fato de que não é preciso que se tenha informações acerca dos preços dos insumos e produtos, o que evita o surgimento de problemas relacionados à manipulação dos dados, a exemplo da incidência de inflação.

Pereira & Silveira (2016) acrescentam que, apesar das vantagens desse número índice, quando combinado com o DEA, é preciso se atentar às questões concernentes aos retornos de escala. Destacam que, no que se refere ao índice PTF de Malmquist, a escolha dos retornos de escala assume papel fundamental. O modelo com retornos variáveis de escala (VRS) não consegue captar os ganhos ou perdas de produtividade decorrentes dos efeitos de escala. Logo, para evitar essa limitação, deve-se utilizar o modelo com retornos constantes de escala (CRS).

A Equação (4) ilustra a eficiência dada pelo índice de Malmquist, conforme descrito por Mariano et al. (2009):

$$E = \sqrt{\frac{D_0(x_v^t, y_v^t)}{D_0(x_v^0, y_v^0)} \cdot \frac{D_t(x_v^t, y_v^t)}{D_t(x_v^0, y_v^0)}} \quad (4)$$

em que: E representa a eficiência; D_0 e D_t expressam a função distância relativa à fronteira dos períodos 0 e t, nessa ordem; x_v^0 e x_v^t correspondem à quantidade do *input* virtual da DMU em análise nos períodos 0 e t, respectivamente; y_v^0 e y_v^t equivalem à quantidade do *output* virtual da DMU avaliada nos períodos 0 e t, nessa ordem; de tal forma que $D_0(x_v^0, y_v^0)$ e $D_t(x_v^0, y_v^0)$ ilustram a distância da DMU no período 0 relativa à fronteira dos períodos 0 e t, respectivamente; e $D_0(x_v^t, y_v^t)$ e $D_t(x_v^t, y_v^t)$ demonstram a distância da DMU no período t relativa à fronteira dos períodos 0 e t, nessa ordem. Valores inferiores (superiores) à unidade indicam decréscimos (acrécimos) na produtividade total dos fatores.

Zambianco & Rebelatto (2019) explicam que o Índice de Malmquist, Equação (4), pode ser decomposto em duas equações que captam a influência isolada das modificações no nível tecnológico (AT), por meio da observação de eventuais deslocamentos da fronteira de eficiência; e do nível de eficiência produtiva entre os dois períodos estudados (AE). Saurin et al. (2013) acrescentam que o cálculo do AT tem como foco a influência das mudanças na combinação de insumos, ocorridas entre os períodos, sobre a geração do produto; enquanto o cômputo do AE se fundamenta na distância de cada DMU em relação à fronteira de eficiência formada em cada ano, de modo a observar se, após esse íterim, a unidade em questão teve sua eficiência técnica elevada ou reduzida, sendo que tais deslocamentos são influenciados pelo desenvolvimento dos processos produtivos e do próprio produto.

Conforme Reis et al. (2020), essa decomposição é importante para a análise, pois permite verificar a influência das mudanças tecnológicas e da eficiência sobre as variações na PTF ao longo do tempo. Nesse sentido, a Figura 3 exemplifica a lógica por trás dos subíndices que compõem o Índice de Malmquist.

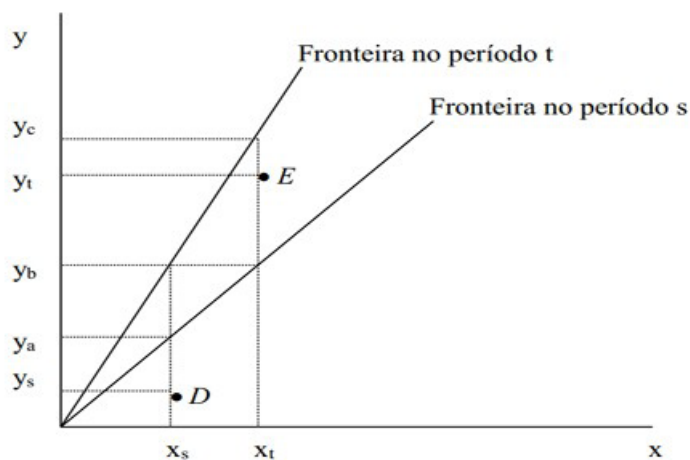


Figura 3 – Subíndices de Produtividade de Malmquist.

Fonte: Reis et al. (2020).

Coelli et al. (2005) supõem o caso de uma firma que utiliza apenas um insumo e produz um único produto, com a suposição de retornos constantes de escala. No período *s*, ela produz no ponto *D*, enquanto no período *t* ela produz no ponto *E*. Em ambos os períodos, esta firma está produzindo abaixo do seu nível potencial e, portanto, há ineficiência técnica. Nesse caso, a influência das mudanças nos níveis de eficiência e na fronteira ao longo do tempo seriam dados pelas Equações (5) e (6) :

$$AT = \left[\frac{q_t/q_b}{q_t/q_c} \times \frac{q_s/q_a}{q_s/q_b} \right]^{0,5} \quad (5)$$

$$AE = \frac{q_t/q_c}{q_s/q_a} \quad (6)$$

A mesma leitura sobre os valores do Índice de Malmquist se aplicam para seus subíndices. Assim, quando o AE, que capta o efeito de emparelhamento (*catch-up effect*, em inglês) for maior (menor) que 1, infere-se que a eficiência técnica aumentou (diminuiu). De maneira análoga, quando o AT, que representa o efeito resultante do deslocamento da fronteira eficiente (*frontier-shift effect*, em inglês) for superior (inferior) a 1, tem-se que houve progresso (regresso) tecnológico (Melonio & Lucas, 2017).

3.3 Variáveis e Fontes dos Dados

O conjunto de dados utilizado (ver Quadro 2) foi extraído dos Censos Agropecuários de 2006 e 2017, produzidos e publicados pelo IBGE. A escolha destes anos é justificada por serem as bases de dados mais recentes disponíveis. No caso das variáveis expressas em reais, utilizou-se o índice de preços IGP-DI (base dezembro de 2018), obtido na plataforma da Fundação Getúlio Vargas (2019), para deflacioná-las.

Uma vez que nem todos os 1.793 municípios nordestinos apresentaram dados para o conjunto completo de variáveis selecionadas, foi necessário excluir da análise 530 destes, de

modo que a área de estudo deste artigo se restringiu aos 1.263 municípios restantes, cujos resultados acerca de sua eficiência são debatidos na seção a seguir.

Quadro 2 - Base de dados empregada e estudos que inspiraram a sua composição

Variável		Estudos que embasaram a escolha das variáveis
Produto (<i>Output</i>)	Insumo (<i>Input</i>)	
Valor da produção agropecuária (que equivale à soma dos valores das produções animal e vegetal, em mil reais)	Número de máquinas e implementos agrícolas existentes nos estabelecimentos agropecuários (em unidades)	Stuker (2003); Santos & Fernandes (2009); Blancard & Martin (2014); Freitas (2014); Effendy et al. (2019); e Reis et al. (2020)
	Área dos estabelecimentos agropecuários (em hectares), exceto matas e florestas destinadas à área de preservação permanente ou reserva legal, terras degradadas e terras inaproveitáveis para agricultura ou pecuária	
	Salários pagos (em mil reais)	
	Despesas operacionais (despesas realizadas com adubos, corretivos do solo, sementes e mudas, compra de animais, agrotóxicos, medicamentos para animais, rações, transporte da produção, energia elétrica e combustível pelo estabelecimento, em mil reais))	

Fonte: Elaboração própria.

4 Resultados e Discussão

4.1 Análise dos Escores de Eficiência Técnica

Esta subseção apresenta os resultados obtidos nesta pesquisa, especificamente aqueles referentes à mensuração dos escores de eficiência técnica, sob a ótica do modelo com retornos constantes de escala. Sendo assim, as Figuras 4 e 5 exibem o desempenho dos municípios nordestinos, conforme os níveis de eficiência técnica registrados por estes em 2006 e 2017, respectivamente.

Como pode ser percebido, no que diz respeito à eficiência do setor agropecuário nos municípios nordestinos, tanto em 2006 como em 2017, estes possuíam desempenho muito aquém do nível máximo. Isso indica que, mesmo após mais de uma década, os produtores ainda enfrentam muitas dificuldades e limitações que os impedem de progredir expressivamente. Obviamente, nesse ínterim, muitos municípios tiveram perdas de eficiência, enquanto outros registraram ganhos.

Acerca daqueles que obtiveram ganhos na eficiência, destacam-se os municípios localizados na região do MATOPIBA, visto que, dos 154 municípios dessa região contidos neste estudo, 146 apresentaram aumentos nos escores de eficiência técnica, entre 2006 e 2017. Desde a demarcação dessa fronteira agrícola, em 2015, algumas políticas públicas foram implementadas, o que, em teoria, tende a favorecer o desempenho dessa região. Uma das principais políticas que podem ser mencionadas é o Plano de Desenvolvimento da Agropecuária (PDA) e a criação de um comitê, que, conforme o Decreto n. 8.447 (Brasil, 2015), objetivava organizar e fomentar o desenvolvimento econômico sustentável do setor na região, auxiliando, entre outras coisas, na gestão de programas, projetos e ações federais relativos às atividades desse segmento, observando aspectos como eficiência, mobilidade social e inovação tecnológica.

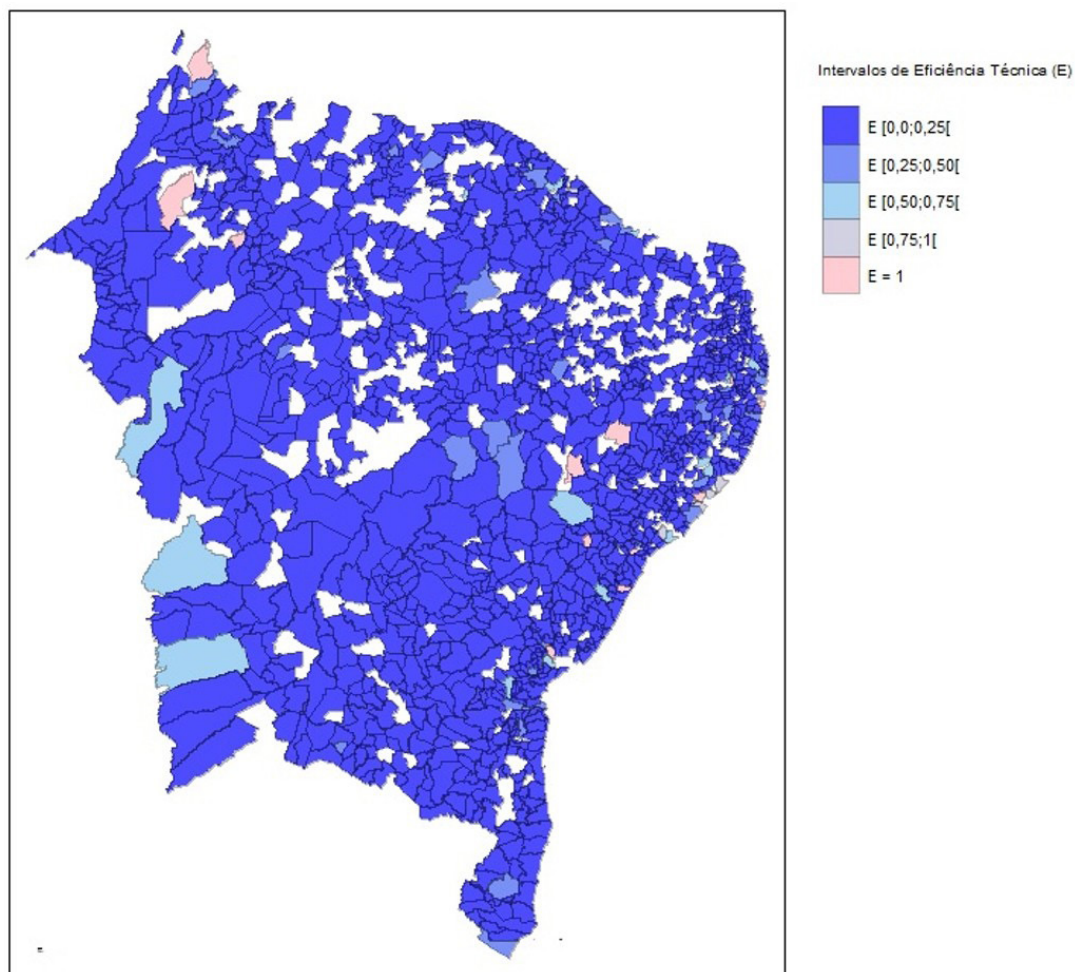


Figura 4 - Distribuição dos municípios nordestinos conforme intervalos de eficiência técnica do setor agropecuário, em 2006.

Fonte: Elaboração das autoras com base nos dados da pesquisa.

Como pode ser observado, os resultados obtidos a partir do modelo DEA, pertinentes à base de dados e à amostra aqui consideradas, indicam que a quase totalidade dos municípios nordestinos registraram baixos níveis de eficiência, em ambos os anos analisados, de modo que menos de 3% da amostra apresentou eficiência superior a 0,5. Embora não exista um nível de eficiência mínima desejável, tais resultados permitem inferir que existem obstáculos, não necessariamente tratando-se de fatores sob o controle dos produtores dos municípios, que estão impedindo sua eficiência produtiva, a exemplo das diferenças tecnológicas entre os estabelecimentos inter e intramunicipais, conforme discutido na seção a seguir. Contudo, sem acesso aos microdados do IBGE, mesmo um recorte entre grupos de municípios não seria plenamente suficiente para contornar as limitações trazidas pelo uso de dados agregados, sobretudo para uma região tão extensa como o Nordeste. Uma vez que se considerou a orientação produto, tem-se que, no agregado, o setor agropecuário dos municípios está fazendo uso excessivo de insumos para gerar seu produto, ou seja, está havendo desperdício e essa tendência tem estado presente mesmo após mais de uma década entre a coleta dos dados pelo órgão responsável (IBGE).

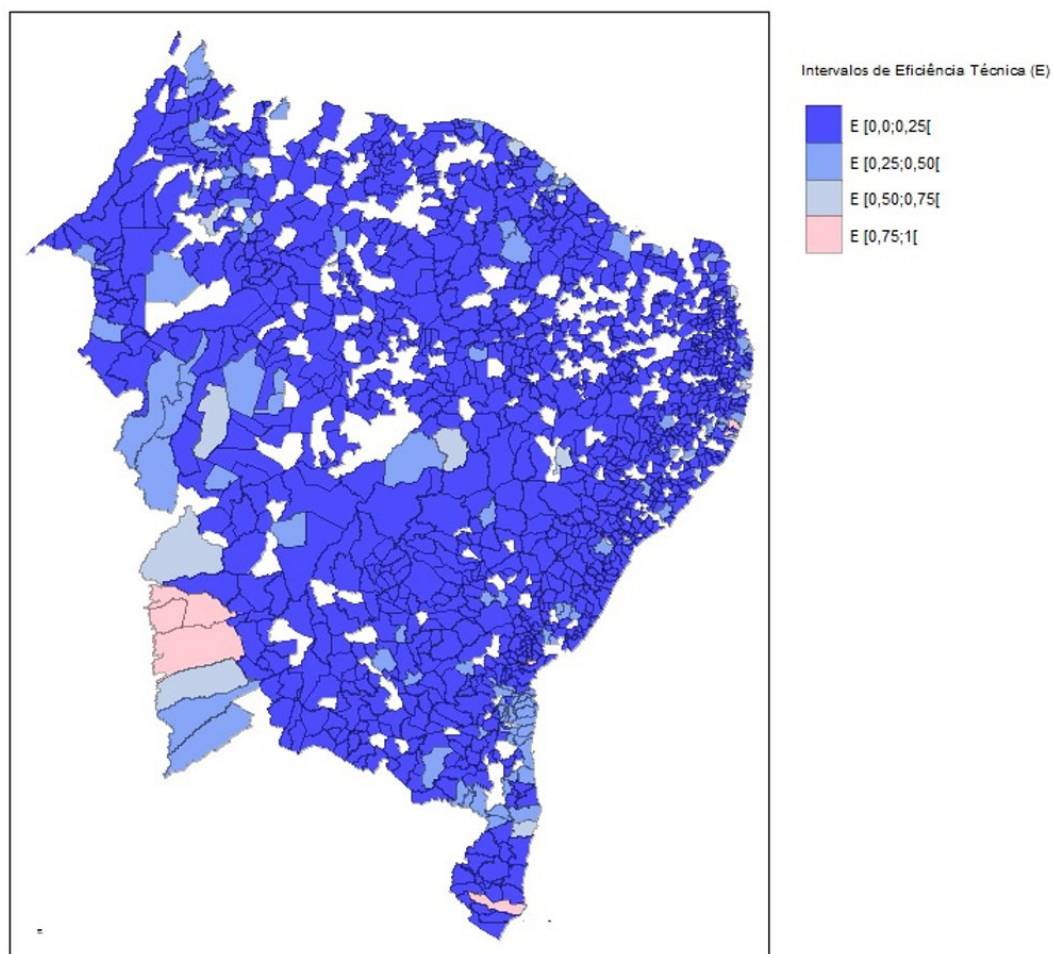


Figura 5 - Distribuição dos municípios nordestinos conforme intervalos de eficiência técnica do setor agropecuário, em 2017.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

A fim de complementar a presente análise, a Tabela 1 apresenta os municípios nordestinos 100% eficientes e aqueles menos eficientes (em ordem decrescente), tanto em 2006 quanto em 2017. Conforme os dados da Produção Agrícola Municipal (PAM), em termos do que se é produzido, boa parte dos municípios eficientes possui em comum as produções de cana-de-açúcar, mandioca, feijão, milho, banana, coco-da-baía, laranja e manga; enquanto parte dos ineficientes tem em comum as produções de cana-de-açúcar, mandioca, feijão, milho e coco-da-baía, o que sugere que as diferenças em seus desempenhos não estão diretamente relacionadas ao tipo de *commodity* produzida, mas talvez ao gerenciamento dos estabelecimentos.

Ao se confrontar os escores de eficiência encontrados neste estudo com a literatura que trata desta temática, nota-se que o baixo grau de eficiência técnica do setor agropecuário é algo comum, mesmo quando se considera outras metodologias, áreas de estudo e outros níveis de agregação, conforme demonstrada na revisão de literatura. Um outro trabalho que não foi contemplado na mencionada seção, mas que também corrobora tais resultados é o de Nascimento et al. (2017).

Tabela 1 - Lista dos municípios nordestinos mais e menos eficientes

Municípios totalmente eficientes		Municípios menos eficientes	
2006	2017	2006	2017
São Miguel dos Campos (AL)	Formosa do Rio Preto (BA)	Campo Grande (AL)	Nova Redenção (BA)
Indiaroba (SE)	Juazeiro (BA)	Ruy Barbosa (BA)	Trindade (PE)
Areia Branca (SE)	Arapiraca (AL)	Canavieira (PI)	Pocinhos (PB)
Cachoeira (BA)	Canguaretama (RN)	Ibirajuba (PE)	Mucugê (BA)
Fátima (BA)	Paracuru (CE)	Rosário do Catete (SE)	Muquém do São Francisco (BA)
Glória (BA)	Ribeiro Gonçalves (PI)	Vera Cruz (BA)	Carneiros (AL)
Ibimirim (PE)		Sertânia (PE)	Canto do Buriti (PI)
Recife (PE)		Terra Nova (BA)	Timbaúba (PE)
São Vicente Férrer (PE)		São José do Belmonte (PE)	Cumaru (PE)
Joselândia (MA)		Porto Alegre do Piauí (PI)	Santa Cruz (RN)
Santa Luzia (MA)		Baianópolis (BA)	Riacho das Almas (PE)
Turiaçu (MA)		Itanagra (BA)	Tacaimbó (PE)

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

4.2 Índice de Malmquist: alterações nos níveis de eficiência técnica e tecnologia

Como mencionado anteriormente, o Índice de Malmquist e a sua decomposição permitem verificar em que medida as mudanças nos escores de eficiência ao longo do tempo foram influenciadas por variações no grau de eficiência técnica e no nível tecnológico adotado. Quando esse índice assume valores maiores que um, tem-se que, no ano final, a unidade produtiva analisada obteve uma performance melhor que no ano inicial e vice-versa. A Tabela 2 exibe as frequências absolutas e relativas dos municípios da região Nordeste que foram considerados neste estudo.

Tabela 2 - Distribuições das frequências absolutas (fi) e relativas (%) dos municípios nordestinos, em relação ao Índice de Malmquist e às mudanças na eficiência técnica e no nível tecnológico, entre 2006 e 2017

Intervalos	Índice de Malmquist (IM)		Alteração no nível de eficiência técnica (AE)		Alteração no nível tecnológico (AT)	
	fi	%	fi	%	fi	%
IM/AE/AT < 1	969	76,72	153	12,11	1.260	99,76
IM/AE/AT > 1	294	23,38	1.110	87,89	3	0,24

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

Ao se avaliar o panorama geral dos municípios nordestinos, de 2017 em relação a 2006, os dados evidenciam a existência de melhorias acerca da alocação dos recursos que se encontram à disposição dos produtores, tendo em vista que quase 90% da amostra apresentaram AE maior que um. Todavia, tal condição por si só não tem se mostrado suficiente para aprimorar o processo produtivo, em razão da expressiva e nítida influência negativa do atraso tecnológico enfrentado por quase todos (99,76%) os municípios, excetuando Tibau (RN), São Bento do Una (PE) e Formosa do Rio Preto (BA). Ressalta-se, ainda, que os municípios com AT menor que um registraram diferentes hiatos entre o nível tecnológico adotado e a fronteira tecnológica para

2017. Contudo, apenas 4,12% deles alcançaram AT maior que 0,5. Isso pode ser parcialmente explicado pela disparidade no acesso às novas tecnologias, visto que o desvio-padrão da variável número de máquinas e equipamentos agrícolas, por exemplo, foi de 196,5. Pereira (1999) também obteve resultados desfavoráveis para os estados de Paraíba e Bahia, entre 1970-1996. Segundo Marinho & Carvalho (2004), as questões referentes ao desenvolvimento tecnológico são parcialmente explicadas pelos investimentos em capital humano, a exemplo da aplicação de recursos na educação; e na área de pesquisa e tecnologia, sendo que, em comparação às demais regiões brasileiras, o Nordeste possui os menores índices. Tais evidências empíricas foram confirmadas por Ramos & Vieira Filho (2023), em que verificaram que os municípios do Nordeste tiveram escores de eficiência técnica inferiores aos das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

Esses resultados também estão em consonância com os estudos de Marinho & Carvalho (2004), Gomes et al. (2009) e Araujo & Mancal (2015), que verificaram variações positivas da eficiência técnica e do Índice de Malmquist para a maioria dos estados nordestinos e para o Nordeste como um todo. Porém, no que tange às alterações tecnológicas, tais autores constaram um comportamento oposto ao observado nesta pesquisa, provavelmente em razão do horizonte de tempo comparado (1970-1995, no caso dos primeiros; 1996-2006, no caso dos segundos; e 1975-2006, no caso dos terceiros), uma vez que, no século XX, as disparidades no acesso aos meios tecnológicos eram ainda mais exorbitantes do que aquelas observadas no começo do século seguinte e em anos recentes.

5 Conclusões

Conforme observado neste estudo, apesar da expressiva representatividade da agropecuária nordestina, seu nível de eficiência ainda está muito aquém do máximo alcançável. Durante o período analisado, o Índice de Malmquist apontou que muitos municípios obtiveram algum progresso em termos de eficiência, ainda que não expressivos, porém os efeitos de tais ganhos foram suprimidos pelo forte atraso tecnológico com os quais os mesmos se depararam, o que pode ser visualizada de forma mais nítida pelas estatísticas descritivas.

Em parte, essa defasagem pode ser explicada pelo longo histórico de seletividade nas políticas públicas direcionadas para esse segmento e pela dificuldade dos produtores em desenvolverem seu processo produtivo por conta própria, sobretudo, quando se trata de investimentos que exigem muito capital. Mesmo com o governo federal implantando alguns programas com o objetivo de reverter esse cenário, como o PRONAF, a literatura ressalta que estes não são isentos de deficiências e, portanto, podem não gerar os efeitos esperados pelo poder público e até mesmo acentuar as disparidades sociais.

Nesse contexto, ressalta-se o papel do governo tanto por intermédio de políticas públicas direcionadas à redução da desigualdade existente entre os diferentes produtores dos municípios, como pelo fomento à educação e fornecimento de assistência técnica de qualidade, a fim de que, dispondo de mais informação e conhecimento, esses possam aprimorar seu processo produtivo e, por conseguinte, incrementar sua eficiência, o que, por sua vez, trará benefícios econômicos e sociais. Para tanto, devem basear-se não somente nos resultados deste artigo, mas também em outros trabalhos publicados pela literatura, além de indicadores municipais e informações de instituições de Assistência Técnica e de Extensão Rural (Ater), que estão em contato mais direto com os produtores, a fim de possuírem melhor direcionamento, visto que há diferenças entre os produtores de cada município, assim como dentro de cada município.

Embora este estudo tenha contribuído com a literatura a partir da mensuração da eficiência e da análise do Índice de Malmquist, ressalta-se a importância da busca e identificação de outros

fatores que venham a justificar os baixos níveis de eficiência obtidos, a exemplo do uso auxiliar de modelos de regressão múltipla. Uma vez que os dados empregados fazem referência aos municípios, é possível que o uso de microdados forneçam estimativas diferentes e provavelmente mais robustas. Logo, recomenda-se que trabalhos futuros deem preferência à realização de pesquisas de campo ou busquem o acesso a esse tipo de dados junto aos órgãos responsáveis.

Contribuição dos autores

Renata Benício de Oliveira: concepção do estudo, redação inicial do manuscrito, coleta e organização dos dados.

Janaina da Silva Alves: revisão crítica do texto, ajustes metodológicos e contribuição na análise dos resultados.

Eliane Pinheiro de Sousa: revisão do manuscrito, aprimoramento da metodologia e apoio na interpretação dos resultados.

Suporte financeiro

Capes.

Conflitos de interesse

Nada a declarar.

Aprovação conselho de ética

Não se aplica.

Declaração de Disponibilidade de Dados

Os dados da pesquisa estão disponíveis sob consulta por meio dos links:

<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário-2006/segunda-apuracao>

<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário-2017>

Agradecimentos

Nada a declarar.

***Autor correspondente:**

Renata Benício de Oliveira. renatabenicio086@gmail.com

Referências

Almeida, P. N. A. (2012). *Fronteira de produção e eficiência técnica da agropecuária brasileira em 2006* (Tese de doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

- Alvim, A. M., & Stulp, V. J. (2014). Eficiência técnica da produção agropecuária nas regiões do Rio Grande do Sul de 1975 a 2006. *Planejamento e Políticas Públicas*, 43, 11-43.
- Aquino, J. R., Alves, M. O., & Vidal, M. F. (2020). Agricultura familiar no nordeste do Brasil: um retrato atualizado a partir dos dados do censo agropecuário 2017. *Revista Econômica do Nordeste*, 51, 31-54.
- Araújo, J. A., & Mancal, A. (2015). Produtividade e eficiência no setor agropecuário do Nordeste brasileiro. *Interações*, 16(2), 385-394.
- Baion, Y. M., Yunxia, W., Foday Junior, E. H., Jianmin, C., Chuanfu, L., & Agyeman, O. (2023). Comparative performance of agricultural productivity in 44 SSA countries for a period of 59 years (1961–2019): A Malmquist productivity index approach. *PLoS One*, 18(7), 1-20.
- Banco do Nordeste do Brasil. (2020). *Balança comercial do agronegócio do Nordeste 2018-2019*. Recuperado em 15 de março de 2024, de https://www.bnb.gov.br/agronegocio/agroinforma/-/asset_publisher/qg5dL6xAGfoP/content/balanca-comercial-do-agronegocio-do-nordeste-2018-2019/3760965?inheritRedirect=false
- Banco do Nordeste do Brasil. (2021, setembro 27). *Nordeste: comércio exterior do agronegócio*. Recuperado em 15 de março de 2024, de <https://shre.ink/kZbT>
- Bassotto, L. C., Benedicto, G. C., Lima, A. L. R., Lopes, M. A., & Merlo, F. A. (2024). Eficiência técnica em propriedades leiteiras familiares no Estado de Minas Gerais em 2021. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 62(1), 1-21.
- Blancard, S., & Martin, E. (2014). Energy efficiency measurement in agriculture with imprecise energy content information. *Energy Policy*, 66, 198-208.
- Brasil. (2015). Decreto n. 8.447, de 06 maio de 2015. Dispõe sobre o plano de desenvolvimento agropecuário do Matopiba e a criação de seu comitê gestor. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. Recuperado em 15 de março de 2024, de www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/decreto/d8447.htm
- Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. (2018). *Plano de ação em ciência, tecnologia e inovação para agropecuária*. Brasília, DF: CGEE.
- Brasil. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. (2022). Exportação e importação geral. Recuperado em 15 de março de 2024, de <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>
- Caves, D. W., Christensen, L. R., & Diewert, W. E. (1982). The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity. *Econometrica*, 50(6), 1393-1414.
- Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. (2018). *EXPORT/CEPEA: Exportação agro em 2017 é recorde e faturamento volta a crescer*. Recuperado em 15 de março de 2024, de <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/releases/export-cepea-exportacao-agro-em-2017-e-recorde-e-faturamento-volta-a-crescer.aspx>
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- Coelli, T. J. (1996). *A Guide to DEAP Version 2.1: a Data Envelopment Analysis (Computer) Program*. Armidale: University of New England, CEPA working papers.
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis* (2nd ed.). Nova York, NY: Springer.
- Debreu, G. (1951). The coefficient of resource utilization. *Econometrica*, 19(3), 273-292.

- Effendy, Pratama, M. F., Rauf, R. A., Antara, M., Basir-Cyio, M., Mahfudz, & Muhardi. (2019). Factors influencing the efficiency of cocoa farms: a study to increase income in rural Indonesia. *PLoS One*, 14(4), 1-15.
- Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., & Zhang, Z. (1994). Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. *The American Economic Review*, 84(1), 66-83.
- Farrel, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(3), 253-290.
- Farrel, M. J., & Fieldhouse, M. (1962). Estimating efficient production functions under increasing returns to scale. *Journal of the Royal Statistical Society*, 125(2), 252-267.
- Freitas, C. O. (2014). Tamanho dos estabelecimentos e eficiência técnica na agropecuária brasileira (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Fundação Getúlio Vargas. (2019). *Catálogo FGVDados*. Recuperado em 15 de março de 2024, de <https://extra-ibge.fgv.br/IBRE/sitefgvdados/visualizaconsulta.aspx>
- Gandra, A. (2019, agosto 28). Setor de serviços tinha 1,2 milhão de empresas em 2017, diz IBGE. *Agência Brasil*. Recuperado em 15 de março de 2024, de <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-08/setor-de-servicos-tinha-13-milhao-de-empresas-em-2017-diz-ibge>
- Gomes, A. P., & Alcantara Filho, J. L., & Scalco, P. R. (2009, julho 16-17). Eficiência, tecnologia e produtividade total dos fatores: uma análise das mudanças recentes na agropecuária do Nordeste. In *Anais do 14º Encontro Regional de Economia do Nordeste*. Niterói: ANPEC.
- Gomes, A. P., & Baptista, A. J. M. S. (2004, julho). Impactos das ineficiências nas elasticidades de produção dos fatores: uma análise da agropecuária brasileira. In *Anais do 42º Congresso da Sociedade Brasileira De Economia e Sociologia Rural* (pp. 46-58). Brasília: SOBER.
- Guesmi, B., Serra, T., Kallas, Z., & Roig, J. M. (2012). The productive efficiency of organic farming: the case of grape sector in Catalonia. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(3), 552-566.
- Guimarães, D. D., & Pereira, J. P. O. (2014). Panorama setorial 2015-2018: agropecuária. In Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. *Perspectivas do Investimento 2015-2018 e Panoramas Setoriais* (pp. 22-28). Rio de Janeiro: BNDES.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2017). *Agropecuária puxa o PIB de 2017*. Recuperado em 15 de março de 2024, de <http://www.agricultura.gov.br/noticias/agropecuaria-puxa-o-pib-de-2017>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2019a). *Censo agropecuario 2017: resultados definitivos*. Recuperado em 15 de março de 2024, de <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2019b). *Censo agro 2017: população ocupada nos estabelecimentos agropecuarios cai 8,8%*. Recuperado em 15 de março de 2024, de <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25789-censo-agro-2017-populacao-ocupada-nos-estabelecimentos-agropecuarios-cai-8-8>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2019c). *Entre 2014 e 2017, indústria perdeu 1,1 milhão de postos de trabalho*. Recuperado em 15 de março de 2024, de <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/24737-entre-2014-e-2017-industria-perdeu-1-1-milhao-de-postos-de-trabalho>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2022a). *Produção agrícola municipal*. Recuperado em 15 de março de 2024, de <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>.

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2022b). *Pesquisa da pecuária municipal*. Recuperado em 15 de março de 2024, de <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/tabelas>.
- Koopmans, T. (1951). *Activity analysis of production and allocation*. New York, NY: John Wiley & Sons.
- Leão, H. C. R. S. (2018). Número e área dos estabelecimentos agropecuários decresceram no Nordeste. *Diário Econômico ETENE*, 136, 1-2.
- Lovell, K. (1992). Production frontiers and productivity efficiency. In H. Fried, K. Lovell, & S. Schmidt (Eds.), *The measurement of productive efficiency: techniques and applications* (pp. 1-21). Oxford: Oxford University Press.
- Mariano, E. B., Almeida, M. R., & Rebelatto, D. A. N. (2009, novembro 9-11). Eficiência pela técnica dos números índices: uma aplicação em aeroportos. In *Anais do 16º Simpósio de Engenharia de Produção*. Bauru: FEB/UNESP.
- Marinho, E., & Carvalho, R. M. (2004). Comparações inter-regionais da produtividade da agricultura brasileira – 1970-1995. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, 34(1), 57-92.
- Melonio, A. M. C., & Lucas, V. M. (2017, dezembro 12-15). Análise de eficiência das ifes no uso de recursos financeiros 2010-2015. In *Anais do 45º Encontro Nacional de Economia*. Niterói: ANPEC.
- Musemwa, L., Mushunje, A., Muchenje, V., Aghdasi, F., & Zhou, L. (2013). Factors affecting efficiency of field crop production among resettled farmers in Zimbabwe. In *Anais do 4º International Conference of the African Association of Agricultural Economists*. Nairobi: African Association of Agricultural Economists (AAAAE).
- Nascimento, A. C. C., Nascimento, M., Barroso, L. M. A., & Sousa, L. O. (2017). Identificando os determinantes da eficiência técnica na produção de café de montanha em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Biometria*, 35(3), 461-473.
- Nogueira, M. A. (2005). *Eficiência Técnica na Agropecuária das Microrregiões Brasileiras* (Tese de doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Pereira, C. N., & Silveira, J. M. F. J. (2016). Análise exploratória da eficiência produtiva das usinas de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Piracicaba, 54(1), 147-166.
- Pereira, M. F. (1999). *Evolução da fronteira tecnológica múltipla e da produtividade total dos fatores do setor agropecuário brasileiro de 1970 a 1996* (Tese de doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Pintor, E., & Piacenti, C. A. (2016). Determinantes da expansão da fronteira de produção das culturas de arroz, milho e soja no Norte e Nordeste brasileiro. *Revista Econômica do Nordeste*, 47(2), 41-57.
- Pozo, D. T. (2002, outubro 8-11). Análisis económico y eficiencia del sector público. In *Anais do 7º Congreso Internacional del CLAD Sobre la Reforma del Estado y de la Administración Pública*. Caracas: CLAD.
- Quintela, M. C. A. (2011). *Gasto Público Social dos Estados Brasileiros: um estudo sob a ótica da eficiência técnica* (Tese de doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Ramos, É. B. T., & Vieira Filho, J. E. R. (2023). Desenvolvimento regional da agricultura familiar: cooperativismo e associativismo. *Revista Brasileira de Economia*, 77(1), 1-23.
- Reis, L. D. R., Araújo, R. C. P., Araújo, J. A., & Lima, J. R. F. (2020). Eficiência técnica da produção agrícola dos países da América Latina e do Caribe. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 58(4), 1-15.

- Reis, R. P., Richetti, A., & Lima, A. L. R. (2005). Eficiência econômica na cultura do café: um estudo no sul de Minas Gerais. *Organizações Rurais e Agroindustriais*, 7(1), 50-59.
- Santos, C. M., & Fernandes, R. A. S. (2009, julho). Eficiência técnica no setor agropecuário das microrregiões do Rio Grande do Sul. In *Anais do 47º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*.
- Santos, F. P., Braga, L. A. M., & Mohamed, A. A. (2022). Análise do financiamento do BNDES no setor agropecuário brasileiro para o período de 2012 a 2015. *Revista de Gestão e Secretariado*, 13(3), 1142-1159.
- Sarafidis, V. (2002). An assessment of comparative efficiency measurement techniques. *Europe Economics*, (Occasional Paper 2).
- Saurin, V., Lopes, A. L. M., Costa Junior, N. C. A., & Gonçalves, C. A. (2013). Medidas de eficiência e retorno de investimento: um estudo nas distribuidoras de energia elétrica brasileiras com base em Data Envelopment Analysis, Índice de Malmquist e ROI. *Revista ADM*, 6(1), 25-38.
- Scherer, C. E. M., & Porsse, A. A. (2017). Eficiência produtiva regional da agropecuária brasileira: uma análise de fronteira estocástica. *Revista de Economia e Sociologia Rural, Piracicaba*, 55(2), 389-410.
- Sena, N. A. M. O. (2005). *Fronteira tecnológica, alocação de fatores e eficiência na agropecuária da microrregião Itabuna-Ilhéus, Estado da Bahia* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas.
- Shephard, R. (1953). *Cost and production functions*. Princeton, NJ: Princeton University.
- Silva, F. P., Araújo, J. A., Costa, E. M., & Vieira Filho, J. E. R. (2019). Eficiência técnica e heterogeneidade tecnológica na agropecuária das regiões semiárida e não semiárida do Nordeste brasileiro. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 57(3), 379-395.
- Souza, U. R., Braga, M. J., & Ferreira, M. A. M. (2011). Fatores associados à eficiência técnica e de escala das cooperativas agropecuárias paranaenses. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 49(3), 573-598.
- Stuker, H. (2003). *Uma metodologia de avaliação da eficiência agropecuária de municípios* (Tese de doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Villano, R., Boshraadi, H. M., & Fleming, E. (2010). When Is metafrontier analysis appropriate? An example of varietal differences in pistachio production in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 12, 379-389.
- Wang, J., & Hu, X. (2021). Research on corn production efficiency and influencing factors of typical farms: based on data from 12 corn-producing countries from 2012-2019. *PLoS One*, 16(7), 1-17.
- Zambianco, W. M., & Rebelatto, D. A. N. (2019). Análise da eficiência econômica das regiões canavieiras do Estado de São Paulo utilizando Análise Envoltória de Dados (DEA) e Índice Malmquist. *Custos e @gronegocio*, 15(2), 376-404. Recuperado em 15 de março de 2024, de <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero2v15/OK%2017%20DEA.pdf>.

Recebido: Março 15, 2024

Aceito: Março 26, 2025

JEL: C02, C61, Q12

Editor de seção: Silvio Cezar Arend