



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA,
CONTABILIDADE E SECRETARIADO EXECUTIVO
PROGRAMA DE ECONOMIA PROFISSIONAL – PEP

BRUNO FERREIRA MACHADO

DIFERENCIAÇÃO TECNOLÓGICA NA AGROPECUÁRIA DO NORDESTE
BRASILEIRO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SEMINÁRIO E NÃO
SEMIÁRIDO

FORTALEZA

2024

BRUNO FERREIRA MACHADO

DIFERENCIAÇÃO TECNOLÓGICA NA AGROPECUÁRIA DO NORDESTE
BRASILEIRO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SEMINÁRIO E NÃO
SEMIÁRIDO

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Economia Profissional – PEP, da Universidade Federal do Ceará - UFC, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia. Área de Concentração: Economia do Setor Público.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Veras Corrêa

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F439d Ferreira Machado, Bruno.
Diferenciação Tecnológicas na Agropecuária do Nordeste Brasileiro: Uma Análise Comparativa entre
Seminário e Não Semiárido / Bruno Ferreira Machado. – 2024.
43 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração,
Atuária e Contabilidade, Mestrado Profissional em Economia do Setor Público, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Márcio Veras Corrêa.

1. agricultura. 2. tecnologia. 3. semiárido nordestino. 4. fronteira de produção. I. Título.

CDD 330

BRUNO FERREIRA MACHADO

DIFERENCIAÇÃO TECNOLÓGICAS NA AGROPECUÁRIA DO NORDESTE
BRASILEIRO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SEMINÁRIO E NÃO
SEMIÁRIDO

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Economia Profissional – PEP, da Universidade Federal do Ceará - UFC, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia. Área de Concentração: Economia do Setor Público.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Veras Corrêa

Aprovada em: ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Márcio Veras Corrêa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcos Renan Vasconcelos Magalhães
Secretaria de Saúde do Estado do Ceará (SESA/CE)

Dr. Gérson Guilherme Lima Linhares
Membro Externo – Consultor Independente/Especialista em Macroeconomia

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, expresso minha profunda gratidão a Deus, pela dádiva da vida e pela oportunidade e capacidade que me foram concedidas para me dedicar aos estudos. Compreendo que o conhecimento é uma prioridade inestimável e agradeço por esta jornada.

Quero dedicar um agradecimento especial aos meus filhos, Lucas e Giovana, por sua constante presença e disposição em me apoiar em todos os momentos. Seu amor e apoio foram fundamentais.

Aos meus pais, Tarciso e Guiomar, devo um reconhecimento sincero. Eles sempre enfatizaram a importância da educação e, além disso, transmitiram-me valores, princípios e virtudes humanas essenciais que moldaram quem sou hoje.

Não posso deixar de agradecer à Universidade Federal do Ceará (UFC) por fornecer o ambiente e recursos necessários para minha formação acadêmica.

Aos respeitáveis professores do Departamento, sou grato por tudo o que me ensinaram. Suas orientações e conhecimento foram fundamentais para o meu desenvolvimento acadêmico

Agradeço também aos dedicados funcionários do Departamento, que contribuíram de forma direta e indireta para o sucesso deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho do Grupo, expresso minha gratidão pela colaboração e pela experiência enriquecedora que compartilhamos.

Ao Professor Orientador, Marcio Veras, quero expressar minha sincera apreciação. Seu apoio, consideração e atenção ao longo do curso na Universidade foram inestimáveis e fundamentais para o meu progresso.

Por fim, quero expressar minha profunda gratidão ao CAEN pela oportunidade de ministrar com excelência este curso de mestrado. É uma experiência que enriqueceu minha jornada acadêmica de maneira significativa.

Este projeto de pesquisa e tese de dissertação não teriam sido possíveis sem o apoio, orientação e contribuições de todas essas pessoas e instituições. Agradeço a cada um de vocês por tornarem este sonho uma realidade.

“Àquele que puder ser sábio, não lhe perdoamos que não o seja”.

“Se tens de servir a Deus com a tua inteligência, estudar para ti é uma obrigação grave”.

São Josemaria Escrivá

RESUMO

Este estudo tem como objetivo identificar a diferenciação tecnológica na produção agropecuária entre os municípios no Semiárido e nas outras regiões do Nordeste do Brasil. Para alcançar tal objetivo, foi utilizada a metodologia da Metafronteira de Produção proposta por Battese et al. (2004) e O'Donnell et al. (2008). Os resultados confirmam que o Semiárido e o não-Semiárido não compartilham a mesma tecnologia de produção, destacando a importância das políticas públicas para reduzir as disparidades tecnológicas e produtivas. Estratégias promissoras incluem investimentos na capacitação da mão de obra, crédito subsidiado para modernização e a facilitação do acesso a insumos modernos. Além disso, os resultados revelam que a presença de alguns municípios do MATOPIBA, tanto no semiárido, quanto no não semiárido, introduziu uma fonte de heterogeneidade tecnológica dentro de cada uma das regiões. Indicando a existência de um panorama tecnológico rico e complexo, superando a dualidade entre semiárido, com uma agropecuária de subsistência, e não semiárido, com uma produção voltada para comercialização e dinâmica tecnológica.

Palavras-chave: agricultura; tecnologia; semiárido nordestino; fronteira de produção.

JEL: D24, Q10.

ABSTRACT

This study aims to identify technological differentiation in agricultural production among municipalities in the Semi-Arid and other regions of Northeast Brazil. To achieve this objective, the Metafrontier Production methodology proposed by Battese et al. (2004) and O'Donnell et al. (2008) was employed. The results confirm that the Semi-Arid and non-Semi-Arid regions do not share the same production technology, emphasizing the importance of public policies in reducing technological and productive disparities. Promising strategies include investments in workforce training, subsidized credit for modernization, and facilitating access to modern inputs. Furthermore, the results reveal that the presence of some municipalities in the MATOPIBA region, both in the semi-arid and non-semi-arid areas, has introduced a source of technological heterogeneity within each of the regions. This indicates the existence of a rich and complex technological landscape, transcending the duality between the semi-arid, characterized by subsistence agriculture, and the non-semi-arid, focused on commercial production and technological dynamism.

Keywords: agriculture; technology; northeastern semi-arid region; production frontier.

JEL: D24, Q10.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Valor adicionado Bruto per capita da Agropecuária em 2020	16
Figura 2 – Fluxograma da Estratégia Empírica	28
Figura 3 – Densidade da frequência das EF e EF* estimadas	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valor Adicionado Médio da Agropecuária para o Nordeste brasileiro em 2020 (em R\$ mil de 2020)	16
Tabela 2 – Estatísticas Descritivas	30
Tabela 3 – Prova de razão máximo verossimilhança dos parâmetros das fronteiras de produção ...	32
Tabela 4 – Fronteiras estocásticas estimadas para o Nordeste, semiárido e não semiárido	33
Tabela 5 – Estatística descritiva e distribuição de frequência das EF (%) e MTR (%) estimadas	34
Tabela 6 – Amostras sub-regionais das ET (%), MRT (%) e EF*(%) médias (2017)	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Variáveis do Modelo.....	27
-------------------------------------	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	16
2.2 EFICIÊNCIA TÉCNICA DA AGROPECUÁRIA DO NORDESTE BRASILEIRO	18
3 METODOLOGIA	21
3.1 METAFRONTIERA DE PRODUÇÃO À LÁ O'DONNELL ET AL. (2008)	21
3.2 TESTES DE HIPÓTESES	24
3.2.1 TESTE DA FORMA FUNCIONAL	24
3.2.2 EFEITO DA INEFICIÊNCIA TÉCNICA	25
3.2.3 DISTRIBUIÇÃO DO TERMO DA INEFICIÊNCIA	25
3.2.4 EXISTÊNCIA DE DUAS FRONTEIRAS REGIONAIS	25
3.3 BASE DE DADOS	26
3.4 ESPECIFICAÇÃO DO MODELO EMPÍRICO	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS	30
4.2 TESTES DE HIPÓTESES	31
4.3 ESTIMAÇÃO DAS FRONTEIRAS DE PRODUÇÃO	32
4.4 ANÁLISE DAS EFICIÊNCIAS TÉCNICAS E RAZÃO DAS METAFRONTIERAS	34
5 CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro é o segundo maior exportador global de produtos agrícolas, representando 5,9% das exportações agrícolas mundiais em 2022 (FAOSTAT, 2023) e contribuindo com cerca de um terço do PIB nacional (CEPEA/ESALQ, 2022). Entre seus principais produtos estão a soja, açúcar, etanol, carne (aves e bovinos), milho e café. A expansão do setor se deve à demanda internacional por commodities, como a soja impulsionada pela China, causando mudanças no uso da terra. E essa acomodação da demanda externa pode ser explicada, de acordo com Martins (2019), pelo fato de o Brasil possuir vantagens competitivas em fatores de produção e custos.

Esse processo só foi possível pela intensa modernização do agronegócio brasileiro, que começou nos anos 1960, levando a um notável aumento de produtividade. Segundo Gasgues et al. (2023), a Produtividade Total dos Fatores (PTF) do setor agropecuário no Brasil de 1975 a 2021, apresentou um crescimento de 3,31%, aumento superior à média mundial. Segundo os autores, quando comparado a importantes produtores de produtos agropecuários, como Estados Unidos, União Europeia, China, Índia e Argentina, o Brasil registrou um crescimento superior na produtividade agrícola. Além disso, acerca de a agropecuária brasileira ter apresentado um rápido crescimento na produtividade total dos fatores (PTF) nas últimas duas décadas, essa tendência foi particularmente forte entre 2000 e 2012 (Gasgues et al, 2016; Gasgues et al., 2023), entretanto, nos anos de 2012-2021 e 2017-2021, houve forte queda da PTF em relação ao seu crescimento histórico.

Destaca-se que essa dinâmica se deu de forma heterogênea no processo de modernização agrícola no Brasil e ocorreu de maneira desigual entre as regiões brasileiras, especialmente no Semiárido nordestino (Barbieri et al., 2010). Essa desigualdade pode ser atribuída à formação histórica, condições climáticas, geográficas e culturais específicas de cada região brasileira (Fornazier; Vieira Filho, 2012). Diante dessas particularidades, o setor agrícola enfrenta diferentes contextos institucionais, tecnológicos, geográficos e climáticos, que podem ampliar a disparidade produtiva entre as regiões. Segundo Souza et al. (2013), a tecnologia é o principal impulsionador dos ganhos de produtividade na agricultura brasileira, levando a uma homogeneização heterogênea do setor (Navarro, 2016).

No contexto em questão, é imprescindível voltar uma atenção especial para o Nordeste, já que a região não seguiu a mesma trajetória dinâmica observada nas demais partes do país, resultando em uma posição de menor vigor na esfera agrícola (Vicente, 2004; Vieira

Filho, 2013). No Brasil, fica evidente uma dualidade entre modernização e atraso. Enquanto as regiões Centro-Oeste e Sul apresentam um setor agrícola modernizado, tecnologicamente avançado e produtivo, no Norte e no Nordeste prevalece uma agricultura caracterizada por métodos antiquados e baixa produtividade. A situação de pobreza rural é particularmente acentuada no Nordeste brasileiro, especialmente na região do Semiárido Nordestino (Vieira Filho, 2013; Silva et al., 2019). É importante ressaltar que, mesmo dentro do Nordeste, o setor agrícola não é uniforme em sua performance. Os agricultores que operam no Semiárido enfrentam desafios singulares, como a escassez de água e condições climáticas adversas, que podem impactar os métodos de cultivo utilizados e a eficiência produtiva alcançada por esses agricultores. A partir dessa discussão advém alguns questionamentos: Essas disparidades têm um impacto na eficiência da produção? E, ainda mais importante, qual é a extensão dos efeitos, em termos de eficiência produtiva, de pertencer ou não a uma determinada delimitação geográfica?

Dessa forma, elenca-se como hipótese do presente estudo que a desigualdade no desenvolvimento agrícola no Brasil, especialmente no Nordeste, pode ser atribuída à dualidade entre modernização e atraso na agricultura, e essa disparidade é ainda mais acentuada na região do Semiárido Nordestino, principalmente com a expansão da fronteira agrícola para o Cerrado Nordestino, onde fatores como escassez de água e condições climáticas adversas podem criar desafios únicos para os agricultores. Para tanto, é necessária uma estratégia empírica que consiga testar essa hipótese.

Nesse sentido, diversos estudos buscam mostrar essa diferenciação entre as regiões pelo cálculo de fronteiras de produção para o cômputo da eficiência técnica produtiva, como aponta Ferrari e Braga (2021). Segundo os autores, a fronteira de produção é um conceito mais tradicional e amplamente utilizado na análise da eficiência produtiva. Ela representa o limite máximo da combinação de insumos que uma determinada tecnologia permite produzir para uma dada quantidade de produto. Em outras palavras, a fronteira de produção mostra o ponto em que a produção é maximizada para uma tecnologia específica, sem desperdício de insumos, desconsiderando as tecnologias futuras e potenciais.

Uma miríade de estudos se aponta nesse sentido, como Bragagnolo (2012) que analisaram a eficiência técnica dos municípios brasileiros, ou mesmo buscando fatores explicativos da ineficiência técnica, como é o caso de Reyna et al. (2020), para uso de agrotóxicos, ou de Costa et al. (2020). Tem-se outros estudos, como o de Ribeiro et al. (2021), que buscam aplicar a metodologia para a agropecuária, focando apenas na pecuária do Nordeste. Entretanto, todas essas abordagens consideram que todas os municípios brasileiros

compartilham da mesma combinação ótima de insumos que uma determinada tecnologia permite produzir, negligenciando fatores como condições geográficas, culturais, históricas e institucionais distintas, que devem ser consideradas nas análises de produtividade e eficiência técnica.

Uma forma de auferir essa diferenciação entre regiões se dá no conceito de função de metafronteira de produção (MF), inicialmente proposto por Hayami (1969) e Hayami e Ruttan (1970; 1971) que a definiram como a envoltória das funções de produções neoclássicas das firmas mais eficientes, assumindo que todas elas possuem acesso a mesma tecnologia. Esse conceito reconhece que a melhoria na produtividade agrícola não ocorre apenas através do uso mais eficiente dos insumos existentes, mas também através da inovação tecnológica, novos métodos de cultivo, desenvolvimento de variedades de plantas mais produtivas, entre outros avanços. A MF busca analisar como as mudanças nas técnicas e tecnologias de produção influenciam a relação entre insumos e produtos, e como essas mudanças podem impulsionar o crescimento econômico, a segurança alimentar e a melhoria das condições de vida das populações rurais.

Tentando lidar com essa lacuna, o presente estudo tem como objetivo identificar as discrepâncias tecnológicas na produção agropecuária entre os municípios no Semiárido e nas outras regiões do Nordeste do Brasil. Com esse propósito, propõe-se a aplicação da metodologia empregada por Battese et al. (2004) e O'Donnell et al. (2008) para estimar a Metafronteira de Produção. Esse arcabouço teórico é amplamente empregado para comparar os níveis de eficiência e as tecnologias de produção entre diferentes regiões. Assim, a principal contribuição do estudo reside na aprimorada caracterização dos municípios localizados no Semiárido e nas outras áreas do Nordeste brasileiro, com foco na análise das dimensões produtiva e tecnológica.

O presente estudo está dividido em cinco seções, incluindo esta breve introdução. A segunda seção abordará a fundamentação teórica do estudo, oferecendo uma breve caracterização do Semiárido e compilando estudos empíricos sobre a eficiência produtiva da agropecuária na região. A terceira seção apresentará a metodologia e o modelo econométrico, juntamente com a origem dos dados e a seleção dos municípios utilizados na estimativa. Na quarta seção, os resultados serão discutidos, e, por fim, o estudo será concluído com as considerações finais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Características da área de estudo

O Nordeste brasileiro é uma região situada no extremo leste do país, abrangendo nove estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. Com uma área aproximada de 1,5 milhão de km² e 18% do território nacional, o Nordeste é marcado por uma diversidade cultural, geográfica e climática única, que moldou a história e identidade dos 1.794 municípios da região.

A característica mais proeminente do Nordeste é a presença de dois tipos distintos de áreas: o Semiárido e o não-Semiárido. O Semiárido nordestino ocupa grande parte da região, caracterizando-se por um clima seco e com chuvas escassas e irregulares. Essa sub-região é historicamente desafiadora devido à sua aridez, com longos períodos de estiagem e pouca disponibilidade hídrica. As características endoclimáticas do Semiárido são influenciadas por sua localização próxima à Linha do Equador, onde há pouca variação de temperatura ao longo do ano e ventos secos provenientes do oceano Atlântico (Silva *et al.*, 2019).

Um ponto que merece destaque é a delimitação do Semiárido nordestino. Como bem aponta Silva *et al.* (2019), sua delimitação é política. Para o presente estudo será considerado a delimitação proposta de Semiárido aprovada pelas Resoluções do Conselho Deliberativo da Sudene de nº 107, de 27/07/2017 e de nº 115, de 23/11/2017. Nela, é considerado parte dessa região os municípios que se enquadrem em: 1. Precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; 2. Índice de Aridez de *Thornthwaite* igual ou inferior a 0,50 e; 3. Percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano. Essa ressalva é importante, já que em dezembro de 2021¹ foi mudado novamente sua delimitação. Entretanto, já que o presente estudo utilizará os dados do Censo agropecuário de 2017, optou-se em utilizar a definição anterior, proposta em 2017.

Com relação ao perfil socioeconômico da região, o Semiárido nordestino enfrenta desafios significativos. A agricultura e a pecuária são limitadas pela escassez de água, resultando em culturas resistentes à seca e práticas agrícolas adaptadas. Vale destacar a base produtiva vigorosa que se estabeleceu em termos de capital e tecnologia introduzida na região

¹ O Conselho Deliberativo da Sudene (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste) decidiu excluir 50 municípios do mapa do Semiárido brasileiro. A decisão, tomada em reunião pelo Conselho Deliberativo, em dezembro, também aprovou a inclusão de outros 215 municípios —a maioria do Sudeste.

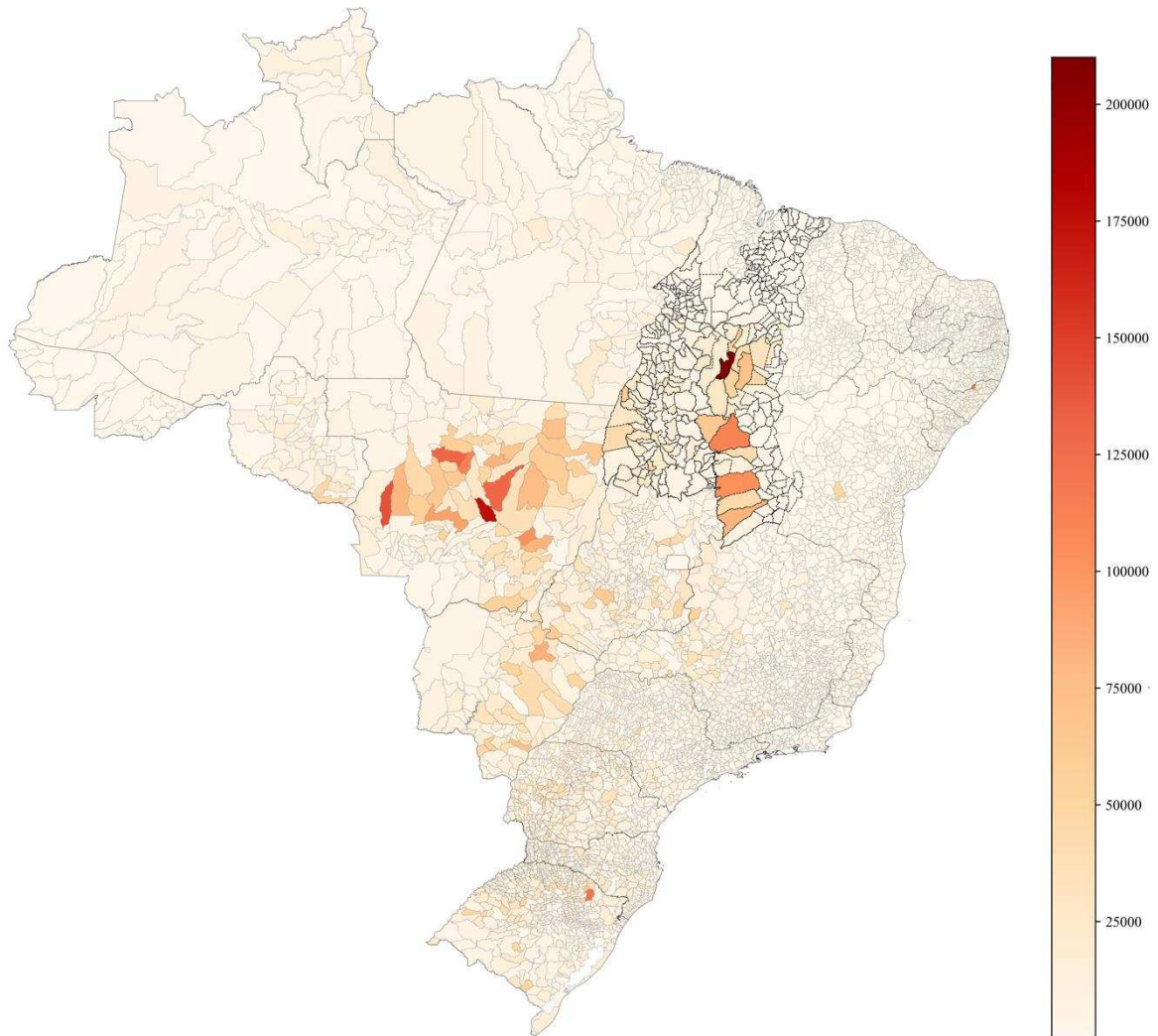
do MATOPIBA nordestino, conforme discutido por Buainain e Garcia (2016) e Vieira Filho (2016).

Tabela 1 – Valor Adicionado Médio da Agropecuária para o Nordeste brasileiro em 2020 (em R\$ mil de 2020).

Região	Apenas MATOPIBA		Sem MATOPIBA		Nordeste	
	VAB	Municípios	VAB	Municípios	VAB	Municípios
Não-Semiárido	128.375	49	54.897	476	73.081	525
Semiárido	160.011	147	29.424	1.122	35.007	1.269
Nordeste	144.193	196	42.161	1.598	48.005	1.794

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 1 – Valor adicionado Bruto per capita da Agropecuária em 2020.



Fonte: Elaboração Própria.

O MATOPIBA, composto por municípios do Tocantins, Maranhão, Piauí e Bahia, exibe um grande potencial agrícola devido a preços de terra atrativos, clima favorável e relevo

propício para grãos. O setor agro tem impulsionado mudanças na região, atraindo investimentos e gerando dinâmicas competitivas. Com 337 municípios abrangidos e 73 milhões de hectares, predominantemente de bioma Cerrado, o MATOPIBA enfrenta climas semiúmidos e semiáridos, influenciando os períodos de seca. Soja, milho e algodão são as culturas de destaque na área (Lima, 2020; EMBRAPA, 2021).

A disparidade mencionada encontra um reflexo no Valor Adicionado Bruto da agropecuária brasileira, conforme demonstrado na tabela a seguir. O MATOPIBA emerge como líder quando se trata do Valor Adicionado Médio da Agropecuária em todos os agrupamentos regionais. É notável que o Semiárido com a inclusão do MATOPIBA apresenta um valor médio maior, superando em 457% o valor do Semiárido sem a sua contribuição. Essa discrepância pode ser atribuída a uma variedade de fatores, incluindo práticas de cultivo, produtividade agrícola e investimentos em tecnologia.

Os resultados apontam que o valor adicionado médio da agropecuária do MATOPIBA, para qualquer divisão proposta, é superior, o que destaca a pungência da atividade e seu impacto econômico nos municípios dessa região. Já a Figura 1 apresenta o VAB per capita da Agropecuária em 2020. Dos 10 maiores VAB per capita da Agropecuária entre os municípios do Brasil, em 2020, 5 estavam no MATOPIBA nordestino: São Desidério/BA (1°); Formosa do Rio Preto/BA (2°); Balsas/MA (8°); Tasso Fragoso/MA (9°); e Barreiras/BA (10°). Os demais estão principalmente em Mato Grosso e em Goiás. A maior parte da produção de grãos (90%) no Nordeste é cultivada na região do MATOPIBA onde, apesar da falta de infraestrutura, o baixo preço da terra, o clima e a topografia são favoráveis à agricultura extensiva de sequeiro, como bem aponta Araújo et al. (2019).

2.2 Eficiência técnica da agropecuária do nordeste brasileiro

A literatura sobre análises de eficiência com base nas fronteiras de produção é ampla e diversificada. Um dos principais métodos utilizados para medir a eficiência produtiva é a Análise Envoltória de Dados (DEA), um método matemático não paramétrico.² Outra abordagem é a análise de fronteiras estocásticas (SFA), que é um método paramétrico que exige a suposição de uma forma funcional predefinida (Ferrari; Braga, 2021). Na literatura, diversos estudos têm abordado a eficiência e produtividade da agricultura no Nordeste brasileiro, com diferentes enfoques regionais, períodos de análise, métodos e variáveis consideradas. Muitos

² Veja Magalhães (2013) para maiores detalhes.

destes estudos tratam o Nordeste como uma unidade homogênea, sem levar em conta as variações climáticas.

Um exemplo de estudo que leva em consideração essa diferenciação é o de Silva et al. (2019). Nesse estudo, foi empregado o modelo de Metafronteira para avaliar discrepâncias tecnológicas na agropecuária entre municípios de diferentes regiões brasileiras, abrangendo Censos Agropecuários de 1975 a 2006. A análise também considerou a divisão entre zonas semiáridas e não semiáridas no Nordeste. Os resultados confirmaram a hipótese de que as regiões brasileiras, inclusive o Nordeste Semiárido e não-Semiárido, não compartilham o mesmo nível tecnológico de produção. Isso aponta para a necessidade de investigações futuras para compreender as razões por trás das disparidades regionais identificadas.

Ribeiro et al. (2021), por sua vez, utilizou o Censo Agropecuário de 2017 para analisar a produção pecuária no Nordeste e sua eficiência técnica. O método de fronteira estocástica foi aplicado com uma representação da função Cobb-Douglas, incorporando ineficiência. O estudo concluiu que os gastos com insumos, como mão de obra, capital e área, são fatores cruciais na função de produção da pecuária na região nordestina. Municípios fora do Semiárido apresentaram maior eficiência. Variáveis como crédito rural e precipitação tiveram um impacto positivo na minimização da ineficiência produtiva.

Outros estudos oferecem insights importantes para a compreensão da atividade agropecuária no Brasil e no Nordeste, mesmo que não se foquem especificamente na eficiência técnica. Ferreira e Vieira Filho (2020) exploraram a produtividade da agropecuária no Brasil, considerando avanços tecnológicos e ineficiências em alguns municípios. Eles propuseram políticas complementares à pesquisa tecnológica para reduzir as disparidades entre as melhores práticas e os municípios ineficientes, gerando ganhos econômicos e sociais. O estudo também sugeriu que investimentos em infraestrutura, como estradas pavimentadas e armazenagem, podem aumentar a eficiência da produção agropecuária.

Em outra pesquisa, Alcantara e Bacha (2023) analisaram a modernização na agropecuária brasileira entre 2006 e 2017. Eles observaram que essa modernização não ocorreu uniformemente em todas as regiões do Brasil, indicando trajetórias diferentes possivelmente influenciadas por fatores econômicos, geográficos e sociais. A análise mediu a modernização através de cinco fatores, incluindo a relação capital/trabalho, uso de insumos, uso sustentável da terra e infraestrutura. O estudo destacou a importância de uma abordagem abrangente que também considere os aspectos ambientais e de sustentabilidade na modernização.

A região do MATOPIBA, composta por partes dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, tem se tornado uma fronteira agrícola significativa. Estudos como o

de Bolfe et al. (2016) examinaram essa expansão, identificando mudanças no uso da terra e relacionando o aumento da produção com indicadores socioeconômicos positivos, como o IDH e o PIB nos municípios do MATOPIBA.

No estudo de Buanain et al. (2017), a análise da evolução das lavouras temporárias no MATOPIBA destaca variações no potencial agropecuário devido a diferenças em solos, topografia, clima e ocupação prévia da fronteira. Os resultados revelam uma concentração espacial de atividades que suscita questionamentos sobre o impacto em toda a região. Além disso, o estudo aponta que, até o momento, a expansão agrícola no MATOPIBA não atraiu investimentos significativos nos setores industriais e de serviços correlatos, embora essa dinâmica possa mudar com a consolidação dos polos produtivos. Os autores também destacam que a pecuária na região permanece pouco produtiva em comparação com culturas como soja, milho e algodão, devido ao clima instável e à adaptação produtiva ainda em desenvolvimento.

3 METODOLOGIA

3.1 Metafronteira de Produção à lá O'Donnel *et al.* (2008)

A elaboração da Metafronteira de Produção (MFP) ocorre em duas etapas distintas, conforme desenvolvido por O'Donnel *et al.* (2008). O primeiro estágio compreende a criação de fronteiras estocásticas regionais. Para tal propósito, considere que a relação entre insumos e produtos das diversas empresas em diferentes regiões, dentro de um determinado segmento produtivo, é retratada por uma fronteira estocástica regional correspondente a cada agrupamento de empresas. Dessa forma, para cada grupo j , uma amostragem composta por N_j unidades produtivas é considerada, as quais produzem um dado produto mediante a utilização de vários insumos. A fronteira estocástica referente a esses grupos é então definida por:

$$y_i^j = f(X_i\beta^j)\exp\{v_i^j - u_i^j\} \quad (1)$$

O termo y_i representa a produção observada na unidade produtiva i ; X_i denota o vetor de dimensão $1 \times K$ contendo os insumos ou outras variáveis explicativas associadas à unidade produtiva; β^j indica o vetor de dimensão $K \times 1$ representando os parâmetros desconhecidos associados ao grupo j . Cada município brasileiro foi tratado como uma unidade produtiva e agrupado por regiões, resultando em $j =$ Nordeste Semiárido e Nordeste não-Semiárido. Com o propósito de testar a hipótese de que as tecnologias empregadas nos municípios das duas regiões são idênticas, serão calculadas fronteiras estocásticas regionais correspondentes às regiões individuais, bem como uma fronteira que engloba todos os municípios agrupados, ignorando qualquer diferenciação regional entre eles, para cada modelo analisado, conforme desenvolvido por Silva *et al.* (2019).

A composição do termo de erro envolve os componentes v_i^j e u_i^j , os quais são independentes um do outro. O primeiro componente representa variações devido a choques aleatórios, erros de medição e assim por diante, e é considerado hipoteticamente como identicamente e independentemente distribuído segundo uma distribuição normal com média zero e variância σ_v^2 . O segundo componente se refere à ineficiência técnica intrínseca à unidade produtiva, que faz com que o nível de produção da empresa fique aquém da fronteira de produção estimada. Essa ineficiência pode seguir diferentes tipos de distribuição, como a *half-*

normal (conforme Aigner, Lovell e Schmidt, (1977)), normal truncada (conforme Battese e Coelli (1995)), exponencial ou gama.

A adoção da abordagem de fronteira estocástica apresenta vantagens e desvantagens. O modelo de fronteira estocástica, que estima as eficiências técnicas das empresas, é construído a partir de parâmetros testados por meio de erros padrão e incorpora fatores aleatórios significativos próprios de diversas atividades econômicas, como as cheias, secas, dentre outros eventos, fundamentais para a produção da agropecuária.

Todavia, é importante destacar algumas limitações inerentes a essa abordagem, como a má especificação da distribuição assumida para o termo de ineficiência, especialmente no caso da distribuição *half*-normal (Liu et al., 2008) e a violação das propriedades da função de produção, especialmente a monotonicidade (Reinhard et al., 2000). Um outro ponto suscetível a críticas é a imposição de uma forma funcional, além de não permitir a mensuração de escores de eficiência na presença de empresas com múltiplos insumos e produtos (Tannuri-Pianto et al., 2009; Silva et al., 2019). As estimações desses parâmetros serão obtidas pelo método da máxima verossimilhança, como proposto por Coelli et al. (2005). O resultado da eficiência técnica dos municípios situados nas fronteiras agrícolas deste modelo (ET_i) é obtida pela razão entre a produção observada e a produção correspondente à fronteira de produção. Tem-se a seguinte equação:

$$ET_i^j = \frac{Y_i^j}{Y_i^{j*}} = \frac{Y_i^j}{f(x_i^j, \beta^j) \exp\{v_i^j - u_i^j\}} = \exp(-u_i^j) \quad (2)$$

Para testar se as regiões são governadas pela mesma fronteira de produção estocástica, aplica-se o teste de razão de verossimilhança (LR). Se a hipótese nula for rejeitada, a fronteira de produção agrupada é descartada e a hipótese alternativa de diferentes fronteiras regionais é aceita. No entanto, as eficiências técnicas calculadas pelas fronteiras regionais estimadas não são diretamente comparáveis. Para superar isso, utiliza-se o conceito de Metafronteira de produção para avaliar as discrepâncias de desempenho entre as duas regiões estudadas.

Partindo da premissa de que os municípios estão segmentados em grupos regionais com conjuntos diversos de produção, refletindo variações em acesso a recursos de capital físico, humano e financeiro, bem como disparidades em recursos naturais, qualidade do solo, clima, recursos energéticos, infraestrutura, entre outros, a função de Metafronteira de produção (MF)

permite comparações das eficiências técnicas estimadas a partir das diferentes fronteiras. A formulação da função de MF de produção é a seguinte:

$$Y_i^* = f(X_i, \beta^*) \equiv \exp \{X_i' \beta^*\}, \text{ onde } X_i' \beta^* \geq X_i' \beta^j, \text{ para } j = 1, 2, \dots, J \quad (4)$$

onde Y_{it}^* representa o produto da Metafronteira e β^* é o vetor de parâmetros para a MF de produção. Desse modo, para a estimação da MFP, proposto por Battese et al. (2004) e O'Donnell et al. (2008), considera-se que, dado os parâmetros estimados β^j das fronteiras regionais no primeiro passo, o segundo passo para a estimação da MFP se dá na estimação de β^* pela solução de um problema de programação linear, apresentada a seguir:

$$\left\{ \begin{array}{l} \min_{\beta} \bar{X} \beta^* \\ \text{s. a. } X_i' \beta^* \geq X_i' \beta^j, \text{ para } j = 1, 2, \dots, J, \forall i \end{array} \right. \quad (5)$$

onde dos \bar{X}_i é o vetor coluna das médias dos elementos dos X_i^j vetores para a i -ésima observação do nosso conjunto amostral. Com a resolução do problema de programação linear resolvido, tem-se o vetor β^* definido. Rescreve-se então o produto observado da firma (município) i , na região j , no ano t , pela seguinte decomposição:

$$y_i^j = \exp(-u_i^j) \cdot \frac{f(X_i^j, \beta^j)}{f(X_i^j, \beta^*)} \cdot f(X_i^j, \beta^*) \cdot \exp(v_i^j) \quad (6)$$

$$MTR_i^j = \frac{f(X_i^j, \beta^j)}{f(X_i^j, \beta^*)}, \text{ onde } 0 \leq MTR_i^j \leq 1 \quad (7)$$

A eficiência técnica (ET) da j -ésima região em relação à fronteira estocástica é representada pelo primeiro termo à direita na equação (6), $\exp(-u_i^j)$. O segundo termo é chamado de razão de metatecnologia (MTR), que reflete a diferença entre a tecnologia disponível na região j , comparada à melhor tecnologia presente na indústria como um todo, conforme definido na equação (7). Portanto, a eficiência técnica relativa à Metafronteira é expressa de maneira similar na equação (8):

$$ET_i^{*j} = \frac{y_i^j}{f(X_i^j, \beta^*) \cdot \exp(v_i^j)} = TE_i^j \cdot MTR_i^j \quad (8)$$

3.2 Testes de hipóteses

Nesta subseção, serão abordados diversos testes de hipóteses cruciais para a análise do modelo proposto. São eles: 1) Teste da Forma Funcional: Este teste avalia a adequação da forma funcional escolhida para representar a relação entre insumos e produtos. Será verificado se essa forma funcional é estatisticamente válida para descrever a produção das empresas nas diferentes regiões. 2) Efeito da Ineficiência Técnica na Função de Produção: Aqui examinaremos como a ineficiência técnica afeta a função de produção. Investigaremos se o desvio da produção da fronteira de eficiência é estatisticamente significativo e em que grau isso ocorre. 3) Distribuição do Termo da Ineficiência: Este teste analisa a distribuição do termo de ineficiência. Investigaremos se a hipótese de uma distribuição específica, como a *half-normal*, é estatisticamente consistente com os dados observados. 4) Existência de Duas Fronteiras Regionais: Neste teste, buscaremos determinar se há evidências estatísticas para rejeitar a hipótese de que todas as regiões compartilham a mesma fronteira de produção estocástica. Investigaremos se existem diferenças significativas nas fronteiras de produção entre as diferentes regiões.

Cada um desses testes será detalhadamente explicado em termos de sua formulação estatística e metodologia de análise. O objetivo é oferecer uma compreensão abrangente de como cada teste é conduzido e quais inferências podem ser feitas a partir dos resultados obtidos.

3.2.1 Teste da forma funcional

O procedimento de teste é realizado da seguinte maneira: uma vez que os dois modelos são obtidos, os valores correspondentes de log-verossimilhança (LL) são calculados. Com esses resultados à disposição, o teste de razão de verossimilhança (LR) é aplicado, com a hipótese nula H_0 : LL seguindo um modelo Cobb-Douglas e a hipótese alternativa H_1 : LL seguindo um modelo Translog. A estatística LR é computada usando a seguinte fórmula: $LR = -2[\ln(LL H_0) - \ln(LL H_1)] \sim \chi^2$, em que LL representa a log-verossimilhança estimada para cada forma funcional.

Para avaliar a significância estatística, é empregada a tabela de valores críticos apresentada por Kodde e Palm (1986). A hipótese nula não é rejeitada se o valor calculado de LR for menor do que o limiar crítico, conforme estabelecido na tabela de Kodde e Palm (1986).

3.2.2 Efeito da ineficiência técnica

Este teste avalia a presença ou ausência de ineficiência técnica no modelo, determinando se o modelo é capaz de capturar essa ineficiência na empresa/município. Para isso, obtém-se o valor da log-verossimilhança do modelo estimado sem a inclusão dessa variável. Em seguida, por meio do método de mínimos quadrados ordinários, realiza-se o teste de verossimilhança generalizada, comparando o resultado com o valor crítico da tabela de Kodde e Palm (1986).

O teste de razão de verossimilhança (LR) é formulado com a hipótese nula, H_0 : Modelo de mínimos quadrados ordinários (sem ineficiência técnica, $\gamma = 0$), e a hipótese alternativa, H_1 : a presença de ineficiência técnica deve ser considerada no modelo ($\gamma \neq 0$). O cálculo da estatística LR é realizado conforme a equação: $LR = -2[\ln(LL H_0) - \ln(LL H_1)] \sim \chi^2$, sendo LL o valor do log-verossimilhança estimado para cada forma funcional.

Ao utilizar os valores críticos estabelecidos por Kodde e Palm (1986), a hipótese nula não é rejeitada se o valor calculado de LR for menor do que o limiar crítico, conforme indicado na Tabela de Kodde e Palm (1986).

3.2.3 Distribuição do termo da ineficiência

Esse teste tem a finalidade de determinar a distribuição mais adequada para o termo de eficiência no modelo. Inicialmente, é estimada uma fronteira estocástica com o termo de erro seguindo uma distribuição *half-normal* (Hipótese nula - H_0). Em seguida, uma estimativa é realizada utilizando uma distribuição normal truncada (Hipótese alternativa - H_1). As duas estimativas são comparadas por meio do teste de máxima verossimilhança. A estatística de razão de verossimilhança (LR) é calculada conforme a seguinte equação: $LR = -2[\ln(LL H_0) - \ln(LL H_1)] \sim \chi^2$ onde LL representa o log-verossimilhança estimado para cada forma funcional.

Para avaliar a significância estatística, utiliza-se os valores críticos apresentados por Kodde e Palm (1986). A hipótese nula não é rejeitada se o valor calculado de LR for menor do que o limiar crítico, conforme estabelecido na Tabela de Kodde e Palm (1986).

3.2.4 Existência de duas fronteiras regionais

Para verificar se as duas regiões podem ser representadas pela mesma fronteira de produção estocástica, emprega-se o teste de razão de verossimilhança (LR). A hipótese nula (H_0) considera que a log-verossimilhança (LL) da fronteira agrupada é válida, enquanto a hipótese alternativa (H_1) sugere que a LL é a soma dos valores de LL das fronteiras regionais associadas às diferentes regiões. A estatística LR é novamente calculada segundo a fórmula: $LR = -2[\ln(LL H_0) - \ln(LL H_1)] \sim \chi^2$ em que LL é o log-verossimilhança estimado para cada forma funcional.

Por meio dos valores críticos fornecidos por Kodde e Palm (1986), a hipótese nula não é rejeitada caso o resultado calculado de LR seja menor do que o limiar crítico, na Tabela de Kodde e Palm (1986). Caso a hipótese nula seja rejeitada, a fronteira de produção agrupada é descartada, e a hipótese alternativa, que sugere a existência de diferentes fronteiras regionais, é aceita.

3.3 Base de dados

Os dados utilizados no modelo são provenientes dos censos agropecuários do IBGE relativos ao ano de 2017. Municípios nos quais faltavam informações para alguma variável foram excluídos da amostra. Inicialmente, a amostra incluía 1.794 municípios, porém após esse processo de seleção, a amostra final foi composta por 1.442 municípios, que foram retidos para a análise. Dentre esses, 941 estão situados na região do semiárido e 501 na região não semiárida. Essa abordagem de seleção resultou em uma amostra mais robusta e representativa para a investigação em pauta.

A variável selecionada para representar o produto foi o Valor Bruto da Produção agropecuária. A obtenção de dados para mensurar os fatores de produção - terra, trabalho e despesas com insumos - baseou-se exclusivamente nas informações coletadas pelo censo agropecuário. Para quantificar o fator terra, considerou-se a área total de terras cultivadas com lavouras temporárias e permanentes, excluindo-se áreas destinadas a pastagens. Tal exclusão é justificada pela percepção de que essas áreas não são consideradas recursos escassos na agropecuária, conforme argumentado por Bragagnolo (2012). Esse enfoque na seleção de variáveis e na mensuração dos fatores de produção visa garantir a solidez e a validade da análise conduzida no presente estudo.

O fator trabalho foi representado pelo pessoal ocupado em estabelecimentos agrícolas por município (mão de obra), enquanto o fator capital foi quantificado pelo número de máquinas, implementos agrícolas e tratores por estabelecimento município. As despesas com

insumos, por sua vez, foram derivadas das despesas declaradas em fertilizantes, defensivos, sementes, mudas, energia, entre outros. Cumpre ressaltar que todas essas variáveis estão em conformidade com a literatura existente sobre o tema (Ribeiro et al., 2021; Ferreira, Vieira Filho, 2020; Costa et al., 2020; Silva, et al. 2019; Bragagnolo, 2012). Uma descrição detalhada dessas variáveis é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Variáveis do Modelo.

Variável	Descrição
VBP (Y)	Valor bruto da produção pecuária por estabelecimento (R\$ mil);
Área (L)	Área dos estabelecimentos agropecuários por estabelecimento (ha);
Capital (K)	Número de máquinas, implementos agrícolas e tratores por estabelecimento (R\$ mil);
Pessoal ocupado (T)	Pessoal ocupado em estabelecimentos agrícolas por município (mão de obra);
Despesas (D)	Valor das despesas realizadas por estabelecimento agrícola por município (R\$ mil).

Fonte: IBGE/Censo Agropecuário 2017 (2020).

3.4 Especificação do modelo empírico

Para calcular a Metafronteira de produção, é necessário começar pela estimativa das fronteiras regionais através do método proposto por Aigner et al. (1977) e Meeusen e Van Den Broeck (1977), que trata da fronteira estocástica de produção. Essa abordagem foi posteriormente refinada por Schimidt e Sickles (1984) e Battese e Coelli (1992; 1995), incorporando melhorias que permitem a estimação da fronteira estocástica usando dados de painel.

Estabelece-se, em primeiro lugar, a forma funcional da fronteira estocástica de produção. Diferentes formas funcionais conduzem a diversas modelagens econométricas na análise das fronteiras estocásticas. As formas funcionais mais frequentemente encontradas na literatura são a Cobb-Douglas (CD) e a Translog (TL). Ahmad e Bravo-Ureta (1997) ressaltam que a mensuração da Eficiência Técnica (ET) é sólida para ambas as formas funcionais. Para cada uma dessas formas funcionais, será realizado o teste de existência do efeito da ineficiência técnica, caso não seja identificado o efeito, deve-se utilizar outro método de estimar as fronteiras de produção.

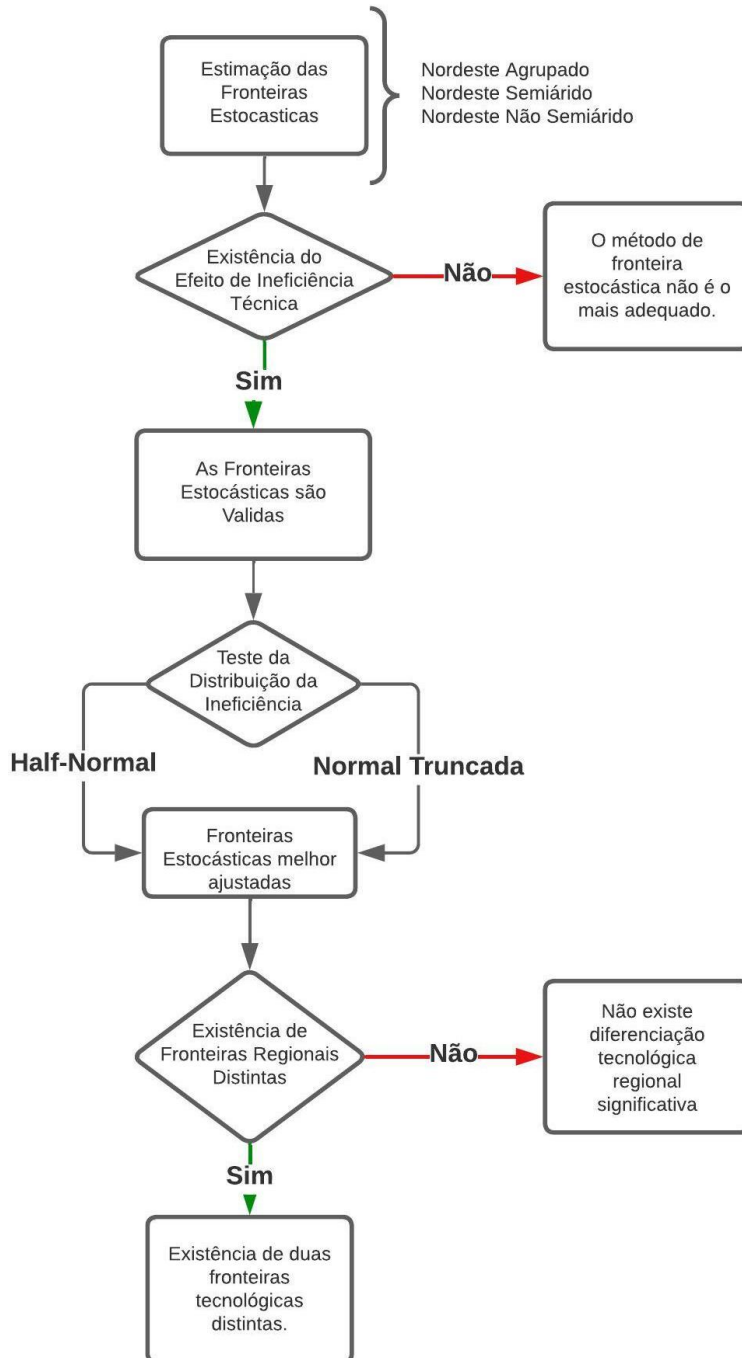
Esse processo de estimar as fronteiras regionais e a escolha da forma funcional apropriada proporciona as bases para a subsequente determinação da Metafronteira de produção, permitindo uma análise robusta das eficiências produtivas nas diferentes regiões. Em seguida, escolhe-se a melhor distribuição para os termos dos erros e por fim testa-se a existência

de fronteiras regionais distintas. O passo-a-passo metodológico pode ser observado na Figura 2.

A função básica para estimação é descrita da seguinte forma:

$$\ln Y_i^j = \beta_0 + \beta_1 \ln L_i^j + \beta_2 \ln T_i^j + \beta_3 \ln K_i^j + \beta_4 \ln I_i^j + v_i^j - u_i^j \quad (9)$$

Figura 2 – Fluxograma da Estratégia Empírica.



Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Considerando as seguintes definições: Y_i^j representa o produto agropecuário do município i , pertencente à região j ; L_i^j é o fator de produção terra do município i no período t da região j ; T_i^j denota o fator trabalho do município i da região j ; K_i^j se refere ao estoque de capital por município i da região j ; I_i^j representa as despesas com insumos por município i da região j ; v_i^j simboliza os distúrbios aleatórios da função de produção, os quais, por hipótese, seguem uma distribuição normal independente e idêntica (*iid*) com média zero e variância σ^2 ; u_i^j é a ineficiência técnica da produção que, por hipótese, pode assumir uma distribuição *half-normal* (HN) com média zero e variância σ^2 , ou uma distribuição Truncada Normal (TN) com média μ e variância σ^2 .

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Estatísticas descritivas

As estatísticas descritivas estão expostas na Tabela 2. Cada linha da tabela corresponde a uma variável-chave relacionada à produção agrícola, permitindo-nos compreender melhor as tendências e características distintas entre essas regiões. Ao analisar os dados, destacam-se algumas observações importantes. Os valores médios da produção agrícola são mais altos na região Não Semiárido em comparação com o Semiárido e o Nordeste. No entanto, a ampla dispersão dos dados, representada pelos desvios padrão substanciais, sugere uma variação significativa nas produções, independentemente da região.

A região não-Semiárido possui uma média de área de terra utilizada para produção maior do que as outras regiões. A variação considerável nos valores (desvios padrão) indica que a distribuição das áreas de terra é diversificada em todas as regiões. A região Semiárido se destaca pelo maior número médio de pessoas empregadas em atividades agrícolas. A considerável variação nos valores sugere diferentes níveis de intensidade de mão de obra em cada região.

Tabela 2 – Estatísticas Descritivas.

Variáveis	Região	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Y (Valor Bruto da Produção, em R\$ mil de 2017)	Não Semiárido	2.756,48	13.515,62	1	240.289
	Semiárido	1.626,83	7.889,96	1	199.229
	Nordeste	2.019,31	10.211,83	1	240.289
L (Terra, em hectares)	Não Semiárido	1.927,05	3.458,84	10	39.244
	Semiárido	1.754,45	2.211,02	3	25.820
	Nordeste	1.814,42	2.710,51	3	39.244
T (Trabalho, mão-de-obra)	Não Semiárido	2.338,45	2.080,36	26	12.750
	Semiárido	3.550,11	3.047,29	33	23.030
	Nordeste	3.129,13	2.809,32	26	23.030
I (Gastos com Insumos, em R\$ de 2017)	Não Semiárido	33.237,91	108.214,31	716	1.638.591
	Semiárido	19.383,45	66.057,44	259	1.196.321
	Nordeste	24.196,96	83.386,40	259	1.638.591
K (Capital, em R\$ mil de 2017)	Não Semiárido	1.072,76	923,31	19	6.909
	Semiárido	1.647,05	1.334,09	22	9.191
	Nordeste	1.447,52	1.237,59	19	9.191

Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Os gastos com insumos na região não-Semiárido são superiores em média, mas também mais voláteis, conforme indicado pelos desvios padrão. A grande variação nos valores máximos sugere a presença de investimentos significativos em insumos. A região do Semiárido

apresenta a maior média de capital investido, enquanto a região do não-Semiárido possui a menor média. A dispersão dos valores de capital é notável, sugerindo diferentes níveis de recursos financeiros alocados em cada região. Em suma, é possível identificar alguns padrões:

- i) A atividade agrícola nas regiões estudadas é heterogênea, com variações consideráveis em todas as variáveis, indicando diferentes dinâmicas agrícolas em cada região.
- ii) O Semiárido se destaca pelo uso intensivo de mão de obra e maiores investimentos em capital, possivelmente refletindo a importância da agricultura de subsistência e a busca por produtividade em condições climáticas adversas.
- iii) A região do não-Semiárido exibe médias mais altas de produção e gastos com insumos, possivelmente indicando um foco em produção comercial e tecnologias agrícolas mais avançadas.
- iv) A análise das estatísticas descritivas destaca as especificidades e desafios de cada região, fornecendo informações valiosas para estratégias de desenvolvimento agrícola e políticas de investimento.

4.2 Testes de hipóteses

A Tabela 3 exibe os desfechos de análises estatísticas referentes à eficiência técnica, distribuição do termo de ineficiência e existência de duas fronteiras regionais, utilizando dados de regiões distintas. Cada linha da tabela apresenta uma avaliação particular, contendo detalhes como a região em análise, a hipótese nula testada, os graus de liberdade (GL), o valor de qui-quadrado (χ^2) calculado, o valor crítico e a decisão concernente à hipótese nula.

No que diz respeito à Inexistência de Eficiência Técnica, observa-se que, para a Fronteira Nordeste, a hipótese nula (H_0) de ausência de eficiência técnica é refutada, com um qui-quadrado calculado de 50 e um valor crítico de 2,7. Similarmente, no Semiárido, a hipótese nula é rejeitada com um qui-quadrado calculado de 5,75 e valor crítico de 2,7. O mesmo padrão é verificado no não-Semiárido, onde a hipótese nula é rejeitada, com um qui-quadrado calculado de 65 e valor crítico de 2,7.

Em relação à Distribuição do Termo da Ineficiência, constata-se que na Fronteira Nordeste, a hipótese nula (H_0) de distribuição half-normal do termo de ineficiência é rejeitada, apresentando um qui-quadrado calculado de 3 e valor crítico de 2,7. Entretanto, tanto no Semiárido quanto no não-Semiárido, a hipótese nula não é rejeitada.

No tocante à existência de duas fronteiras regionais, a hipótese nula é rejeitada, indicando diferenças significativas entre as duas regiões. Em resumo, os resultados dos testes

apontam para a rejeição da hipótese nula em diversas análises, sugerindo a presença de eficiência técnica, distintas distribuições do termo de ineficiência, bem como a existência de duas fronteiras regionais em determinados cenários, ou seja, a fronteira do Seminário e a fronteira do Não Semiárido do Nordeste. Essas análises oferecem *insights* valiosos sobre as características e particularidades das regiões em estudo, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada das relações na produção agrícola.

Tabela 3 – Prova de razão máximo verossimilhança dos parâmetros das fronteiras de produção.

Prova	Região	Hipótese Nula	GL	χ^2	Valor Crítico	Decisão
Inexistência de Eficiência Técnica	Fronteira Nordeste	$H_0: \gamma = 0$	1	50,45	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira Semiárido	$H_0: \gamma = 0$	1	5,75	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira não-Semiárido	$H_0: \gamma = 0$	1	65,66	2,7	Rejeita H_0
Distribuição do Termo da Ineficiência	Fronteira Nordeste	H_0 : half-normal	1	3,25	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira Semiárido	H_0 : half-normal	1	1,89	2,7	Aceita H_0
	Fronteira não-Semiárido	H_0 : half-normal	1	2,1	2,7	Aceita H_0
Existência de duas fronteiras regionais	Não se aplica	H_0 : fronteira Nordeste	7	102,14	14,8	Rejeita H_0

Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa. λ : prova estatística da razão de máximo verossimilhança em que $\lambda = -2[\ln(LL H_0) - \ln(LL H_1)] \sim \chi^2$, com graus de liberdade (GL) iguais ao número de restrições independentes.

4.3 Estimação das fronteiras de produção

A Tabela 4 apresenta os resultados das análises de fronteiras estocásticas, onde os parâmetros estão em escala logarítmica. Nesta análise, a variável explanatória é o Valor Bruto da Produção agro, enquanto as variáveis independentes são Trabalho (T), Gastos em Insumo (I), Capital (K) e Área (L), todas elas representadas por estabelecimento e em escala logarítmica. As regiões examinadas são Nordeste, não-Semiárido e Semiárido, sendo relevante observar que as duas fronteiras isoladas compõem a fronteira do Nordeste.

O coeficiente positivo para a variável de trabalho (T) nas regiões Nordeste e não-Semiárido sugere que um aumento na quantidade de trabalho está associado a um aumento na

produção, embora no Semiárido, que também positivo, esse coeficiente seja menor. Isso encontra respaldo em Araújo e Santos (2009), que identificaram a necessidade de melhorias na educação no Nordeste para equiparar o desempenho das demais partes da região. O coeficiente positivo para os gastos em insumos (I) em todas as três regiões sugere que maiores investimentos em insumos estão vinculados a uma produção mais elevada.

Tabela 4 – Fronteiras estocásticas estimadas para o Nordeste, semiárido e não semiárido.

Variáveis	Parâmetros	Nordeste	não-Semiárido	Semiárido
(intercepto)	β_0	-2,060*** (0,25)	-1,915*** (0,389)	-1,263*** (0,244)
T	β_1	1,587*** (0,217)	2,598*** (0,34)	0,316*** (0,268)
I	β_2	0,515*** (0,03)	0,277*** (0,054)	0,7866*** (0,053)
K	β_3	1,47*** (0,505)	0,897*** (0,664)	0,5206 (0,808)
L	β_4	0,079** (0,05)	0,003 (0,085)	0,173*** (0,078)
	σ^2	9,61*** (6,64)	3,87*** (0,539)	4,72*** (0,3429)
	γ	0,877*** (0,07)	0,63*** (0,106)	0,877*** (0,02)
	ET (média)	0,44	0,4014	0,332
	Log-verossimilhança	-2.619	-919,18	-1.648.696

Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa. ***significante a um nível de 5%. *A codificação para a significância dos coeficientes estimados.

O coeficiente positivo para o capital (K) indica que um aumento no estoque de capital está relacionado a um aumento na produção. Entretanto, os coeficientes têm valores diferentes nas três regiões, e o parâmetro não é estatisticamente significativo no Semiárido. O fato do capital no Semiárido não ser um dos fatores explicativos do Valor Adicionado Bruto da Produção agro indica que, conforme apresentado por Alcântara e Bacha (2023), é um dos fatores de diferenciação produtiva nos municípios situados no semiárido nordestino. O coeficiente positivo para a área (L) no Nordeste e Semiárido sugere que um aumento na área cultivada está associado a maior produção. No entanto, no não-Semiárido, o coeficiente não estatisticamente significativo.

Os valores de eficiência técnica média são relativamente similares nas três regiões, indicando um uso eficiente médio dos recursos de produção. A log-verossimilhança avalia o ajuste do modelo aos dados observados, e valores menores indicam um melhor ajuste, ou seja,

tais valores indicam que o modelo se ajusta bem aos dados. Os resultados indicam que trabalho, gastos em insumos e capital têm impactos positivos na produção, com variações nas magnitudes dos coeficientes entre diferentes regiões. A relação entre área e produção também varia entre as regiões. A análise da ineficiência técnica sugere que, em média, todas as regiões possuem níveis moderados de ineficiência.

Essas análises contribuem para uma compreensão mais profunda das relações de produção agrícola nas regiões estudadas, auxiliando na identificação de fatores que influenciam a eficiência e a produção. É importante considerar esses resultados em contextos mais amplos de políticas agrícolas e desenvolvimento regional

4.4 Análise das eficiências técnicas e razão das metafronteira

A Tabela 5 e a Figura 3 apresenta uma análise aprofundada sobre as estatísticas de Eficiência Técnica (ET), Razão de metatecnologia (MTR) e Eficiência Técnica ajustada pela metafronteira (ET*) nas regiões Semiárida, Não Semiárido e Nordeste. Valores mais elevados de eficiência técnica e ET* indicam uma utilização mais eficiente dos recursos disponíveis, enquanto valores maiores de MRT podem sugerir um uso mais amplo de tecnologias avançadas.

Observando os resultados, é possível notar que a região do Semiárido apresenta uma média de ET de 33,20%, indicando que, em média, cerca de um terço dos recursos de produção são eficientemente utilizados para gerar valor bruto da produção. Isso sugere um potencial de melhoria na gestão dos recursos disponíveis. A MTR média de 43,36% aponta que existe uma margem considerável para a adoção de melhores práticas tecnológicas, o que pode estar relacionado aos desafios de acesso a tecnologias avançadas nessa região.

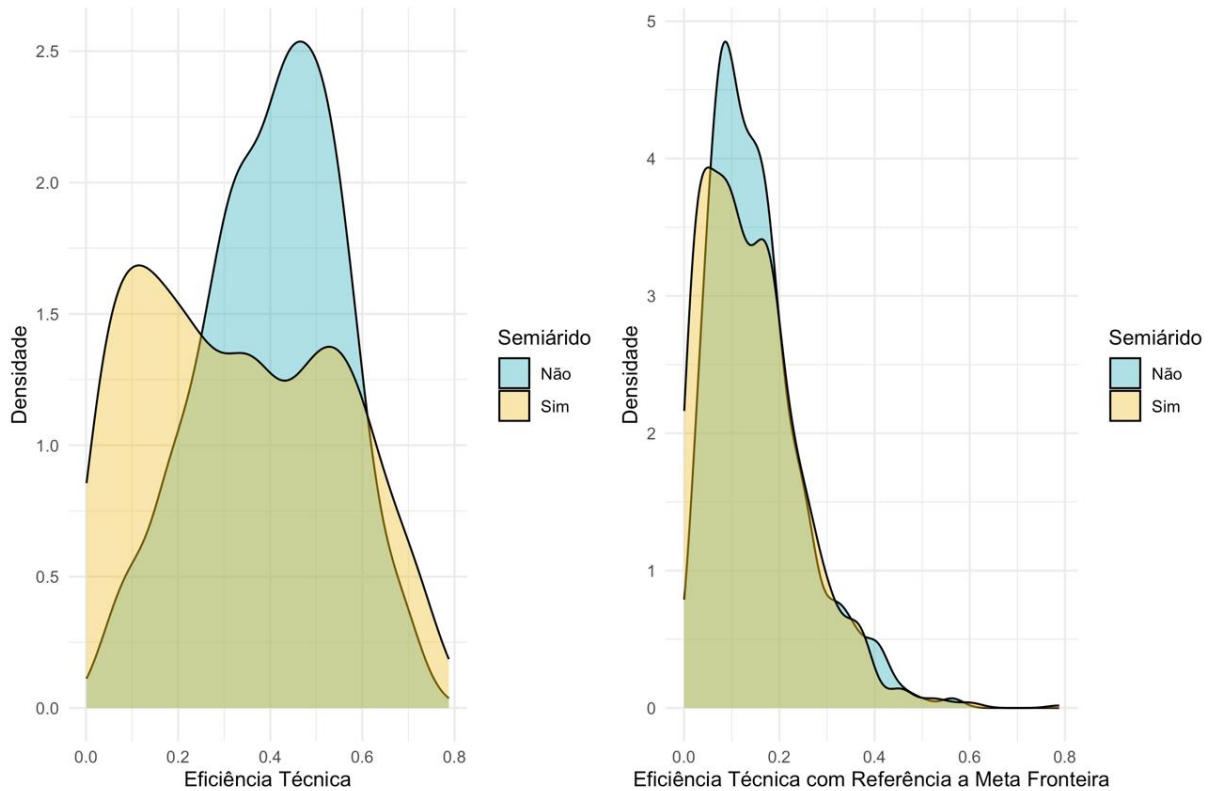
Tabela 5 – Estatística descritiva e distribuição de frequência das EF (%) e MTR (%) estimadas.

Estatísticas	Semiárido			não-Semiárido		
	ET	MTR	ET*	ET	MTR	ET*
Média	33,20%	43,36%	14,35%	40,15%	37,79%	15,41%
Desvio-Padrão	20,92%	14,00%	10,63%	15,01%	16,79%	9,88%
Mínimo	0,10%	15,41%	0,05%	2,80%	6,40%	0,61%
Máximo	78,77%	100,00%	78,77%	76,34%	100,00%	56,99%
Níveis						
< 20%	33,40%	0,01%	75,34%	11,17%	15,16%	75,64%
20% - 37%	24,12%	36,34%	21,25%	28,54%	36,52%	19,96%
37% - 52%	18,50%	40,38%	2,70%	37,72%	28,94%	3,99%
52% - 78%	23,80%	19,76%	0,53%	22,55%	16,56%	0,39%

>79%	0,10%	2,50%	0,11%	0,00%	2,79%	0,00%
------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Figura 3 – Densidade da frequência das EF e EF* estimadas



Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

A ET*, considerando a metafronteira, possui uma média de 14,35% no Semiárido, evidenciando uma ineficiência relativa em relação ao potencial máximo de produção. Isso destaca a importância de abordagens mais eficazes na utilização dos recursos disponíveis e na aplicação de tecnologias mais adequadas à realidade da região. Ao analisar as faixas de eficiência, observamos que a maioria dos municípios no Semiárido se concentra nas categorias de eficiência inferior a 37%, o que sugere que grande parte da produção agrícola enfrenta desafios em relação à gestão de recursos e adoção de tecnologias eficientes. Esses resultados se alinham aos desafios bem conhecidos da agropecuária no Nordeste brasileiro, como a escassez de recursos hídricos, a variabilidade climática e a limitada infraestrutura. Esses fatores podem contribuir para os níveis moderados de eficiência observados. A necessidade de estratégias sustentáveis de gestão de recursos, como técnicas de irrigação eficientes e a escolha adequada de culturas resistentes à seca, torna-se evidente diante dos dados apresentados.

Em suma, a análise das estatísticas de eficiência técnica e adoção de tecnologia nas regiões Semiárido, não-Semiárido e Nordeste proporciona *insights* relevantes para o setor agropecuário da região. Os desafios enfrentados no Nordeste, como a escassez hídrica e as condições climáticas adversas, refletem diretamente nos níveis de eficiência e adoção de tecnologia apresentados. Abordagens integradas que levem em conta a gestão sustentável dos recursos e a aplicação estratégica de tecnologias podem desempenhar um papel crucial na superação desses desafios e na promoção do desenvolvimento agrícola sustentável na região (Alcantara, Bacha, 2023; Araújo, Santos, 2009).

Para uma análise regional, a Tabela 6 apresenta uma análise detalhada das eficiências técnicas (ET), razões de metatecnologia (MRT) e eficiências técnicas ajustadas pela metafronteira (ET*) para diferentes estados nas regiões Semiárido e não-Semiárido em 2017. Esses dados oferecem informações valiosas sobre o desempenho agrícola e as variações regionais.

Tabela 6 – Amostras sub-regionais das ET (%), MRT (%) e EF*(%) médias (2017).

Estados do Nordeste	Municípios Semiárido			Municípios não-Semiárido		
	ET	MRT	ET*	ET	MRT	ET*
Alagoas	31,00%	31,90%	9,80%	36,00%	26,80%	9,50%
Bahia	30,80%	45,00%	13,70%	41,60%	31,10%	12,60%
Ceará	40,40%	45,50%	18,00%	35,10%	28,60%	9,70%
Maranhão	59,90%	32,40%	18,50%	46,50%	48,60%	22,90%
Paraíba	36,80%	44,40%	16,60%	25,20%	35,60%	8,60%
Pernambuco	26,50%	41,30%	11,00%	31,60%	30,80%	9,80%
Piauí	29,20%	36,60%	10,20%	33,60%	48,20%	16,00%
Rio Grande do Norte	36,80%	47,30%	17,70%	35,10%	23,00%	6,90%
Sergipe	27,00%	53,50%	14,20%	37,60%	32,00%	11,90%

Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Na região do Semiárido do Nordeste, os dados revelam uma média de eficiência técnica (ET) de 33,20%. Isso aponta que, em média, os estados dessa região estão utilizando cerca de um terço do potencial máximo de produção, considerando os recursos empregados. Alagoas, por exemplo, apresenta uma eficiência técnica de 31,00%, sugerindo que sua produção está aproveitando apenas cerca de um terço do potencial máximo. A razão de metatecnologia (MRT) desse estado é de 31,90%, indicando espaço para melhorias na adoção de tecnologias e recursos. A eficiência técnica em relação à metafronteira (ET*) é 9,80%, indicando que a produção atual está operando a apenas cerca de 10% da máxima eficiência na região. Outros

estados como Piauí (ET de 29,20%) e Pernambuco (ET de 26,50%) também mostram espaço para melhorias na utilização de recursos e adoção de tecnologias.

Na região não-Semiárido, a média de eficiência técnica (ET) é ligeiramente mais alta, alcançando 40,15%. Quando ajustadas a ET pela metafronteira (ET*), a média cai para 15,41%, indicando uma oportunidade de melhoria na otimização da produção nessa região (vide Tabela 5). Comparando valores entre estados na mesma região e em diferentes regiões, é evidente que as diferenças na eficiência técnica estão relacionadas a fatores regionais, como acesso a recursos naturais, tecnologias, infraestrutura e políticas de desenvolvimento agrícola. Maranhão (ET* de 22,9%), Piauí (ET* de 16,0%) e Bahia (ET* de 12,6%) destacam-se como os estados mais produtivamente eficientes no cerrado nordestino. Em suma, a análise por estado sugere variações consideráveis nos níveis de eficiência técnica e adoção de tecnologia, influenciados por contextos regionais específicos e investimentos em desenvolvimento.

Em uma análise mais detalhada por Estado, o Rio Grande do Norte apresenta uma eficiência técnica de 35,10%, utilizando cerca de um terço do potencial máximo de produção. A Paraíba demonstra uma eficiência técnica de 25,20%, indicando uma utilização relativamente baixa dos recursos. Alagoas, por outro lado, registra uma eficiência técnica de 36,00%, apontando um uso mais eficiente dos recursos. O Ceará apresenta uma eficiência técnica de 35,10%, indicando um uso razoável dos recursos. Pernambuco demonstra uma eficiência técnica de 31,60%, refletindo um uso moderado dos recursos disponíveis. Sergipe exibe uma eficiência técnica de 37,60%, indicando um uso relativamente bom dos recursos. O estado da Bahia revela uma eficiência técnica de 41,60%, indicando um uso mais eficiente dos recursos em comparação com estados anteriores. Piauí, por sua vez, apresenta uma eficiência técnica de 33,60%, com possibilidades de melhorias na adoção de tecnologias. Por fim, Maranhão destaca-se com uma eficiência técnica de 46,50%, sendo o estado mais eficiente (vide Tabela 6), utilizando uma proporção maior dos recursos disponíveis. Em resumo, as diferenças entre os estados podem ser atribuídas a diversas variáveis, como investimento em tecnologia, infraestrutura, educação e políticas de desenvolvimento regional.

Diferente dos resultados apresentados em Silva et al. (2019), percebe-se que a diferença entre as regiões está menor e mais heterogênea. Este contraste sugere que a presença do MATOPIBA, não capitado ainda, no referido estudo, pode estar associada a um cenário de desenvolvimento agrícola mais dinâmico e modernizado em alguns municípios e em outros não, perpetuando uma heterogeneidade estrutural da agropecuária nordestina. Ainda assim, o nordeste semiárido é menos eficiente, onde os desafios climáticos e ambientais podem desempenhar um papel significativo na produtividade agrícola (vide Tabela 5). A presença do

MATOPIBA destaca a importância do contexto regional na determinação da eficiência produtiva e das características agrícolas de cada área, como aponta Buanain e Garcia (2015) e Bolfe *et al* (2016).

Entretanto, como bem aponta Buanain et al (2017), por estabelecer-se por uma área heterogênea em características edafoclimáticas, fazendo com que o potencial agropecuário da região varie consideravelmente, a concentração espacial de atividades relacionadas ao novo padrão produtivo é notável, levantando a questão se essas atividades terão impacto suficiente em todo o Nordeste. A introdução de tecnologias de fronteira no MATOPIBA influenciou positivamente o desenvolvimento agropecuário, promovendo investimentos em maquinaria, sistemas de irrigação, uso de sementes de alta qualidade e uma gestão eficaz dos recursos disponíveis. Além disso, a região tem atraído investimentos financeiros e expertise, contribuindo para a capacitação da mão de obra local. Percebe-se, então, como exposto na tabela 6, que a presença de alguns municípios do MATOPIBA introduz processos produtivos diferenciados, o que promove uma maior heterogeneidade dentro de cada uma das regiões.

No entanto, é crucial ressaltar que essa dinâmica não é uniforme e que muitos municípios do Nordeste ainda enfrentam desafios persistentes devido às suas condições climáticas adversas e à falta de recursos. Assim, a expansão da fronteira agrícola no MATOPIBA não apenas ilustra a heterogeneidade do desenvolvimento agrícola, mas também enfatiza a necessidade de estratégias adaptadas que levem em conta as especificidades de cada região. Isso visa promover um desenvolvimento agrícola mais equitativo e sustentável em todo o Nordeste brasileiro.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo se dedicou a aprofundar a análise das discrepâncias tecnológicas na agropecuária entre municípios situados no semiárido e os não semiáridos do Nordeste brasileiro. Utilizando a metodologia baseada no modelo de metafronteira proposto por Battese et al. (2004) e O'Donnell et al. (2008), foi possível realizar uma avaliação abrangente das eficiências técnicas (ET e ET*) e da razão de metafronteira (MRT) em diferentes contextos regionais. Os dados do Censo Agropecuário foram essenciais para a condução dessa análise.

Os resultados obtidos confirmaram a hipótese central do estudo, destacando que o Semiárido e o não-Semiárido do Nordeste não compartilham a mesma tecnologia de produção. As fronteiras de produção estimadas enfatizaram a importância das políticas públicas voltadas para a agropecuária no semiárido nordestino, que se encontram distantes da fronteira tecnológica observada para o restante da região. Tais políticas desempenham um papel crucial na redução das disparidades tecnológicas e produtivas.

Os achados deste estudo oferecem diretrizes para os formuladores de políticas públicas. Investir em capacitação da mão de obra, direcionar crédito subsidiado para modernização e aumento do estoque de capital, além de facilitar o acesso a insumos modernos, emerge como estratégias promissoras em ambos os contextos regionais. Lidar com desafios logísticos na região central do Brasil pode, adicionalmente, aprimorar a competitividade da agropecuária nessa área.

Em resumo, a análise das estatísticas de eficiência técnica e adoção de tecnologia nas diferentes regiões fornece *insights* relevantes para o setor agropecuário do Nordeste. As discrepâncias identificadas refletem diretamente os níveis de eficiência e a adoção de tecnologia em cada contexto. Para promover um desenvolvimento agrícola sustentável na região, é necessário adotar uma abordagem integrada que leve em consideração tanto a gestão sustentável dos recursos quanto a aplicação estratégica de tecnologias.

No entanto, vale ressaltar que o cenário não é uniforme. A presença do MATOPIBA introduz dinâmicas diferenciadas, com um desenvolvimento agrícola mais dinâmico e modernizado em alguns municípios, enquanto outros enfrentam desafios persistentes. Isso sublinha a complexidade das realidades regionais e a importância de estratégias personalizadas para promover um desenvolvimento agrícola equitativo e sustentável em toda a região do Nordeste.

Uma área a ser explorada em futuras investigações consistiria em realizar uma análise da diferenciação tecnológica, dividindo o Nordeste em três regiões distintas: Nordeste

Semiárido, Nordeste não-Semiárido e Cerrado Nordestino. Espera-se que essa nova categorização contribua para a redução da heterogeneidade observada entre os grupos, que poderá proporcionar uma percepção abrangente e mais refinada do desenvolvimento tecnológico da região.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, M.; BRAVO-URETA, B.E (1997). Technical efficiency measures for Dairy farms using panel data: a comparison of alternative model specifications. **Journal of Productivity Analysis**, v.7, p. 399-415, 1997.
- AIGNER, D. J.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. Formulation and estimation of stochastic frontier production functions models. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 6, p. 21-37, 1977.
- ALCANTARA, I. R. D., BACHA, C. J. C. A modernização desigual da agropecuária brasileira de 2006 a 2017. **Revista de Economia Contemporânea**, 27. 2023.
- ARAÚJO, T. B.; SANTOS, V. Desigualdades regionais e nordeste em formação econômica do Brasil. In: ARAÚJO, T.; VIANNA, S.; MACAMBIRA, J. (Org.). **50 anos de formação econômica do Brasil: Ensaio sobre a obra clássica de Celso Furtado**. Rio de Janeiro: Ipea, 2009.
- BARBIERI, A. F. *et al.* Climate change and population migration in Brazil's Northeast: scenarios for 2025-2050. **Population and Environment**, São Paulo, v. 31, n. 5, p. 344-370, 2010.
- BATTESE, G. E., & COELLI, T. J. (1992). Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India. **Journal of Productivity Analysis**, 3, 153-169.
- BATTESE, G. E. e COELLI, T. J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. **Empirical Economics**, v. 20, issue 2, p. 325-332, 1994.
- BATTESE, G. E.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J. A metafrontier production function for estimation of technical efficiencies and technology gaps for firms operating under different technologies. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, n. 21, p. 91-103, 2004
- BOLFE, É. L., VICTÓRIA, D. D. C., CONTINI, E., BAYMA-SILVA, G., SPINELLI-ARAÚJO, L., & GOMES, D. Matopiba em crescimento agrícola Aspectos territoriais e socioeconômicos. **Revista de política agrícola**, 25(4), 38-62.2016.
- BRAGAGNOLO, C. **Produtividade, crescimento e ciclos econômicos na agricultura brasileira**. 2012. 168 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, 2012.
- BRASIL/MDIC/COMEXSTAT. **Estatísticas do Comercio Exterior**. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 01 jul. 2023.
- BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. Crescimento da agricultura no Cerrado nordestino: fatores condicionantes, limites e resultados socioeconômicos. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília: IPEA, 2016. Cap.4, p.109-142.

BUAINAIN, A. M., GARCIA, J. R., VIEIRA FILHO, J. E. R. (2017). **Dinâmica da economia e da agropecuária no Matopiba**, Rio de Janeiro: IPEA, n.2283, 2017.

COELLI, T. J.; RAO, D. S. P.; BATTESE, G. E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. Kluwer Academic Publishers, 2005.

COSTA, R. A.; VIZCAINO, C. A. C.; COSTA, E.M. Participação em cooperativas e eficiência técnica entre agricultores familiares no Brasil. In: VIEIRA FILHO, J.E.R; GASQUES, J.G. **Uma jornada pelos contrastes do Brasil: 100 anos de censo agropecuário**, 2020.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. MATOPIBA. Brasília-DF, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-matopiba/sobre-o-tema>. Acesso em: 16 abr.2023.

FAOSTAT. 2022. The Food and Agriculture Organization of the United Nations, Food and Agriculture Data. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 01 jul. 2023.

FERRARI, M. C.; BRAGA, M. J. A eficiência técnica dos produtores leiteiros no Uruguai. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, p. 221 -319, 2020.

FERREIRA, M. D. P., VIEIRA FILHO, J. E. R. (2020). Eficiência técnica na agropecuária: capacidade de armazenagem e densidade de rodovias. In: VIEIRA FILHO, J.E.R; GASQUES, J.G. **Uma jornada pelos contrastes do Brasil: 100 anos de censo agropecuário**, 2020.

FORNAZIER, A.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Heterogeneidade estrutural no setor agropecuário brasileiro**: evidências a partir do censo agropecuário de 2006. Brasília: Ipea, p. 7-30, 2012. (Texto para Discussão n. 1708).

GASQUES, J. G. Produtividade da agricultura brasileira: a hipótese da desaceleração. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília: IPEA, 2016. Cap.5. p. 143-164.

GASQUES, J. G. Produtividade da agricultura brasileira: a hipótese da desaceleração. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. **Agricultura Brasileira**. Brasília: IPEA. Cap.1. p. 21-36. 2023

HAYAMI, Y. Sources of agricultural productivity gap among selected countries, **American Journal of Agricultural Economics**, Pittsburgh, v. 51, p. 564-575, 1969.

HAYAMI, Y.; RUTTAN, V. W. Agricultural productivity differences among countries. **American Economic Review**, Malden MA, v. 60, p. 895-911, 1970.

KODDE, D. A.; PALM, F. C. Wald criteria for jointly testing equality and inequality restrictions. **Econometric Notes and Comments**, Washington, v. 54, n. 5, p. 1243-1248, 1986.

LIMA, E. C. **MATOPIBA: desenvolvimento rural em uma nova fronteira agrícola**. 151 f. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2020.427> Acesso em: 26 ago.2022.

LIU, C.; LAPORTE, A.; FERGUSON, B. S. The quantile regression approach to efficiency measurement: insights from Monte Carlo simulations. **Health Economics**, NewYork, v. 17, n. 9, p. 1073-1087, Sept. 2008.

MAGALHÃES, M. R. V. **Análise da eficiência das agências públicas de emprego do Brasil**. Monografia (Graduação em Economia). Universidade Federal do Ceará (UFC), Ceará, 2013.

MARTINS, M. M. **Análise da eficiência técnica da pecuária de corte para regiões brasileiras selecionadas: uma análise de fronteira estocástica**. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

MEEUSEN, W.; VAN DEN BROECJ, J., 1977. Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. **International Economic Review**, v. 18, issue 2, p. 435-444, 1977.

NAVARRO, Z. O Mundo Rural no Novo Século (Um Ensaio de Interpretação). In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**, Brasília: IPEA, 2016. Cap.3, p.89-108.

O'DONNELL C. J.; RAO, D. S. P.; BATTESE, G. E. Metafrontier frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios. **Empirical Economics**, Pittsburgh, n. 34, p. 231-255, 2008.

RIBEIRO, I., COSTA, E. M., PINTO, A. P., DIAS, T. K. M., SOUZA, H. G. D. Função de produção e eficiência técnica da pecuária do Nordeste. **Revista Política Agrícola**, 30: 30-44, 2021.

REYNA, E. F.; BRAGA, M. J.; MORAIS, G. A. de S. Impactos do uso de agrotóxicos sobre a eficiência técnica na agricultura brasileira. In: VIEIRA FILHO, J.E.R; GASQUES, J.G. **Uma jornada pelos contrastes do Brasil: Cem anos do Censo Agropecuário**. Brasília: IPEA/IBGE/MAPA, p. 172-187, 2020.

SCHIMIDT, P.; SICKLES, R.C. Production Frontiers and Panel Data. **Journal of Business & Economic Statistics**, v. 2, issue 4, p. 367-374, 1984.

SILVA F. P. D., ARAUJO, J. A., COSTA, E. M., & VIEIRA, 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, 379-395.

SOUZA JUNIOR, J. P. **Análise da eficiência da produção de camarão marinho em cativoiro no estado do Ceará**. 2003, 142f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Ceará, 2003.

TANNURI-PIANTO, M. E.; SOUSA, M. C. S.; ARCOVERDE, F. D. Fronteiras de eficiência estocástica para as empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil: uma análise de dados de painel. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 221-247, 2009.

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

VIEIRA FILHO, J. E. R. Heterogeneidad estructural de la agricultura familiar en el Brasil. **Revista de la CEPAL (Impresa)**, Santiago, v. 111, p. 103-121, 2013.

VIEIRA FILHO, J. E. R. A fronteira agropecuária brasileira: redistribuição produtiva, efeito poupa-terra e desafios estruturais logísticos. *In*: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília: IPEA. Cap.3, p. 89-108. 2016.