



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA RURAL

FELIPE PINTO DA SILVA

EFICIÊNCIA TÉCNICA E HETEROGENEIDADE TECNOLÓGICA NA
AGROPECUÁRIA BRASILEIRA

FORTALEZA
2017

FELIPE PINTO DA SILVA

**EFICIÊNCIA TÉCNICA E HETEROGENEIDADE TECNOLÓGICA NA
AGROPECUÁRIA BRASILEIRA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Economia Rural. Área de Concentração: Economia Aplicada

Orientador: Prof. Dr. Jair Andrade de Araújo.

**FORTALEZA
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos
pelo(a) autor(a)

D11e Silva, Felipe Pinto da.
EFICIÊNCIA TÉCNICA E HETEROGENEIDADE TECNOLÓGICA NA
AGROPECUÁRIA
BRASILEIRA / Felipe Pinto da Silva. – 2017.
89 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2016.
Orientação: Prof. Dr. Jair Andrade de Araújo.

1. Agricultura. 2. Tecnologia. 3. Semiárido nordestino. 4. Meta-fronteira de
produção. 5. Fronteira de produção estocástica. I. Título.

CDD 338.1

FELIPE PINTO DA SILVA

EFICIÊNCIA TÉCNICA E HETEROGENEIDADE TECNOLÓGICA NA
AGROPECUÁRIA BRASILEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Economia Rural. Área de Concentração: Economia Aplicada

Aprovada em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jair Andrade de Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Edward Martins Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. José Eustáquio Ribeiro Vieira Filho
Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)

Às Marias da minha vida. Saudades imensas.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Eunice e Sebastião, e meu irmão, Rodrigo, pelo amor, paciência e pelo sorrisos e braços sempre abertos a acolher minha alma eternamente inquieta.

Ao meu orientador, Jair, por todo o apoio, paciência, parceria e orientação durante toda minha trajetória no programa de pós-graduação em economia rural (MAER). Um exemplo de pesquisador que pretendo levar para a vida.

À Universidade Federal do Ceará pelo apoio institucional e por proporcionar todas as condições objetivas para meu desenvolvimento pessoal e profissional. Acompanhando-me desde a maternidade-escola até meus estudos de pós-graduação; ao CNPq, pelo apoio financeiro imprescindível para a conclusão desta dissertação de mestrado.

Ao professor Edward, pelas valiosas contribuições teóricas para minha formação acadêmica. Ao pesquisador José Eustáquio, por acreditar em meu potencial, abrindo meus olhos para um mar de possibilidades.

Aos professores do MAER, que tanto contribuíram com a minha formação.

Aos colegas do MAER, principalmente Gerrio “Pakera”, Roberto Bruno, Patrícia Duarte, Polyana Matias, Jonathan, Alana, Camila Brígido, Moisés Dias, Wesley Leitão e Luciana Rodrigues pelo apoio, conversas e companheirismo durante toda minha trajetória no MAER.

Aos meus queridos amigos, Daniel de Castro e Tiago Araújo, por nossa parceria que perpassa o tempo e a distância, por vezes continentais.

Um agradecimento especial a Camilla Dias, por ter segurado a minha mão em um momento crítico para a finalização desta dissertação.

Muito obrigado a todos.

RESUMO

Esta dissertação busca analisar as diferenças tecnológicas da produção agropecuária entre os municípios situados nas grandes regiões brasileiras, com enfoque especial para o Nordeste brasileiro. Como aporte metodológico, utilizou-se o modelo de meta-fronteira tecnológica proposta por Battese, Rao e O'Donnell (2004) e O'Donnell, Rao e Battese (2008), para responder até que ponto essas diferenças regionais influenciam na eficiência da produção e qual os seus impactos nos municípios. A análise foi dividida em dois modelos. No Modelo 1 propôs-se analisar e identificar as diferenças tecnológicas da produção agropecuária entre os municípios situados nas grandes regiões brasileiras, exceto pela região Norte, por questões metodológicas. Já o Modelo 2 voltou-se à diferenciação tecnológica da produção agropecuária existente no semiárido e no não-semiárido do Nordeste. A hipótese assumida nesta pesquisa é a existência de um processo de *heterogeneização tecnológica do meio rural brasileiro* e que esta diferenciação impacta no nível de eficiência técnica da produção agropecuária nas diferentes regiões do Brasil e mesmo dentro de uma mesma região. Detectou-se que esta hipótese se mostrou verdadeira para os dois Modelos. O Modelo 1 indicou que a tecnologia de produção agropecuária praticadas nos municípios situados nas regiões Sul e Centro-Oeste são mais avançadas. Já em relação ao Modelo 2, os resultados indicaram que, quando comparadas as duas regiões, o não-semiárido possui a maior eficiência técnica média em referência à meta-fronteira.

Palavras-chave: Agricultura, Tecnologia, Semiárido nordestino, Meta-fronteira de produção, Fronteira de produção estocástica.

ABSTRACT

This thesis analyzes the technological differences in agricultural production between municipalities located in the great Brazilian regions, with a special attention on the Brazilian Northeast. As methodological support was utilized the meta-frontier model, proposed by Battese, Rao and O'Donnell (2004) and O'Donnell, Rao and Battese (2008) to answer how these regional differences influence the efficiency of production and like this spatial heterogeneity impacts on municipalities' technical efficiency (TE). The analysis was divided into two models. The first one proposes to analyze and identify the technological differences in agricultural production between the municipalities located in the Brazilian regions, except in the North region, for methodological reasons. On the other hand, the second one searches for the technological differentiation of agricultural production in the semi-arid and non-semiarid regions of the Northeast. For present thesis, the hypothesis is the existence of a process of technological heterogenization of the Brazilian rural production and that this differentiation affects the level of TE of agricultural production between different regions of Brazil and within the same region as well. It was found that this hypothesis proved to be true for both models. The Model 1 revealed that the production technology practiced in the municipalities located in the South and Center-West regions are more advanced. Regarding the Model 2 indicated that the non-semiarid has the highest average TE with reference to the meta-frontier, when compared to the semiarid region.

Keywords: Agriculture, Technology, Semiarid, Meta-frontier model, Stochastic production frontier.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 - Proprietários por níveis de escolaridade e por regiões (Em %)	20
Gráfico 2 - Eficiência técnica e meta-tecnologias	39
Gráfico 3 - Ilustração das fronteiras estimadas	58
Gráfico 4 - Evolução da Eficiência Técnica (ET %) estimada para as regiões	69
Gráfico 5 - Ilustração das fronteiras estimadas para o semiárido e não-semiárido	70
Gráfico 6 - Evolução da ET, MRT, ET* do Semiárido Brasileiro	72
Mapa 1 - Localização do semiárido e do Cerrado na cartografia da Sudene	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Maiores exportadores e importadores de alimentos e mercadorias de origem agropecuária, 1990 e 2013.	17
Tabela 2 – Fatores que Explicam o Crescimento da Produção Agrícola	18
Tabela 3 – Distribuição do rendimento, escolaridade e idade das pessoas ocupadas na agricultura e com rendimento de todos os trabalhos positivo, conforme a região, no Brasil, em 2009.	21
Tabela 4 – Média da renda domiciliar per capita real e índice de Gini para o Brasil, Nordeste e semiárido nordestino (2000 e 2010)	25
Tabela 5 – Municípios abrangidos pela cartografia da Sudene (2005).	28
Tabela 6 – Estatísticas descritiva.....	53
Tabela 7 – Prova de razão verossimilhança dos parâmetros das fronteiras de produção	55
Tabela 8 – Fronteiras estocásticas estimadas – Modelo 1	56
Tabela 9 – Estatística descritiva e distribuição de frequência das EF (%) e MTR (%) estimadas.....	60
Tabela 10 – Amostras sub-regionais das ETs (%) e MRT (%) médias	62
Tabela 11 – Estatísticas descritiva.....	64
Tabela 12 – Prova de razão verossimilhança dos parâmetros das fronteiras de produção	65
Tabela 13 – Fronteiras estocásticas estimadas para o Modelo 2	67
Tabela 14 – Evolução da Eficiência Técnica estimada para as regiões Semiárida e Não - Semiárida.....	69
Tabela 15 – Estatística descritiva e distribuição de frequência das EF (%) e MTR (%) estimadas	71
Tabela 16 – Amostras sub-regionais das ET (%) e MRT (%) médias	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Transformações recentes da agricultura do Brasil: o processo de heterogeneização tecnológica do meio rural brasileiro.	15
2.2 Caracterização do semiárido do nordeste brasileiro	24
<i>2.2.1 O semiárido brasileiro como delimitação empírica</i>	24
<i>2.2.2 Principais tendências verificadas</i>	30
2.3 Revisão de literatura sobre meta-fronteira de produção	32
3 METODOLOGIA	36
3.1 Função de produção e eficiência técnica	36
3.2 Meta-fronteira de produção estocástica	42
3.3 Base de dados	46
3.4 Especificação do modelo empírico	47
3.5 Testes Realizados	49
<i>3.5.1 Teste da forma funcional</i>	49
<i>3.5.2 Efeito da ineficiência técnica na função de produção</i>	50
<i>3.5.3 Distribuição do Termo da Ineficiência</i>	50
<i>3.5.4 Ausência de progresso técnico</i>	50
<i>3.5.5 Existência de duas fronteiras regionais</i>	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1 Modelo 1	52
<i>4.1.1 Estatísticas descritivas</i>	52
<i>4.1.2 Testes de hipóteses</i>	54
<i>4.1.3 Estimação das fronteiras de produção</i>	55
<i>4.1.4 Análise das eficiências técnicas e razão de meta-fronteira</i>	58
4.2 Modelo 2	63
<i>4.2.1 Estatísticas descritivas</i>	63
<i>4.2.2 Testes de hipóteses</i>	64
<i>4.2.3 Estimação das fronteiras de produção</i>	66
<i>4.2.4 Análise das eficiências técnicas e razão de meta-fronteira</i>	70
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
REFERÊNCIAS	78
ANEXOS	85
ANEXO A – Estatísticas Descritivas para o Brasil, ano 1975.	86

ANEXO B – Estatísticas Descritivas para o Brasil, ano 1985.	87
ANEXO C – Estatísticas Descritivas para o Brasil, ano 1995/1996.	88
ANEXO D – Estatísticas Descritivas para o Brasil, ano 2006.	89
ANEXO E – Estatísticas Descritivas para o Semiárido e Não-Semiárido, ano 1975.....	89
ANEXO F – Estatísticas Descritivas para o Semiárido e Não-Semiárido, ano 1985.....	90
ANEXO G – Estatísticas Descritivas para o Semiárido e Não-Semiárido, ano 1995.	90
ANEXO H – Estatísticas Descritivas para o Semiárido e Não-Semiárido, ano 2006.	90

1 INTRODUÇÃO

O Brasil passou por um processo intenso de modernização de seu setor agrícola, a partir da década de 1960. Gasques *et al.* (2012) apresentam evidências do crescimento elevado da produtividade agrícola nacional, com taxas superiores aos principais países produtores de grãos e carnes, tais como Estados Unidos, União Europeia, China, Índia e Argentina. De forma complementar, Fuglie e Wang (2012) constataram que a agricultura brasileira e a chinesa apresentaram, nos últimos vinte anos, o maior e mais rápido crescimento da produtividade total dos fatores (PTF) em âmbito mundial. Além disso, essa tendência se intensificou durante o período de 2000 a 2012. (GASGUES, 2014).

Essa dinâmica faz deste setor um dos mais produtivos do mundo, inserindo-se em modernas cadeias produtivas orientadas ao mercado externo. Assim, observa-se no período de 30 anos que a área plantada de grãos cresceu 42%, ao passo que a produção teve crescimento de 228%, segundo dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. (MDIC, 2014).

Esse processo de modernização, contudo, instaurou-se de maneira heterogênea entre as regiões brasileiras, dado que a pobreza rural e a agricultura de subsistência de baixa produtividade persistem, principalmente no semiárido nordestino. (BARBIERI *et al.*, 2010). A causa dessa heterogeneidade pode estar relacionada tanto à formação histórica, como pelas condições climáticas, geográficas culturais próprias das regiões brasileiras. (FORNAZIER; VIEIRA FILHO, 2012).

Diante dessas particularidades, o setor agrícola, situado nas diferentes regiões do Brasil, depara-se com diferentes bases institucionais e tecnológicas, condições geográficas, climáticas, que podem aprofundar a heterogeneidade produtiva da região. Segundo Souza *et al* (2013), o fator que mais explica os ganhos de produtividade da agricultura brasileira é a tecnologia, e é aí que se ocorre a *homogeneização heterogênea* do setor agrícola brasileiro. (NAVARRO, 2016).

Esse processo de modernização do setor agrícola brasileiro das últimas décadas se deu de maneira desigual. O rápido crescimento na produtividade do setor, intensificado a partir no final da década de 1990, tendeu a aprofundar as desigualdades regionais e produtivas entre as regiões do Brasil. (NAVARRO, 2016; GASGUES, 2016). Nesse processo, emergem as regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil como os polos agropecuários dinâmicos, em contraste com as regiões Norte e Nordeste, que ficaram a margem desse desenvolvimento. Para que haja essa absorção de novas tecnologias, deve haver um entorno produtivo favorável à incorporação de

inovação. (VIEIRA FILHO, 2013). No entanto, regiões como o Norte e Nordeste brasileiro, quando comparado com a região Sul e Centro-Oeste, não possuem a mesma propensão para incorporação de novas tecnologias e práticas.

O Nordeste merece atenção nessa trajetória por não ter acompanhado a dinâmica observada no país, tornando-se a região brasileira com menor dinamismo no setor agrícola. (VICENTE, 2004; VIEIRA FILHO, 2013). No Brasil, é fácil perceber a convivência dual do moderno *versus* o atrasado. Enquanto nas regiões Centro-Oeste e Sul encontra-se um setor agrícola moderno, com alto teor tecnológico e elevada produtividade, no eixo Norte e Nordeste, há um contraste de uma agricultura em que prevalecem produtores que utilizam técnicas atrasadas e com baixa produtividade. A situação da pobreza rural se agrava no Nordeste brasileiro. (VIEIRA FILHO, 2013).

No Brasil, o Nordeste é uma das áreas mais vulneráveis às variabilidades climáticas, que se associam às chuvas irregulares, aos *déficits* hídricos e à baixa resiliência da produção agrícola das populações que se dedicam à agricultura, principalmente nos assentamentos da região semiárida. (SIMÕES *et al.*, 2010). Estas características fazem da agropecuária um empreendimento cercado de riscos, especialmente no semiárido. Ao contrário da dinâmica da moderna produção, o setor agropecuário constituído no semiárido nordestino tem acesso restrito aos mercados, o que dificulta o desenvolvimento regional.

Vale observar que, mesmo dentro do Nordeste, o setor agrícola não se comporta de maneira homogênea. Agricultores situados no semiárido, por hipótese, deparam-se com condições geográficas, culturais, históricas e institucionais distintas, que devem ser consideradas nas análises de produtividade e eficiência técnica. Estudos com essa natureza são de grande valia para avaliação de políticas públicas de desenvolvimento regional. É necessário promover as instituições de forma que não haja o aprofundamento da discrepância produtiva entre a região dinâmica e atrasada, como bem demonstram os estudos de Hayami (1969) e Hayami e Ruttan (1970; 1971).

Diante dessas condicionalidades, o fato é que os agricultores situados nas diferentes regiões do país se deparam com diferentes oportunidades de produção. Nota-se que o efeito acumulado dos gastos em pesquisas, a descoberta de novas tecnologias e a maior participação de agentes privados no financiamento e como difusor de novas tecnologias no setor agropecuário, dá-se principalmente na fronteira agrícola, que vem se expandindo nas últimas décadas pela incorporação do bioma do Cerrado na produção e pela aproximação dos limites da região amazônica. (VIEIRA FILHO, 2016).

Assim, pode-se levantar alguns problemas: *i*) essas diferenças influenciam na eficiência da produção?; e *ii*) se positiva a resposta ao primeiro questionamento, qual a magnitude dos impactos produtivos em pertencer ou não à uma dada região? Espera-se que esta problemática seja respondida ao longo do estudo. Dada estas questões, a hipótese desta dissertação é a existência de um processo de *heterogeneização tecnológica do meio rural brasileiro* entre as diversas regiões do Brasil e que esta diferenciação impacta no nível de eficiência técnica da produção agropecuária dos municípios nas diferentes regiões do Brasil e mesmo dentro de uma mesma região. Daí a necessidade de especial atenção para do Nordeste, haja vista que o setor agropecuário da região se comporta de maneira heterogênea, em parte relacionada pela extensa área semiárida existente na região. (SIMÕES *et al.*, 2010).

Diante dessas questões, o problema proposto para o presente estudo é mensurar o impacto da heterogeneidade tecnológica existente na agricultura brasileira na eficiência da produção agropecuária do Brasil. Levando em conta a heterogeneidade existente no próprio Nordeste serão desenvolvidos dois modelos. O primeiro terá o intuito de identificar as diferenças tecnológicas da produção agropecuária entre os municípios situados nas grandes regiões brasileiras, exceto a região Norte¹; o segundo calculará a diferença tecnológica dos municípios localizados na região semiárida e não semiárida do Nordeste brasileiro. Particularmente neste modelo, a análise se desenvolverá a partir da cartografia delimitada pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene).

A literatura nacional que trabalha com eficiência produtiva na agropecuária por meio de fronteira estocástica de produção apresenta uma lacuna no que tange a diferenciação tecnológica existente entre as regiões brasileiras e seus impactos na eficiência produtiva da agropecuária. Segundo Orea e Kumbhakar (2004), estimativas de eficiência técnicas em modelos de fronteira estocástica normalmente assumem que a tecnologia de produção subjacente é a mesma para todas as empresas. Assim, diferenças tecnológicas não observadas podem ser inapropriadamente identificadas como ineficiência, caso a heterogeneidade tecnológica existente entre as firmas (municípios) não for levada em consideração.

Para tanto, propõe-se a utilização do método utilizado por O'Donnell, Rao e Battese (2008) para estimação da meta-fronteira de produção. Este quadro teórico é bastante utilizado para a comparação de níveis de eficiência e tecnologias de produção entre regiões distintas. Será observado em que proporção as diferenças regionais - no que tange à qualidade do solo, diferença climática, infraestrutura econômica, dentre outras variáveis - impactam na

¹ Essa região foi excluída da análise por questões metodológicas que serão apresentadas no decorrer da presente dissertação.

eficiência das firmas situadas nos diferentes grupos regionais. Como objetivo específico, procura-se mensurar e analisar as eficiências técnicas (ET e ET*) e a razão de meta-fronteira (MRT) dos municípios inseridos nos diferentes grupos regionais, propostos para este estudo.

A principal contribuição deste estudo consiste em uma melhor caracterização dos municípios situados nas diversas regiões brasileiras, atentando-se para a questão produtiva e tecnológica da agropecuária, considerando na análise diferenças regionais que não devem ser ignoradas. Há na literatura especializada, uma extensa produção científica a respeito da diferenciação tecnológicas existentes na agropecuária brasileira, no entanto, uma escassez de referências que tratam da mensuração dessa heterogeneidade tecnológica e é aqui que reside a importância do presente estudo. São importantes estudos técnicos que possam identificar os reais problemas das regiões menos produtivas e onde a pobreza rural persiste para a formulação de políticas públicas de desenvolvimento regional, especialmente no fomento do semiárido.

A partir dessas questões, serão apresentadas no capítulo seguinte as transformações recentes do setor agropecuário do Brasil, buscando indícios da *heterogeneização tecnológica do meio rural brasileiro*. Serão expostas inicialmente as transformações recentes que aprofundaram a heterogeneidade tecnológica existente na agropecuária brasileira. Em seguida debruçar-se-á, mais atentamente, sobre a heterogeneidade profunda que existe na agropecuária praticada no semiárido e no não-semiárido do Nordeste e que por vezes é negligenciada na literatura nacional especializada. Por fim, será realizada uma breve revisão de literatura sobre as produções internacionais e nacionais em torno do conceito de Meta-fronteira.

No capítulo seguinte, que trata dos pressupostos teóricos e metodológicos, será descrito o modelo de fronteira estocástica, seus pressupostos teóricos, procedimentos metodológicos utilizados, bem como o modelo de fronteira de produção empregado, além da modelagem aplicada para a construção da meta-fronteira de produção. Serão apresentados os modelos especificados, desenvolvidos para este estudo, com detalhes de todos os testes de hipóteses realizados para a especificação das fronteiras estocásticas de produção.

Posteriormente será apresentada a análise dos resultados encontrados. Este capítulo será dividido em duas seções, referentes a cada um dos modelos apresentados, de modo a deixar clara a exposição da análise dos resultados, sua discussão e implicações. Por fim, as considerações finais buscarão realizar um apanhado geral da investigação, bem como expor os limites e as possibilidades encontradas na finalização da pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo tem por objetivo descrever as transformações recentes do setor agropecuário do Brasil, buscando indícios da *heterogeneização tecnológica do meio rural brasileiro*. Para tanto dividiremos esse capítulo em três seções: a primeira se dedicará as transformações recentes que aprofunda a heterogeneidade existente na agropecuária no Brasil; a segunda seção debruçar-se-á, mais atentamente, sobre a heterogeneidade profunda que existe na agropecuária praticada no semiárido e no não-semiárido do Nordeste e que por vezes é negligenciada na literatura nacional; na seção 3 será realizada uma breve revisão de literatura sobre as produções internacionais e nacionais em torno do conceito de Meta-fronteira.

2.1 Transformações recentes da agricultura do Brasil: o processo de heterogeneização tecnológica do meio rural brasileiro.

As transformações ocorridas no setor agropecuário brasileiro proporcionaram um momento ímpar para o setor. Em menos de meio século, o país deixou de ser importador de feijão, arroz e carne de frango e exportador de café na década de 1960 e tornou-se um dos maiores exportadores de alimentos em âmbito mundial, a partir da década de 1990, uma tendência que vem se consolidando. (VIEIRA FILHO, 2016; NAVARRO, 2016). Entre os anos de 1990-1995, a média anual de exportação do setor agropecuário foi de US\$ 15,9 bilhões, já para o período 2010-2014, a média passou para US\$ 96,7 bilhões, um crescimento de cerca de 600%, em curto período. (NAVARRO, 2016).

Essas mudanças fazem deste setor um dos mais produtivos do mundo, inserindo-o em modernas cadeias produtivas orientadas ao mercado externo. Uma explicação desse ciclo virtuoso do setor agropecuário do Brasil está nos constantes ganhos de produtividade do setor neste período. Gasques *et al.* (2012;2016) apresentam evidências do crescimento elevado da produtividade total dos fatores (PTF) a taxas superiores aos principais países produtores de grãos e carnes, tais como Estados Unidos, União Europeia, China, Índia e Argentina, além de apresentar uma “quebra estrutural” do seu padrão de crescimento a um patamar mais elevado de crescimento a partir do ano de 1997.

Parte deste aumento da produtividade decorreu do uso intensivo de conhecimento pelo setor. No primeiro momento este fato se deveu a inovações tecnológicas induzidas institucionalmente (VIEIRA FILHO, 2016), capitaneadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), criada em 1973. Galvão (2014) aponta que um novo padrão vem

emergindo a partir da década de 1990, onde a iniciativa privada ascende como grande agente de inovação tecnológica na agropecuária. Com intenso esforço de implementação de inovações na administração dos recursos naturais, de emprego de engenharia genética nas plantas e na implementação de novas técnicas de gestão.

Enquanto diversos estudos apontam que a agricultura dos principais países produtores sofre uma desaceleração do crescimento da produtividade, como na agricultura norte-americana, como indicam Alston *et al.* (2009) e James *et al.* (2009), ou na agricultura indiana, como demonstra Bosworth e Collins (2008), o Brasil passa a margem desse processo.

Fuglie (2008) não encontra evidência de uma desaceleração na produtividade global no setor agrícola, pelo contrário, a taxa de crescimento da PTF acelerou nos últimos tempos. Essa tendência relaciona-se com a rápido ganho de produtividade em vários países em desenvolvimento, especialmente Brasil e China, e mais recentemente pela recuperação do crescimento agrícola dos países do antigo bloco e soviético.

Ball, Schimmelpfennig e Wang (2013) ratificam a ideia de tendência de desaceleração produtiva da agricultura norte-americana, o que indica um padrão de desenvolvimento da agropecuária brasileira ainda mais pungente. Segundo este estudo, com um horizonte histórico de 1948 a 2009, foram observadas duas mudanças de tendência. A primeira, em 1974, em razão do crescimento elevado e inesperado do preço da energia, em consequência da crise do petróleo de 1973. A taxa de crescimento da produtividade média era de 1,71% e pós-1974 caiu para 1,56%. O segundo ponto de mudança tendencial ocorreu em 1985, no qual o lento crescimento da produtividade persistia, embora num nível mais elevado de produtividade. Pode-se inferir que um dos fatores dessa mudança tendencial foi a recuperação da economia norte-americana e uma maior liberalização das políticas do setor, a partir da segunda metade da década de 1980. A tendência apresentada pode explicar a não manutenção do posto de maior exportador líquido de alimentos pelo os EUA.

Navarro (2016) aponta que o desenvolvimento do setor agrícola brasileiro, a partir de meados da década de 1990, deve-se à emergência de um novo padrão agrário e agrícola que vem reconfigurando a organização produtiva do setor em toda sua estrutura. Esta nova dinâmica é evidenciada pelo salto de patamar como o maior exportador líquido de alimentos do mundo, como pode ser atestado pela Tabela 1.

Nesse sentido, Gasques *et al.* (2016) apontam que existiram dois momentos distintos no desenvolvimento da PTF da agropecuária brasileira. A primeira refere-se ao período 1970 - 1996, em que a PTF cresceu a uma taxa de 2,88% ao ano. Já em 1996 percebeu-se uma mudança de tendência, já que no período compreendido entre 1997 e 2013 a taxa de crescimento anual

da PTF pulou para o patamar de 4,20%. Pode-se ter na emergência de um novo padrão agrícola e agrário a explicação desse salto exponencial.

Tabela 1 – Maiores exportadores e importadores de alimentos e mercadorias de origem agropecuária, 1990 e 2013.

Anos	Países Exportadores	Países Importadores
1990	Estados Unidos (19)	Japão (-47)
	Austrália (9)	EU: 27 países (-34)
	Brasil (7)	Coreia do Sul (-7)
	Argentina (7)	Oriente Médio (-6)
2013	Brasil (76)	China (-95)
	Argentina (39)	Oriente Médio (-79)
	Estados Unidos (29)	Japão (-75)
	Tailândia (24)	Coréia do Sul (-21)

Fonte: Mendonça de Barros (2015).

Em parêntesis: balança comercial agrícola (em bilhões de dólares).

Vieira Filho e Fornazier (2016), ao compararem o setor agrícola brasileiro com o estadunidense no período de 1975 a 2010, apontaram uma convergência entre a PTF dos dois países, ou seja, uma diminuição da distância produtiva. No entanto, essa modernização se dá apenas em parte do setor agrícola brasileiro, tendo em vista a elevada heterogeneidade estrutural da agricultura e a forte concentração produtiva entre os agentes produtivos. Desta feita, não se constata esta convergência em toda produção brasileira.

A partir desses estudos, fica claro que o intenso processo de modernização do setor agropecuário do Brasil das últimas décadas tende a aprofundar o padrão agrícola heterogêneo pré-existente, devido à absorção assimétrica de tecnologias observadas pelos agricultores. As causas da heterogeneidade da agricultura brasileira são diversas, relacionam-se a questões históricas, como a concentração fundiária, por exemplo. No entanto, novos padrões tecnológicos, como o efeito poupa-terra, proporcionam melhores níveis de renda aos produtores sem aumentarem a sua concentração de renda (FORNAZIER; VIEIRA FILHO, 2012; VIEIRA FILHO, 2016).

Alves, Souza e Rocha (2013) destacaram que a tecnologia é a principal responsável pela concentração e desigualdade de renda bruta da agropecuária do Brasil e esta não é absorvida de maneira simétrica entre as regiões brasileiras. Nesse estudo, apenas 500 mil agricultores, dos 4,4 milhões existentes (IBGE, 2006), possuem capacidade de inserção ao novo padrão agrícola e agrário emergente, deixando milhares de agricultores à margem desse processo.

Nesse sentido, Souza *et al.* (2013) corroboraram com esse resultado, conforme apresentado na Tabela 2. Nota-se o crescente aumento do conteúdo tecnológico no setor agropecuário para o crescimento da produção no período de 1996/96-2006, em contraste com a diminuição dos demais fatores, principalmente, do fator trabalho.

Tabela 2 – Fatores que explicam o crescimento da produção agrícola.

Variáveis	1995/96 (%)	2006 (%)
Trabalho	31,3	22,3
Terra	18,1	9,6
Tecnologia	50,6	68,1
Total	100,0	100,0

Fonte: Elaboração do autor, conforme Souza *et al.* (2013).

No que tange à PTF do Brasil, Vicente (2004) constata que a PTF da agricultura brasileira cresceu cerca de 62% e todas regiões apresentaram crescimento econômico, com exceção da região Norte. O Centro-Oeste apresentou os maiores ganhos, seguido pela região Sul. Observou-se também que as regiões Norte e Nordeste sofreram uma involução tecnológica no período de 1970-1980, apresentando no período seguinte (1980-1995) uma reversão tendencial. Os resultados foram obtidos ao analisar a eficiência e a PTF da agricultura brasileira no período de 1970 a 1995, utilizando Análise Envoltória de Dados (DEA) e o índice de Malmquist.

Embora a região Centro-Oeste seja aquela que mais obteve ganhos de PTF e mais modernizou sua agricultura estabelecendo um novo paradigma tecnológico na agricultura, como aponta Libera (2016), essa região depara-se com enormes desafios, principalmente no que tange a infraestrutura logística para o escoamento de sua produção. A deficiência em malha rodoviária, ferroviária e o estrangulamento nas regiões portuárias do Sul e do Sudeste impactam no aumento do custo da produção da região, bem como reduz negativamente os ganhos de produtividade e de eficiência, como mostra Vieira Filho (2016).

Helfand, Magalhães e Rada (2015) examinaram o papel do tamanho da propriedade no acelerado crescimento da PTF agrícola do Brasil nos últimos 20 anos, a partir dos dados dos Censos Agropecuários para os anos 1985, 1995-1996 e 2006. Para tanto, os estabelecimentos agrícolas foram divididos em classes, pelo tamanho e pelas suas respectivas eficiências. Os resultados indicaram um acelerado crescimento do PTF dos produtores mais eficientes de 5%, em média, para o período de 1985-2006 e não se espalhou para os demais produtores, com uma

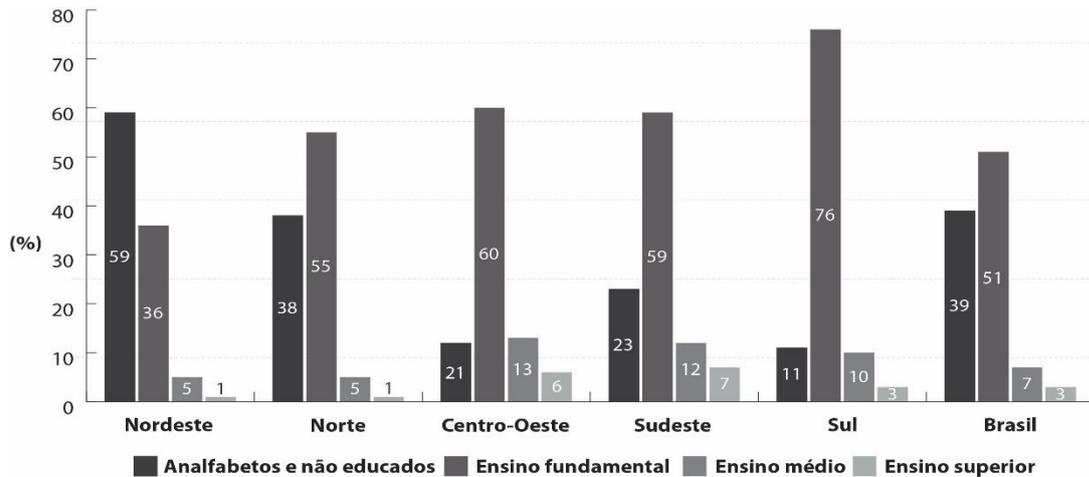
taxa de crescimento anual de 1,74%. Nesse sentido, caso a eficiência técnica fosse mais homogênea entre os produtores brasileiros, os ganhos de produção seriam mais significativos.

A questão do baixo quantitativo de produtores eficientes é comentada por Alves e Souza (2015) e Alves, Souza e Rocha (2013), que indicaram que o processo de modernização teve um caráter concentrador da produção, deixando a margem por volta de 3,9 milhões de estabelecimentos de um total de 4,4 milhões. Segundo dados do Censo Agropecuário de 2006, quinhentos mil estabelecimentos, 11,4% do total, produziram por volta de 87% do valor da produção de 2006. Deste montante, cerca de 27,3 mil geraram 51% de todo o valor da produção no período. Os autores afirmam que o principal fator que explica essa concentração é a absorção assimétrica de tecnologia.

Este desenvolvimento tecnológico e intenso ganho de produtividade percebido no setor agrícola se deu de maneira diferenciada nas regiões brasileiras, como aponta Hoffmann (1992). O autor identifica que a modernização da agricultura brasileira se deu de maneira heterogênea, observando um maior uso de tecnologias modernas nas regiões Sul e Sudeste e em algumas microrregiões do Centro-Oeste.

No cenário atual, a percepção da mudança tecnológica e sua absorção heterogêneas é fundamental para o entendimento de como regiões se modernizam mais do que outras. Nesse sentido, Vieira Filho e Silveira (2011) assinalaram que, apesar da modernização do setor permitir ganhos de produtividade, ela acarreta efeitos sociais e econômicos assimétricos para os produtores tradicionais, em comparação com a moderna agricultura industrial emergente. Para os autores, os agricultores adotam insumos tecnológicos com o objetivo de aumentar sua produtividade e diminuir seus custos relativos de produção, aumentando seu nível de eficiência. Entretanto, alguns produtores podem não ser estimulados a adotá-las. Às vezes, o aumento do custo de incorporar novas tecnologias e conhecimentos não é compensado pelo rendimento esperado, essa relação depende da capacidade de absorção do conhecimento externo e do aprendizado de cada produtor. Muito dessa absorção desigual de tecnológica que se apresenta no setor agropecuário brasileiro pode ser explicada pelos diferentes níveis de escolaridade (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Proprietários por níveis de escolaridade e por regiões (em %).



Fonte: Elaboração do autor, conforme Vieira Filho (2014).

No Brasil, 90% dos proprietários dos estabelecimentos não possuíam o ensino fundamental (analfabetos, não educados e ensino fundamental), com 27% de analfabetos e 12% de não educados. Esses produtores detêm baixa capacidade de absorção tecnológica, segundo Vieira Filho (2014). Em uma comparação regional, o Nordeste tem o pior desempenho na educação, com 59% dos proprietários analfabetos e não educados, apenas 36% com ensino fundamental e 6% com ensino médio e superior. Estes números são impressionantes em comparação com as regiões do centro-sul e mostram uma enorme lacuna entre regiões desenvolvidas e atrasadas.

Outros indicadores de diferenças regionais existentes no Setor Agrícola brasileiro estão expostos na Tabela 3. Observa-se que na região Nordeste encontra-se a maior quantidade de pessoas ocupadas no setor agrícola, representando quase 50% da população ocupada na agricultura no Brasil, enquanto na região Centro-Oeste tem-se a menor proporção. O rendimento médio no Sul é quase o triplo do observado no Nordeste, mesmo que nas duas regiões predomine a agricultura familiar, já a maior renda média encontra-se na região Centro-Oeste. No estado de São Paulo, a população ocupada na agricultura possui a maior média de anos de educação de todo o Brasil, representando quase o dobro encontrado na região Nordeste.

Tabela 3 – Distribuição do rendimento, escolaridade e idade das pessoas ocupadas na agricultura e com rendimento de todos os trabalhos positivo, conforme a região, no Brasil, em 2009.

Região	População (%)	Rendimento Médio	Rendimento Mediano	Índice de Gini²	Escolaridade média	Idade média
Norte	8,7	636,5	450	0,479	3,5	40,6
Nordeste	43,2	344,1	248	0,470	3,0	41,0
MG+ES+RJ	16,5	664,1	465	0,444	4,4	42,3
Estado de São Paulo	8,8	886,5	600	0,423	5,9	40,8
Sul	14,9	1048,4	600	0,515	5,2	43,9
Centro-Oeste	7,9	1137,5	635	0,537	5,1	42,2
Brasil	100,00	637,4	450	0,529	4,0	41,7

Elaboração do autor, conforme Hoffman (2011).

No que tange à distribuição de renda, indicada pelo índice de Gini, o Sul e o Centro-Oeste são as regiões onde a renda está mais concentrada e o Estado de São Paulo é a região com a renda menos concentrada. Percebe-se que o Nordeste e o Norte, embora sendo as regiões mais atrasadas, em termos de produção, elas possuem índice de Gini inferiores às observadas as regiões mais dinâmicas indicando uma menor concentração de renda. Essa constatação não indica que a região é menos pobre que as demais, muito pelo contrário, segundo Vieira Filho (2013) e Hoffmann (2011) pode-se constatar que há uma *homogeneização da pobreza*, indicando uma situação de pobreza generalizada.

De acordo com Hoffmann (2011), a concentração de renda é mais acentuada no setor agrícola, mostrando-se o setor com maior desigualdade de renda no período de 1995-2009. Para o autor, um fator responsável por esta persistência é a distribuição do nível de escolaridade, já que a dispersão da escolaridade da população ocupada no setor agrícola tende a crescer durante toda a década de 1990.

Assim, percebe-se que a formação histórica do Brasil desenvolveu um padrão agrícola dual, no que tange à estrutura agrária e que se aprofunda devido à absorção assimétrica de tecnologias observadas nas últimas décadas. Grandes diferenças são encontradas tanto entre os produtores familiares e não familiares, como nos gastos com fatores de produção e receitas, por exemplo. Entretanto, a heterogeneidade estrutural do setor perpassa essa nomenclatura, pois coexistem agricultores familiares modernos e produtivos, com agricultores familiares pouco

² O coeficiente de Gini mede o grau de desigualdade na distribuição da renda domiciliar *per capita* entre os indivíduos. Seu valor pode variar teoricamente desde 0, quando não há desigualdade (as rendas de todos os indivíduos têm o mesmo valor), até 1, quando a desigualdade é máxima (apenas um indivíduo detém toda a renda da sociedade e a renda de todos os outros indivíduos é nula). Série calculada a partir das respostas à Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Pnad/IBGE).

produtivos e pobres, como aponta Vieira filho (2013) e Fronazier e Vieira Filho (2012). Tem-se o exemplo emblemático do contraste entre a região Sul e a região Nordeste.

Nessa perspectiva, Conterato *et al.* (2014) constaram - ao compararem os agricultores familiares e não familiares residentes no Sul e no Nordeste brasileiro - que há forte diferenciação entre o desenvolvimento da agricultura nas duas regiões, mesmo sendo a agricultura familiar responsável por mais de 50% do valor bruto da produção agrícola em ambas as regiões. Percebeu-se ainda que na Região Sul há um estreito vínculo entre agricultores e os mercados. Constatou-se que há condições próprias em cada região, climáticas geográficas e institucionais, que distanciam a agricultura familiar nas duas regiões.

Vieira Filho (2013) corroborou com essa análise e apontou que a heterogeneidade estrutural, ou seja, a convivência de agricultores modernos e atrasados no mesmo espaço econômico, é mais forte nos agricultores familiares da região Nordeste, além de ser a região com maior incidência de pobreza rural. No caso da região Sul, foi demonstrado o menor indicador dessa desigualdade, haja vista que é a região onde há menor concentração de estabelecimentos em situação de pobreza no Brasil.

Trabalhos como o de Vieira Filho (2013; 2014) e Vieira Filho *et al.* (2013) enfatizam a existência de uma diversidade tecnológica entre diversas classes de produtores e regiões rurais, chamando atenção ao processo que Navarro (2016) chama de *heterogeneização do meio rural*. Já Gasques *et al.* (2010) apontam para esta tendência de diferenciação produtiva. Ao estimar a PTF da agricultura brasileira no período de 1970-2006, os autores apontaram que a produtividade brasileira possui um padrão heterogêneo entre estados da mesma região, como entre regiões.

Essas desigualdades a muito já são percebidas dentro das esferas governamentais e dos formuladores políticas públicas. Desde os anos de 1970, as políticas públicas visam, em teoria, a diminuição dessas disparidades regionais, principalmente quando se confrontavam o Sul e o Nordeste rural. Para tanto existia um forte subsídio estatal do crédito rural. (GASQUES, 2016). Contudo, as intervenções realizadas foram pouco eficazes em diminuir a desigualdade do setor, que persistem e aprofundam-se (NAVARRO, 2016), já que estes gastos foram fundamentais para o agronegócio intensivo em conhecimento, inaugurado na região Centro-Oeste na década de 1970. (VIERA FILHO, 2016). Os gastos públicos, a partir de 1990, sofreram drásticos cortes, indicando o final dessa era, com a transferência para o setor privado funções anteriormente executadas pelo poder público (GASQUES, 2014). Mesmo assim, é nesta experiência em que ancora às atuais políticas públicas para o *mundo rural*.

A viabilização da segunda safra do verão (safrinha), resistência genética às

principais doenças, plantio direto na palha e outras práticas de manejo sustentável, por exemplo, deram-se principalmente na fronteira agrícola que começa se expandir na década de 1970, particularmente no Cerrado brasileiro, como aponta Gasques *et al.* (2016). Exclui-se dessa organização emergente de agronegócio intensiva em conhecimento, inaugurado pela criação da Embrapa em 1973, regiões dependentes da atividade agrícola, onde a pobreza rural é generalizada, como ocorre na região Nordeste.

Como se observou, a região Nordeste destaca-se por ter passado à margem do recente processo de modernização do setor agropecuário brasileiro. (VICENTE, 2004). Nesta região há uma extensa área semiárida, ocupando 60% de toda região, que se estende a uma área de 982.563,3 km², sendo que 89,5% de todo semiárido brasileiro pertence à região Nordeste e o restante ao norte do Estado de Minas Gerais. Em termos populacionais, o semiárido nordestino compreende aproximados 12% da população do país, características que serão mais aprofundadas nas seções posteriores. No entanto, como consequência da expansão da fronteira agrícola para o bioma Cerrado, percebe-se uma dinâmica renovada de crescimento da produção agrícola no Cerrado Nordestino³, ou Matopiba⁴.

Na última década, essa nova fronteira agrícola no Cerrado Nordestino está se abrindo e vem se estabelecendo sobre uma nova base produtiva, indo no processo oposto do *semiárido brasileiro não-irrigado*⁵. Caracteriza-se por ser intensiva em capital e tecnologia, escala de produção média e alta, concentrada em médias e grandes empresas, com poucas com baixa diversificação de produtos agrícolas e sistemas produtivos, como apontam Buainain e Garcia (2016). A região também possui uma estrutura produtiva altamente concentrada, onde apenas 16 municípios do Cerrado Nordestino concentram 55% do valor de produção agropecuária.

O mesmo não se percebe para o restante do território nordestino, dado que a pobreza rural e a agricultura de subsistência de baixa produtividade persistem, principalmente no semiárido nordestino. (BARBIERI *et al.*, 2010). Para uma melhor compreensão de toda problemática que circunda a questão do semiárido brasileiro, debruçar-se-á a fundo na problematização da região na próxima seção.

³ O Cerrado nordestino compreende parte do bioma Cerrado, que se localiza no Nordeste do Brasil, estendendo-se do Maranhão até o Norte de Minas Gerais.

⁴ Acrônimo para distinguir os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

⁵ A base agropecuária da região passou por um processo de diversificação em sua área irrigada. Toma-se como exemplo a presença da fruticultura irrigada, especialmente no polo agroindustrial de Petrolina-Juazeiro no vale sub médio do São Francisco e no moderno polo de fruticultura do Rio Grande do Norte no Vale do Açu.

2.2 Caracterização do semiárido do nordeste brasileiro

A presente subseção pretende apresentar uma caracterização do que se estabeleceu como semiárido para o presente estudo, bem como as principais tendências verificadas da região Nordeste na literatura econômica. Num primeiro momento, compilou-se características climáticas, econômicas e sociais da região semiárida do Brasil e em seguida foi apresentado os principais achados na literatura econômica referentes a questão produtiva da agropecuária praticada na região Nordeste.

2.2.1 O semiárido brasileiro como delimitação empírica

O Nordeste brasileiro corresponde a uma área total de 1,57 milhões de km², perfazendo 18% do território nacional. Trata-se da segunda região mais populosa do país, constituindo 28% da população total do Brasil e concentrando cerca de 40% da pobreza. Em 2010, essa disparidade foi ilustrada ao comparar o índice de desenvolvimento humano (IDH)⁶ de 0,57 da região Nordeste com o indicador da região Sudeste, de 0,78, como aponta Barbieri *et al.* (2010).

Nessa região, a variabilidade climática é alta sendo que longos períodos de secas estão associados historicamente à fome e à mortalidade. (DAVIS, 2002). Parcela significativa da população consiste de agricultores familiares tradicionais de subsistência e com baixo teor tecnológico. Kahn e Campos (1992) apontaram que, em longos períodos de seca, as perdas no total da produção dos pequenos agricultores são de até 80%. Nasuti, Eiró e Lindoso (2013), ao pesquisarem cerca de 1.140 produtores rurais, dos estados da Bahia, do Ceará, do Pernambuco, do Rio grande do Norte e do Piauí, no período de 2011 a 2013, chegaram a resultados semelhantes, sendo que cerca de 70% dos produtores afirmavam obter prejuízos devidos à variabilidade climática.

Como já destacado, a região Nordeste é heterogênea, tanto economicamente, quanto do ponto de vista da distribuição dos recursos naturais. A região semiárida, ocupando 60% de toda região Nordeste, estende-se a uma área de 982.563,3 km², sendo que 89,5% pertence ao Nordeste brasileiro e o restante ao norte do Estado de Minas Gerais. Em termos

⁶Índice sintético calculado pela média simples de três sub índices, referentes às dimensões de longevidade (IDHM-L), educação (IDHM-E) e renda (IDHM-R). Para obter informações metodológicas, consulte o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil elaborado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 1998). O IDH é uma medida comparativa para classificar diferentes regiões pelo grau de desenvolvimento. Quanto mais próximo de 1, mais elevado é o grau de desenvolvimento. Ao contrário, quanto menor for o indicador, mais frágil é o desenvolvimento humano da região.

populacionais, o semiárido nordestino compreende aproximadamente 12% da população do país. Popularmente conhecida como o “polígono das secas”, é a região mais pobre do Brasil, sendo sujeita a severas secas periódicas. (DA MATA; RESENDE, 2015), tornando-a a região semiárida dos trópicos mais populosa do mundo. (MARENGO, 2008).

Em 2010, a região semiárida apresentava um nível de analfabetismo três vezes maior que a média nacional. (ROCHA; SOARES, 2015). Conforme mostrado na Tabela 4, ao comparar os indicadores demográficos, para o ano de 2010, a média da renda domiciliar per capita do semiárido nordestino foi 2,4 vezes menor em relação à média nacional, e apenas 70% da renda média do Nordeste.

Tabela 4 – Média da renda domiciliar per capita real e índice de Gini para o Brasil, Nordeste e semiárido nordestino (2000 e 2010).

Unidades	Renda (em R\$)			Índice de Gini		
	2000	2010	Variação (%)	2000	2010	Variação (%)
Semiárido nordestino	246,86	399,48	61,82	0,58	0,55	-5,17
Nordeste	365,89	570,10	55,81	0,64	0,62	-3,13
Brasil	701,71	949,99	35,38	0,63	0,60	-4,29

Fonte: Elaboração do autor, a partir de Irffi (2015).

Ao longo do período, de 2000 a 2010, percebe-se que o semiárido foi a região analisada com maior variação percentual de renda domiciliar per capita, o que resultou, conseqüentemente, numa melhora da distribuição de renda comparada às demais regiões. Deve-se ter cuidado ao interpretar o índice de Gini,⁷ pois, embora a renda tenha aumentado na região semiárida ao longo do período, os valores absolutos se mostram mais baixos que nas demais regiões. Essa maior igualdade de renda se dá em uma situação de *homogeneização da pobreza* na região semiárida, como aponta Vieira Filho (2013), ainda que tenha existido uma melhora de renda. Esse resultado para a região semiárida indica que há uma homogeneização das rendas da população residente na região em patamares baixos, como foi apresentado na seção anterior.

Em relação às questões sociais, Rocha e Soares (2015) mostraram que, no semiárido nordestino, no período de 1996 a 2008, aproximadamente 80% das crianças estavam abaixo da linha da pobreza e a mortalidade infantil era de 31 óbitos por mil nascimentos. Em

⁷O coeficiente de Gini mede o grau de desigualdade na distribuição da renda domiciliar *per capita* entre os indivíduos. Seu valor pode variar teoricamente desde 0, quando não há desigualdade (as rendas de todos os indivíduos têm o mesmo valor), até 1, quando a desigualdade é máxima (apenas um indivíduo detém toda a renda da sociedade e a renda de todos os outros indivíduos é nula). Série calculada a partir das respostas à Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Pnad/IBGE).

contrapartida, a média brasileira, se encontrava, respectivamente, nos patamares de 25% e aproximadamente quinze óbitos por mil nascimentos. Todos esses indicativos tornam a região semiárida brasileira o maior bolsão de pobreza do país.

A distribuição populacional da região não acompanhou o processo de urbanização que ocorreu no Brasil no século passado. (ALVES; ROCHA, 2010). De acordo com os autores, o Nordeste é a região com maior potencial de êxodo rural nos próximos anos e, por isso, é necessário definir políticas que possam fomentar o espaço rural e o urbano.

Os municípios que compõem o semiárido são pequenos, com uma população média de 12 mil habitantes, tendo sua economia fortemente baseada em formas extensivas de agricultura de subsistência com baixa produtividade e pouca resiliência às flutuações climáticas. (AB'SABER, 1999; BARBIERI *et al.*, 2010). A partir dos dados apresentados pelo Censo Agropecuário de 2006 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006), a agricultura familiar é o segmento predominante no contexto produtivo da agropecuária da região.

De acordo com Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2006), dos 5,1 milhões de estabelecimentos agropecuários no Brasil, cerca de 84% eram estabelecimentos de agricultura familiar. No comparativo regional, dos estabelecimentos de agricultura familiar, quase a metade (50%) estava localizada no Nordeste. No que se refere à extrema pobreza, essa porcentagem ainda é muito mais elevada na região nordestina: cerca de 61%.

Segundo Aquino e Lacerda (2014), esse ambiente torna atividades tradicionais na região, como a agricultura de sequeiro (que depende somente das precipitações pluviométricas) e a agropecuária extensiva, em empreendimentos de extremo risco. Dada a concentração populacional e sua dependência dessas atividades, períodos prolongados de estiagem acarretam drásticas reduções na produção, aumento da fome, crescimento do desemprego e estímulo à migração para zonas urbanas, o que demanda maior investimento na prestação dos serviços públicos nas grandes cidades. Programas, tais como Bolsa Família, contribuem para amenizar parte desse impacto negativo, mas é preciso planejamento mais específico para acabar com o problema da pobreza de forma estrutural. Políticas assistencialistas são importantes no período de transição, mas investimento em capacidade de absorção de conteúdo tecnológico é, entre outros investimentos, fundamental para erradicar com os problemas estruturais.

Diante disso, os formuladores de políticas públicas voltaram sua atenção a essas questões, criando políticas específicas para o enfrentamento dessa condição. O principal instrumento de intervenção governamental, representada pela Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), é o Fundo Constitucional do Nordeste (FNE), que tem

como seu gestor o Banco do Nordeste Brasileiro (BNB). A Constituição Federal de 1988 estabeleceu o FNE e outros fundos constitucionais⁸ através do artigo 159 e regido por força da Lei nº 7.827, de 27 de setembro de 1989, sendo metade dos recursos dos fundos, direcionados à região semiárida.

A delimitação do semiárido brasileiro é regulamentada mediante a Portaria nº 89, assinada em março de 2005 pelo Ministério da Integração Nacional. O semiárido brasileiro constitui toda a área dos estados do Nordeste, incluindo todos os municípios do norte de Minas Gerais e do Espírito Santo que atendam os seguintes critérios: precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros; índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período de 1961 e 1991; e risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período de 1970 e 1990.

A importância desse fundo para a região foi mostrada por Da Mata e Resende (2015). No estudo, os autores compararam os municípios incluídos na região semiárida (grupo de tratamento), com municípios semelhantes que não foram incorporados à região na lei de 2005 (grupo de controle). Constatou-se que produtores de baixa renda e com menor porte nas novas localidades semiáridas têm investido o crédito subsidiado para expandir sua capacidade de resiliência às intempéries climáticas regionais. Notou-se ainda que esses empréstimos não se converteram em ganhos em produto interno bruto (PIB) per capita, dado o nível de informalidade desse setor na região.

Nessa perspectiva, a região de estudo será a cartografia da área de atuação da Sudene e não apenas o Nordeste geográfico brasileiro (Tabela 5 e Mapa 1), definido pelo IBGE, no intuito de melhor representar os dois grupos regionais. Embora os municípios do norte de Minas Gerais pertençam a um estado rico, com maior grau de desenvolvimento, estes não se beneficiam desse nível de desenvolvimento, como mostra Iffri (2015). Já o norte do Espírito Santo foi mantido para garantir a estrutura institucional criada pela atuação da Sudene na região.

⁸ Os fundos constitucionais foram criados no âmbito da Constituição Federal de 1988 e são constituídos de 3% da arrecadação do imposto sobre Renda e Proventos de Qualquer Natureza (IR) e do imposto sobre produtos industrializados (IPI). Os fundos são: Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE), Fundo Constitucional de Financiamento do Norte e Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste (FCO).

Tabela 5 – Municípios abrangidos pela cartografia da Sudene (2005).

Estados	Número de municípios		Total
	Nordeste semiárido	Nordeste não semiárido	
Alagoas	38	64	102
Bahia	265	152	417
Ceará	150	34	184
Maranhão	0	217	217
Paraíba	170	53	223
Pernambuco	122	63	185
Piauí	127	96	223
Rio Grande do Norte	147	20	167
Sergipe	29	46	75
Espírito Santo	0	28	28
Minas Gerais	85	83	168
Total	1133	856	1989

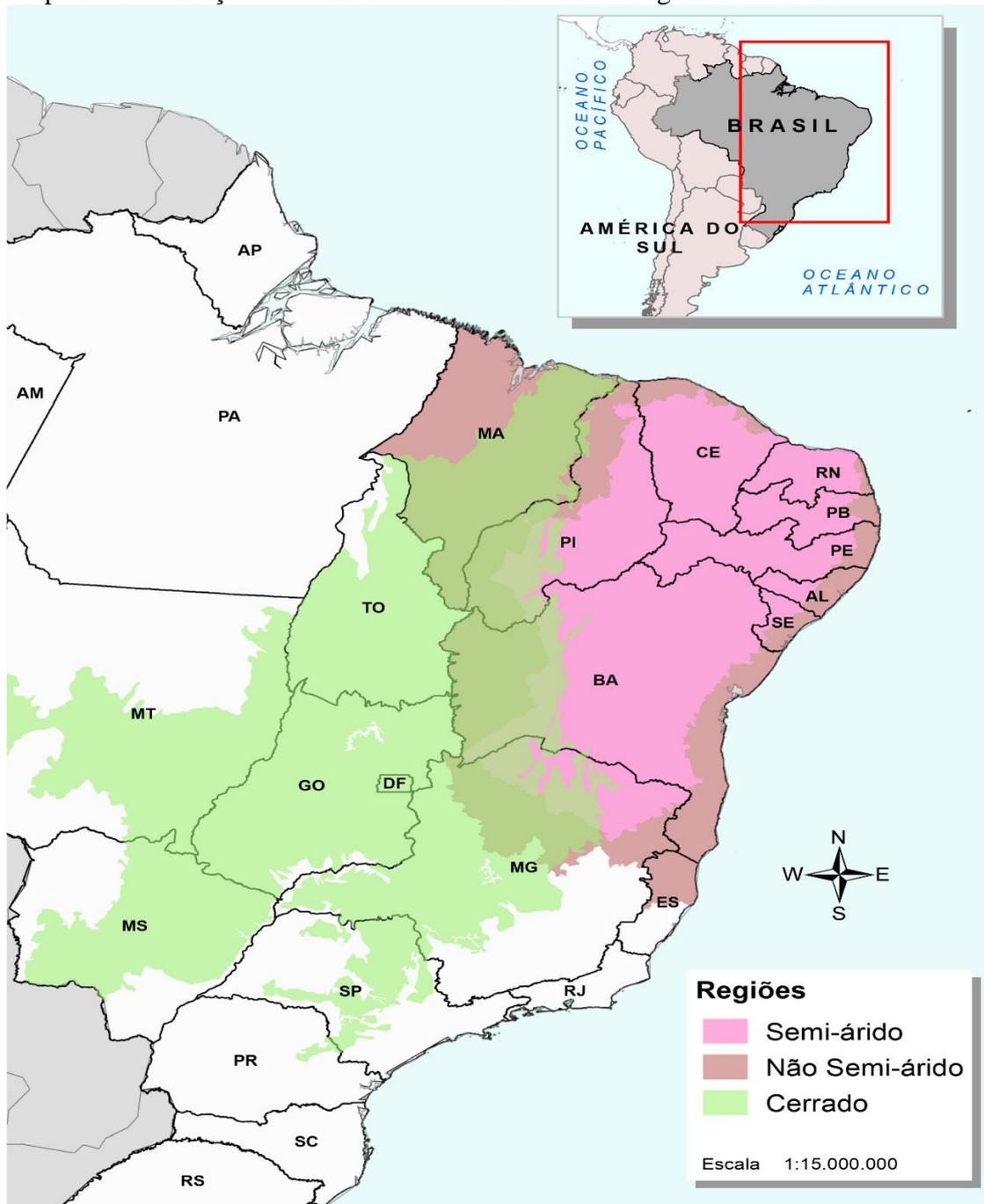
Fonte: Elaboração do autor, a partir da Portaria MI nº 89 (16 de março de 2005 – Ministério da Integração Nacional).

Obs.: Os municípios de Aroeiras do Itaim (PI) e Barrocas (BA), apesar de estarem na região compreendida pelo semiárido nordestino, não foram incluídos na normativa legal que instituiu esse recorte.

Vale destacar que parte do semiárido brasileiro encontra-se situado no Cerrado Nordestino,⁹ área da nova expansão agrícola do Brasil que vem se constituindo nos últimos dez, ou quinze anos. (BUAINAIN; GARCIA, 2016). Essa expansão dá-se principalmente na região do Matopiba (acrônimo para distinguir os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia). Tal interceção pode ser visualizada pelo Mapa 1.

⁹ O Cerrado nordestino compreende parte do bioma Cerrado, que se localiza no Nordeste do Brasil, estendendo-se do Maranhão até o norte de Minas Gerais.

Mapa 1 - Localização do semiárido e do Cerrado na cartografia da Sudene.



Fonte: Elaboração do autor, a partir de IBGE (2016).

Mesmo havendo a predominância do bioma Cerrado, esta região sofre de alguns problemas comuns ao semiárido nordestino. Inúmeras áreas são suscetíveis ao processo de desertificação, ou mesmo já estão em processo, como é o caso das principais áreas ocupadas pelo agronegócio. (BUAINAIN; GARCIA, 2016). A região também possui uma estrutura produtiva altamente concentrada, onde apenas dezesseis municípios do Cerrado nordestino concentram 55% do valor de produção agropecuária. Esta possui uma produtividade média

inferior à média nacional; e tem sua população em um estágio de fragilidade social. Em 2012, cerca de 59% das famílias residentes era beneficiada por programas de transferência de renda. (BUAINAIN; GARCIA, 2016).

Assim, dado o horizonte histórico deste estudo (1970-2006), optou-se por não se considerar este conjunto regional separadamente, já que esta região ainda não se enquadra no eixo mais dinâmico do setor nacional. Esse esforço busca captar o impacto da heterogeneidade espacial nordestina na eficiência das firmas de produção agropecuária situadas na delimitação proposta, e verificar o quanto as *diferenciações tecnológicas* entre as regiões influencia na eficiência agrícola dos municípios.

O estudo de O'Donnell, Rao e Battese (2008) corroboram com essa percepção, onde firmas situadas em diferentes regiões deparam-se com diferentes oportunidades de produção. As escolhas a serem tomadas são sobre diferentes combinações factíveis de “insumo-produto”, ou seja, a partir de diferentes “conjuntos de tecnologias”. Essas diferenças podem ser explicadas pela disponibilidade e qualidade do estoque de capital físico, humano e financeiro, infraestrutura econômica, dotação de recursos naturais etc.

2.2.2 Principais tendências verificadas

Como apresentado na seção anterior, a tendência do setor agrícola do semiárido nordestino é de baixa produtividade. Um cenário díspar quando comparado à dinâmica do agronegócio brasileiro. Enquanto em alguns países desenvolvidos discute-se a existência ou não de uma tendência de redução do crescimento da produtividade agrícola, como diversos estudos debatem o caso do setor agrícola americano (ALSTON *et al.*, 2009; JAMES *et al.*, 2009; BALL; SCHIMMELPFENNIG; WANG, 2013), países em desenvolvimento, especialmente a China e o Brasil, apresentaram rápidos ganhos de PTF no setor. (FUGILE, 2008).

Estudos que se detêm a analisar a evolução da PTF e da eficiência agrícola da região semiárida são escassos. A maioria dos trabalhos considera apenas o Nordeste como um todo. Desconsiderando a elevada heterogeneidade regional, os agricultores fazem as suas escolhas a partir de diferentes “conjuntos de tecnologias”. A literatura econômica sobre o tema mostra que o Nordeste vem à margem desse processo. Vicente (2004), ao analisar a eficiência e a PTF da agricultura brasileira no período de 1970 a 1995, utilizando Análise Envoltória de Dados (DEA), indicou que o Nordeste sofreu uma involução tecnológica, o que o fez destoar do aumento da PTF por qual passou o setor agrícola brasileiro. Os fatores principais geradores

desta tendência foram a deficiência na infraestrutura local, a dificuldade no acesso e na utilização de insumos modernos e a deterioração das relações de troca na agricultura. A amálgama desses fatores influenciou o desempenho PTF na região.

Araújo e Santos (2009) argumentam que o Nordeste passou por um processo tardio de integração à dinâmica da agricultura brasileira, passando a acompanhar de perto a economia brasileira como um todo, crescendo a taxas médias superiores às nacionais. A base agropecuária da região passou por um processo de diversificação. Toma-se como exemplo a presença da fruticultura irrigada, especialmente no polo agroindustrial de Petrolina-Juazeiro no vale sub médio do São Francisco e no moderno polo de fruticultura do Rio Grande do Norte no Vale do Açu. Da mesma forma, a produção de grãos vem crescendo na direção do Matopiba, que se estende aos cerrados nordestino e tocaninense.

Gasques *et al.* (2012) analisaram a PTF da economia brasileira no período de 1970-2006. Apontou-se que a taxa de crescimento da produtividade dos estados nordestinos, no período 1995/1996-2006, apresentou crescimento superior à média nacional, com exceção dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte.

Fornazier e Vieira Filho (2012), ao estudarem o setor agropecuário brasileiro, encontraram fortes evidências de que o setor é estruturalmente heterogêneo. Para tanto, compararam as diferenças a partir dos dados do Censo Agropecuário de 2006. Isso significa que, no caso brasileiro, o setor moderno e produtivo convivia com o atrasado e pobre, bem representados na diferença entre os produtores familiares e não familiares. Entretanto, os autores encontraram que a heterogeneidade não se dá unicamente pelo tipo de produção (familiar ou patronal) ou mesmo pelo tamanho (pequeno ou grande). Há outras características como fatores culturais, geográficos e climáticos. Além do mais, foi constatado que, dentro da própria categoria de agricultura familiar, havia produção moderna com alta produtividade *versus* produção atrasada com baixa eficiência técnica produtiva, que produzem praticamente sem excedente monetário.

Vieira Filho (2013) verificou a heterogeneidade estrutural existente na agricultura familiar brasileira em diferentes regiões e constatou que há a coexistência de produtores familiares, modernos e produtivos, com agricultores tradicionais de subsistência com baixo teor tecnológico, sendo estes últimos mais vulneráveis às variabilidades climáticas próprias da região Nordeste. Apresentou que a região Nordeste possui a maior heterogeneidade entre os agricultores familiares, já que a maior parte de seus estabelecimentos agropecuários se classificava nesse tipo de organização, cerca de 88% do total. (IBGE, 2006).

Helfand, Magalhães e Rada (2015) analisaram a PTF e a eficiência técnica com o modelo de fronteira estocástica a partir dos dados dos censos agropecuários para os anos 1985, 1995-1996 e 2006. Foi examinado o papel do tamanho da propriedade no acelerado crescimento da PTF agrícola do Brasil nos últimos vinte anos. Para tanto, os estabelecimentos agrícolas foram divididos em classes pelo tamanho e pelas suas respectivas contribuições ao crescimento da PTF nacional. Os resultados específicos para o Nordeste mostraram que a segunda menor classe de estabelecimentos (de 5 a 20 hectares) foi responsável por 18% da produção e 21% dos estabelecimentos da região. Esta foi a classe que mais evoluiu em eficiência técnica, de 7,75%, bem como em relação ao crescimento da PTF (de 4,12%). Não obstante, a maior parte das terras da região, 69% do total, representou maiores fazendas (de 100 a 500 hectares). Esta faixa apresentou as mais reduzidas taxas de crescimento da PTF.

2.3 Revisão de literatura sobre meta-fronteira de produção

O conceito de função de meta-produção (MF) foi 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. Battese, Rao e O'donnell (2004) e O'Donnell, Rao e Battese (2008) propuseram uma abordagem mista de dois estágios para a estimação da meta-fronteira. O método consiste na combinação do quadro teórico da estimação da fronteira estocástica como seu primeiro estágio¹⁰, estimando as fronteiras estocásticas das fronteiras regionais com técnicas de programação matemática para estimar a meta-fronteira em seu segundo estágio.

Este conceito se torna atrativo para este estudo devido às diversas regiões e países que se depararam com diferentes oportunidades de produção. (O'DONNELL; RAO; BATTESE, 2008). Esta metodologia permite decompor a eficiência técnica em relação à meta-fronteira e pode ser decomposto pelo produto da eficiência técnica medida com referência a fronteira regional j e com a razão de meta-tecnologia da região j .

Recentemente, a abordagem mista de dois estágios proposto por Battese, Rao e O'donnell (2004) e O'Donnell, Rao e Battese (2008), torna-se cada vez mais popular na literatura econômica e desenvolvida nos mais diversos contextos de análise. Como exemplo destas contribuições temo-se Cheng e Song (2008), que examinam as diferenças tecnológicas existentes na agricultura chinesa, a partir dos conceitos dentro do arcabouço teórico de meta-

¹⁰ O primeiro estágio pode também ser desenvolvido Análise Envoltória de Dados (DEA), como demonstra O'Donnell *et al* (2008).

fronteira de produção. Para tanto, dividiram as províncias da China em quatro grandes regiões (Centro, Leste, Oeste e Nordeste). Os resultados indicaram que as províncias pertencentes à região Leste da China possuem os maiores escores de eficiência em relação à meta-fronteira, sendo os distritos inseridos na região Nordeste da China aqueles menos eficientes em relação à meta-fronteira.

Outro exemplo é o estudo de Moreira e Bravo-Ureta (2010), que compararam a eficiência técnica e a razão de meta-tecnologia de firmas produtoras de leite de três países sul-americanos: Argentina, Uruguai e Chile, utilizando a meta-fronteira de produção com o modelo de fronteira estocástica. A análise foi procedida num modelo com base de dados em painel não balanceado, havendo diferentes números de firmas e de tempo para os diversos países.

Já Dadzie e Dasmani (2010) investigaram a influência no nível de eficiência dos estabelecimentos agrícolas no distrito de Juaboso no oeste de Gana, considerando a variável gênero na administração dos estabelecimentos. O estudo envolveu 90 estabelecimentos administrados por homens e 90 por mulheres em um único período de tempo, escolhidos aleatoriamente de uma amostra de 530 estabelecimentos (280 estabelecimentos administrado por homens e 250 por mulheres). Os autores utilizaram a abordagem mista com o modelo de fronteira estocástica.

Enquanto Wongchai Liu e Pang (2012) medem as diferenças regionais na eficiência técnica de 77 universidades nacionais de Taiwan. Como a MF possibilita comparar o nível de eficiência das universidades que operam sobre tecnologias diferentes, dividiu-se as universidades em 5 grupos diferentes (Bangkok, Central, Norte, Nordeste e Sul). A base de dados é um *cross-section* para o ano de 2011 e os autores usaram a metodologia proposta por Battese, Rao e O'Donnell (2004) e O'Donnell, Rao e Battese (2008), estimando as fronteiras regionais, utilizando a análise envoltória de dados.

Beltrán-Esteve *et al.* (2013) empregaram o conceito de meta-fronteira para avaliar a eco eficiência de grupos de produtores, utilizando-se da Análise Envoltória de Dados (DEA) para o cálculo das eficiências técnicas regionais. A amostra utilizada foi de fazendas de azeitona localizadas na região espanhola do sul da Andaluzia que é o maior produtor de azeite do mundo (equivalente 19% da área total de plantações de azeitona do mundo) e divididas em dois grupos: sistemas produtivos tradicionais desenvolvidos em Montanha e em Planíce. Estimou-se ainda duas fronteiras de produção, uma para o cálculo de uma fronteira para calcular a ecoeficiente. A região mais eco-eficiente em termos de pressão sobre recursos naturais é o sistema tradicional de Planice, no entanto, em relação à pressão produtiva sobre a biodiversidade, o sistema de montanha tradicional é o mais eco-eficiente.

Chang, Huang e Kuo (2015) compararam a eficiência técnica de firmas de contabilidade de três países distintos: Estados Unidos da América, China e Taiwan, que operam sobre conjuntos de tecnologias distintas. Foram estimadas três fronteiras regionais para o período de 2007-2009, com 100 firmas de cada país. O estudo utilizou a contribuição de Huang e Fu (2013) para o método de dois estágios de Battese, Rao e O'Donnell (2004) e O'Donnell, Rao e Battese (2008). Consideraram os autores que a abordagem teórica da análise de fronteira estocástica é recomendada ao invés da programação linear na segunda etapa. Para Huang e Fu (2013), quando os dois resultados são comparados, o método de dois estágios apresenta resultados subestimados, apresentando grande variância.

Jiang e Sharp (2015) investigaram o quanto as diferenças climáticas, do tipo de solo e do desenvolvimento histórico da agricultura do Norte e do Sul da Nova Zelândia impactam na eficiência técnica das regiões. Para isso, utilizaram o modelo proposto de dois estágios com abordagem de análise de fronteira estocástica para estimação das fronteiras regionais. Foi empregado um painel não balanceado de 1294 firmas entre 1998/1999 e 2006/2007.

Lee e Huang (2016) apresentaram uma nova abordagem do conceito de meta-fronteira, chamada de Função de meta-fronteira estocástica de Fourier custo-flexível, no intuito de comparar a eficiência de custo dos países da Europa Ocidental entre 1996 e 2010. Essa abordagem incrementa a forma funcional translog, o conjunto de séries trigonométricas de Fourier, além de se aproximar da metodologia de cálculo da meta-fronteira proposta por Huang e Fu (2013). Para os autores, as duas abordagens são consistentes, tanto a proposta por Huang e Fu (2013), quanto a abordagem de dois estágios de Battese, Rao e O'Donnell (2004) e O'Donnell, Rao e Battese (2008). No entanto, a meta-fronteira estocástica tem como vantagem possuir propriedades estatísticas desejáveis, o que permite aos pesquisadores inferir estatísticas e ser capaz de associar a distância a meta-fronteira a um conjunto de variáveis específicas para cada país. Têm-se aí uma aproximação metodológica da proposta por Battese e Coelli (1995), ao estimarem os termos causadores de ineficiência.

Melo-Becerra e Orozco-Gallo (2016) utilizaram a abordagem de dois estágios para avaliar a eficiência técnica da agropecuária praticada na Colômbia com uma amostra de 1565 propriedades divididas em 4 sistemas de produção. Essa divisão deu-se por características climáticas e tipos de solos. Os resultados indicaram que os agregados familiares em alguns sistemas de produção beneficiam-se de melhores condições de produção devido a vantagens na disponibilidade de recursos naturais e clima, bem como em condições socioeconômicas mais favoráveis encontrada nas regiões situadas mais próximas da meta-fronteira de produção.

Tunca e Yesilyurt (2016) analisaram o sistema de saúde da região do Egeu da

Turquia, com amostra de 135 hospitais, com os dados retirados do Anuário Estatístico de Saúde da Turquia. Dividiram os hospitais em estatais, privados e em hospital-escola. A estimação das fronteiras regionais se deu por DEA e os resultados indicaram que os hospitais estatais e privados são semelhantes e encontram-se muito próximos à metafronteira de produção, sendo os hospitais estatais ligeiramente mais próximos.

Lakner, Brenes-Muñoz e Brümmer (2017) modelaram a eficiência técnica do agronegócio chileno entre 2001 e 2007 e buscaram considerar as diferenças estruturais entre os diversos subsetores, a saber: carnes, frutas e legumes, laticínios, cereais e moagem. A amostra contou com 2,940.0 observações e foi utilizado o modelo de meta-fronteira combinado com a abordagem metodológica de meta-fronteira de produção proposto por Battese, Rao e O'Donnell (2004) e O'Donnell, Rao e Battese (2008). Os resultados indicaram que há uma forte heterogeneidade entre os diversos subsetores, tanto por características estruturais, como de produção, encabeçado por ser ou não voltado para o mercado externo.

Para os autores, subsetores orientados para o mercado externo, como carnes, frutas e legumes, laticínios, estão se aproximando cada vez mais rápido da metafronteira estimada. Já os subsetores de cereais e moagem, por serem voltados para o mercado interno do Chile, não se aproximam da metafronteira no decorrer do período de análise. Dessa forma, os autores concluíram que uma maior integração ao mercado externo proporciona ganhos tecnológicos, dada as suas vantagens comparativas (mão-de-obra barata).

A literatura econômica nacional que utiliza Meta-fronteira de Produção é escassa. A abordagem de dois estágios foi utilizada por Rocha *et al* (2016). Este estudo avaliou os gastos públicos municipais em saúde utilizando a metodologia proposta Battese, Rao e O'Donnell (2004) e O'Donnell, Rao e Battese (2008) numa abordagem não-paramétrica, dividindo os municípios em grupos, que foram definidos pelo tamanho de sua população.

Pode-se ainda citar o trabalho de Carvalho (2003), que analisou a produtividade total dos fatores do setor agrícola do Brasil, fazendo uso do quadro teórico da Meta-fronteira de produção estocástica para comparar as fronteiras regionais estimadas (norte, nordeste, centro-oeste, sudeste e sul). Em outro trabalho, Benegas e Marinho (2002) analisaram a eficiência técnica dos estados brasileiros, desenvolvendo fronteiras de produção não-paramétricas (DEA) de bens e serviços e comparando as regiões brasileiras utilizando-se do conceito de Meta-fronteira. Ambos os estudos não utilizam a abordagem de dois estágios. Para uma apresentação detalhada deste conceito, faz-se mister discutir o conceito de Meta-tecnologia e sua mensuração, como melhor será explicitado em seguida.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritos os pressupostos teóricos, bem como o modelo de fronteira de produção utilizado, além da modelagem utilizada para a construção da meta-fronteira de produção. Serão apresentados os modelos especificados utilizados neste estudo e detalhados todos os testes de hipóteses utilizados para a especificação da fronteira estocástica de produção.

3.1 Função de produção e eficiência técnica

No delineamento teórico deste estudo, considera-se importante destacar que a mensuração de eficiência está intimamente relacionada com a teoria da produção e com os conceitos de função de produção e de distância. As possibilidades tecnológicas de uma dada firma podem ser resumidas numa função de produção, que pode ser definida da seguinte forma:

$$y = f(x) \tag{1}$$

Onde y representa o vetor produto e $x = (x_1, x_2 \dots x_N)'$ é um vetor insumo $N \times 1$. Associada à função de produção (1) deve-se respeitar diversas propriedades, sendo as principais, como apresenta Chambers (1988). Essas mesmas propriedades devem ser respeitadas pelas fronteiras¹¹ estimadas que estão ligadas a seguir:

- i)* Não-Negatividade: o valor de $f(x)$ é um número finito, não-negativo e real;
- ii)* A produção do positiva do produto é impossível sem ao menos a utilização de no mínimo um insumo;
- iii)* Monotonicidade em x : uma unidade adicional de insumo não diminuirá o nível produto;
- iv)* Convexo em x : qualquer combinação linear dos vetores x^0 e x^1 produzirá um nível de produto no mínimo igual a combinação linear de $f(x^0)$ e $f(x^1)$.

Já a noção de função de distância foi introduzida na literatura econômica, simultaneamente, por Malmquist (1953) e Shephard (1970), sendo bastante útil para descrever uma dada tecnologia de maneira a possibilitar a mensuração da eficiência e da produtividade.

¹¹ Muitos livros textos referem-se à relação técnica entre insumos e produtos tanto como função de produção, quanto fronteira produtiva. Os dois termos podem ser usados indistintamente. A literatura que discorre sobre mensuração de eficiência técnica utiliza o termo fronteira para enfatizar o fato que a função apresentada oferece o máximo produto que é tecnologicamente factível.

Nessa subseção, apresentar-se-á formalmente como o conceito *função distância produto orientada* é utilizado para medir eficiência técnica e a razão de meta-tecnologia (O'DONNELL; RAO; BATTESE, 2008), ou razão de *gap* tecnológico (BATTESE; RAO; O'DONNELL, 2004).

Seja y e x vetores de produtos e insumos, sendo seus elementos compostos de números não negativos e reais com dimensões $M \times 1$ e $N \times 1$, respectivamente. Assim, x e y podem ser considerados como elementos do ortante não negativo dos espaços euclidianos N - e M -dimensional, representados por R_N^+ e R_M^+ . O *conjunto de meta-tecnologias*, que contém todas as combinações factíveis de insumo-produto, pode ser definido como:

$$T = \{(x, y): x > 0; y > 0; x \text{ pode produzir } y\} \quad (2)$$

Esse conjunto de meta-tecnologia é proporcionalmente representado e descrito por conjuntos de insumos e produtos associados. Por exemplo, o conjunto de produto, que apresenta o conjunto de todos os vetores produtos, y , que podem ser produzidos usando o vetor insumo, x . Formalmente, define-se o conjunto produto como:

$$P(x) = \{y: x \text{ pode produzir } y\} = \{y: (x, y) \in T\} \quad (3)$$

O conjunto produto é desenhado como a curva de possibilidade de produção, sendo a borda referida como o produto de *meta-fronteira*. Assume-se que o conjunto produto satisfaz as propriedades listadas por Färe e Primont (2012), que são:

- i) $0 \in P(x)$, é possível produzir nada;
- ii) para todo $x, y \in P(x)$, e se $0 < \theta \leq 1$, então $y^* = \theta y \in P(x)$ (satisfazendo a descartabilidade forte de produto);
- iii) para todo x , $P(x)$ é um conjunto limitado e fechado;
- iv) para todo x , $P(x)$ é convexo.

Para fins deste estudo, é conveniente representar a tecnologia usando a *função de meta-distância produto orientado*. Esta função mede a quantidade máxima pela qual a firma pode expandir radialmente seu vetor produto, dado um vetor insumo, definida como:

$$d(x, y) = \inf_{\theta} \left\{ \theta > 0: \left(\frac{y}{\theta} \right) \in P(x) \right\} \quad (4)$$

Onde $P(x)$ é o conjunto de produto, y o vetor produto, x o vetor insumo e $d(x, y)$ o valor da função distância que a firma se encontra, quando utiliza um dado vetor x de insumo para

produzir uma expansão máxima q de produto. Uma dada observação (x, y) será tecnicamente eficiente com relação à meta-fronteira se, e somente se, $d(x, y) = 1$. Tendo que ainda respeitar as seguintes propriedades da *função distância produto orientada* (COELLI; RAO; BATTESE, 2005):

- i) $d_o(x, y) = 0$, para todo x não negativo;
- ii) $d_o(x, y)$ é não decrescente em q e não negativa em x ;
- iii) $d_o(x, y)$ é linearmente homogênea em q ;
- iv) $d_o(x, y)$ é quase-convexa em x e convexa em q ;
- v) se q pertence ao conjunto de possibilidade de produção de x (i.e., $q \in P(x)$), então $d_o(x, y) \leq 1$.

Pode-se ainda conceituar a existência de subtecnologia, que representa as possibilidades de produção de regiões onde as firmas estão localizadas. Para o objetivo desse trabalho, considerar-se-á que o universo de firmas será dividido em j (>1) regiões. Essa separação dá-se por haver restrições de recursos naturais, regulatórios, dentre outros fatores que impedem certos grupos de alcançar todas as possibilidades de combinações entre insumos e produtos tecnicamente factíveis, expostos no conjunto de meta-tecnologias, T . Destarte, as combinações factíveis para as firmas na j -ésima região estão contidos num conjunto tecnologia grupo-específico definido como:

$$T^j = \left\{ \begin{array}{l} (x, y): x > 0; y > 0; \\ x \text{ pode ser usado pelas firmas no grupo } j \text{ para produzir } y \end{array} \right\} \quad (5)$$

Assim como o conjunto de meta-tecnologia, o conjunto tecnologia da região-específica j , pode ser representado pelos seguintes conjuntos produto e *função distância produto orientada* da região específica:

$$P^j(x) = \{y: x \text{ pode produzir } y\} = \{y: (x, y) \in T^j\}, j = 1, 2, \dots, J; \text{ e} \quad (6)$$

$$d^j(x, y) = \inf_{\theta} \left\{ \theta > 0: \left(\frac{y}{\theta} \right) \in P^j(x) \right\}, j = 1, 2, \dots, J \quad (7)$$

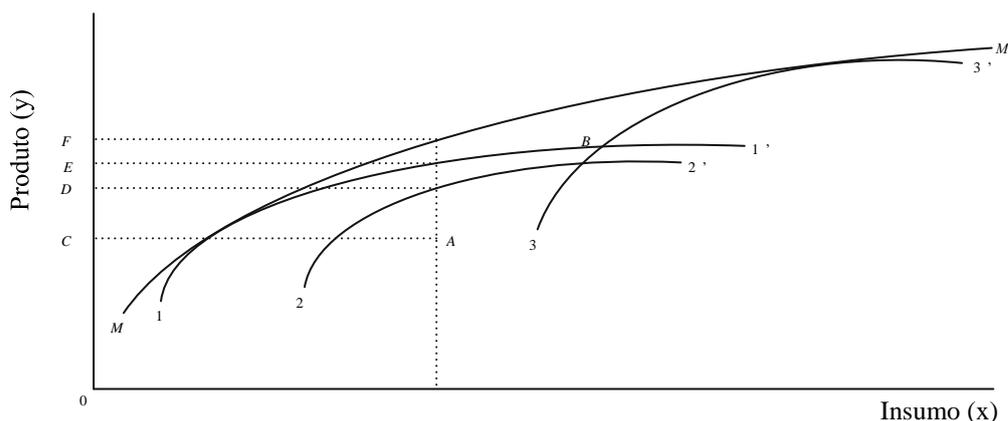
A borda do conjunto produto da região-específica é referida como *fronteira regional*. Se o conjunto produto, $P^j(x)$, $j = 1, 2, \dots, J$, satisfaz as propriedades padrões já citadas, então a função distância $d^j(x, y)$, $j=1, 2, \dots, J$, também satisfaz as propriedades padrões que a

regulam. (COELLI; RAO; BATTESE, 2005). Independente das propriedades destes conjuntos e funções deve-se respeitar os seguintes pressupostos:

- i) se $(x, y) \in T^j$ para cada j então $(x, y) \in T$;
- ii) se $(x, y) \in T$, então $(x, y) \in T^j$ para algum j ;
- iii) $T = \{T^1 \cup T^2 \cup T^3 \dots \cup T^J\}$; e
- iv) $d^j(x, y) \geq d(x, y)$, para todo $k=1,2, \dots, J$;
- v) a convexidade de $P(x)$ não necessariamente implica a convexidade do conjunto produto regional $P^j(x), j=1, 2, \dots, J$; e vice e versa.

Essas propriedades derivam do fato de que o conjunto produto região-específica, $P^j(x), j=1, 2, \dots, J$, é subconjunto do produto irrestrito, $P(x)$. Pode-se exemplificar essas relações no Gráfico 2, onde se descreve as possibilidades de produção disponíveis para o caso de firmas com um produto e um insumo em três diferentes regiões. Cada fronteira regional j é nomeada j - j' e assume-se que essas fronteiras são convexas ($k=1, 2, 3$). Se existirem apenas essas três regiões, então a curva envoltória das fronteiras regionais específicas é a fronteira definida não convexa, situada no trecho 1-B-3'. Agora, se j não exaurir todas as regiões existentes no universo de possibilidades, então outras combinações factíveis são possíveis e a meta-fronteira será a fronteira convexa $M-M'$. Então, tem-se que:

Gráfico 2 - Eficiência técnica e meta-tecnologias.



Fonte: Elaboração do autor, a partir de O'Donnell, Rao e Battese (2008).

Como foi apresentado, uma dada observação (x,y) é tecnicamente eficiente em relação à meta-fronteira se e somente se $d(x, y) = 1$. De uma maneira geral, a medida produto orientada da eficiência técnica de uma combinação observada (x,y) com a respectiva meta-tecnologia é:

$$ET(x, y) = d(x, y) \quad (8)$$

Essa relação nos diz que se $d(x, y) = 0,75$, o vetor produto, y , é 75% do máximo de produto que pode ser produzido por uma firma que utilize o vetor insumo, x . Da mesma forma, pode-se medir a eficiência técnica das firmas com respeito à fronteira regional- j . Formalmente, a mensuração da eficiência técnica produto orientado em relação à sua fronteira regional j é descrita por:

$$ET^j(x, y) = d^j(x, y) \quad (9)$$

Por exemplo, se $d^j(x, y) = 0,85$, então o produto é 85% do produto máximo possível ao utilizar o vetor insumo, x , com a tecnologia disponível para região j . Como a propriedade *iv* apontou, a função distância regional não pode ser menor que a função meta-distância. Essa é outra forma de dizer que a meta-fronteira é a curva envoltória de todas as fronteiras regionais. Quando as distâncias são diferentes, respeitando o pressuposto *iv*, pode-se calcular uma medida de distância entre a fronteira regional e a meta-fronteira. Essa medida é chamada de razão de meta-tecnologia (MTR) ou razão de *gap* tecnológico (TGR) para a região- j , formalmente:

$$MTR^j(x, y) = \frac{d(x, y)}{d^j(x, y)} = \frac{ET(x, y)}{ET^j(x, y)} \quad (10)$$

Utilizando os exemplos numéricos já apresentados, temos que $MTR^j = 0,88$ ($0,75/0,85$). O que significa que dado o vetor insumo, x , o máximo produzido por uma firma do grupo j é 88% do produto factível usando a meta-tecnologia. Manipulando a equação (9), encontra-se a seguinte relação:

$$ET(x, y) = ET^j(x, y) \times MTR^j(x, y) \quad (11)$$

A nova relação posta pela equação (11) mostra que a eficiência técnica da firma com referência à meta-fronteira pode ser representada pelo produto da eficiência técnica com referência à fronteira regional específica j , com a razão de meta-tecnologia, que mede a distância da fronteira regional j à meta-fronteira. A primeira considera apenas o estado de conhecimento e as condições físicas, sociais e econômicas que caracterizam a região específica j ; já a segunda representa o quão perto está a fronteira regional j da meta-fronteira.

Deve-se deixar clara a diferença entre eficiência técnica e eficiência econômica, para o prosseguimento do presente estudo. Farrell (1957) foi o pioneiro em estudos sobre eficiência econômica e concentrou-se na medição da eficiência com relação à utilização dos insumos. Conceitualmente, eficiência econômica pode ser definida como o resultado máximo obtido, de acordo com os fatores empregados, ou ainda como a capacidade da empresa em utilizar os fatores de produção em proporção ótima, minimizando os custos de produção. Já a eficiência técnica é uma medida do modo como a combinação ótima dos recursos é utilizada na produção, na busca do produto máximo. Enquanto a eficiência técnica está preocupada com o aspecto físico da produção, a eficiência econômica é uma extensão da eficiência técnica, que se preocupa com aspecto monetário da produção. (SOUZA JÚNIOR, 2003).

Há diversas abordagens metodológicas para a mensuração empírica da eficiência técnica e da razão de meta-tecnologia. O método escolhido foi o de Battese e Coelli (1992) e O'Donnell, Rao e Battese (2008) para a construção da meta-fronteira de produção em dois estágios. O primeiro estágio é dado pela construção de fronteiras estocásticas regionais, pelo método proposto por Battese e Coelli (1992; 1995) e Coelli, Rao e Battese (2005). Já o segundo estágio consiste em estimar a meta-fronteira por técnicas de programação linear. A escolha por estimar as fronteiras regionais pela análise de fronteira estocástica foi uma escolha dos autores, pois, como apresenta O'Donnell, Rao e Battese (2008), há possibilidade de utilizar análise envoltória de dados (DEA).

A adoção dessa abordagem traz consigo vantagens e desvantagens. O modelo de fronteira estocástica que estima as eficiências técnicas das firmas dá-se por parâmetros testados a partir de erros padrões, além de acrescentar fatores aleatórios não-negligenciáveis próprios a diversas atividades econômicas, como na agricultura (cheias, secas, dentre outras).

Deve-se ainda, salientar algumas limitações existentes na presente abordagem, como evidencia Liu, Laporte e Ferguson (2008), ao destacarem que o modelo de Fronteira Estocástica tende a ser sensível à má especificação da distribuição assumida para o termo da ineficiência, especialmente na utilização da distribuição half-normal. Já Reichard, Lovell e Thjssen (2000) apontaram que o modelo de Fronteira Estocástica viola ocasionalmente as propriedades da função de produção¹², principalmente a monotonicidade. Diferente do que ocorre no modelo de DEA, onde essas condições são satisfeitas pela construção do problema de programação linear. Outro ponto passivo de críticas é a imposição de uma forma funcional,

¹² As principais propriedades associadas a função de produção foram no capítulo 3, na seção 3.1.

além de não possibilitar a mensuração de escores de eficiência na existência de firmas com múltiplos insumos e multiprodutos. (TANNURI-PIANTO; SOUSA; ARCOVERDE, 2009).

3.2 Meta-fronteira de produção estocástica

A construção da meta-fronteira de produção dá-se em dois estágios. O primeiro estágio é dado pela construção de fronteiras estocásticas regionais. Para tanto, considere que a relação entre insumos e produtos das diversas firmas em diferentes regiões, numa dada indústria, é representada por uma fronteira estocástica regional para cada grupo de firmas. Sendo assim, para cada j -ésimo grupo, existe uma amostra de N_j firmas, produzindo um produto a partir de vários insumos, a fronteira estocástica para estes grupos é definida por:

$$y_{it}^j = f(X_{it}, \beta^j) \cdot \exp\{v_{it}^j - u_{it}^j\} \quad (12)$$

Onde y_{it} é denotado como a produção observada na firma (neste caso o município) i , no ano t ; X_{it} representa o vetor $1 \times K$ de insumos ou outras variáveis explicativas associadas com a firma; β^j denota o vetor $K \times 1$, parâmetros desconhecidos associados ao grupo j . Considerou-se cada município brasileiro como uma firma, divididas em regiões, assim no primeiro modelo considerar-se-á $j =$ Norte, Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste e para o segundo modelo tem-se $j =$ Nordeste semiárido e Nordeste não semiárido. No intuito de testar a hipótese de que as tecnologias usadas nos municípios das distintas regiões do presente estudo são as mesmas, serão estimadas fronteiras estocásticas regionais, referente às regiões, e uma com todos os municípios agrupados, desconsiderando qualquer diferenciação regional entre os municípios, de cada modelo. No primeiro referente a todo Brasil, já o segundo refere-se ao Nordeste.

A composição do termo do erro se dá pelos termos v_{it}^j e u_{it}^j , sendo estes independentes entre si. O primeiro representa as variações por choques aleatórios, erros de medição etc., que são por hipótese $iidN(0, \sigma_v^2)$, ou seja, independentes e identicamente distribuídos, com distribuição normal de média zero e variância σ^2 . Já o segundo refere-se à ineficiência técnica própria da firma, que desvia o nível de produção da firma para baixo da fronteira de produção estimada, podendo apresentar diversos tipos de distribuição, como a *half-normal*, como em Aigner, Lovell e Schmidt (1977), normal truncada (BATTESE; COELLI, 1995), exponencial, gama. Assume-se ainda que: $E(v_{it}) = 0$ (Média zero); $E(v_{it}^2) = \sigma_v^2$

(homocedasticidade); $E(v_{it}v_{zt}) = 0$. para todo $i \neq z$ (não correlacionados); $E(u_{it}^2) = constante$, (homocedasticidade); $E(u_{it}u_{zt}) = 0$ para todo $i \neq z$, (não correlacionados).

As estimações desses parâmetros serão obtidas pelo método da máxima verossimilhança, como proposto por Battese e Coelli (1992).¹³ Aigner, Lovell e Schmidt (1977) parametrizaram a função log-máxima verossimilhança e é expressa em termos da variância dos parâmetros: $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$; $\lambda^2 = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_v^2} \geq 0$. Se $\lambda = 0$, não existe o efeito de ineficiência técnica e todos os desvios da fronteira são devidos aos ruídos estocásticos. Usando essa parametrização, a função de log-máxima verossimilhança é definida pela seguinte função:

$$\ln L(y|\beta, \sigma, \lambda) = -\frac{I}{2} \left(\frac{\pi \sigma^2}{2} \right) + \sum_{i=1}^t \ln \phi \left(\frac{\varepsilon_i \lambda}{\sigma} \right) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^t \varepsilon_i^2 \quad (13)$$

Onde y é um vetor de log-produto; $\varepsilon = v_i - u_i = \ln y - x_i' \beta$ é a composição do termo do erro; e $\phi(x)$ é a função de distribuição acumulada (fda) da variável aleatória com distribuição normal padrão avaliada em x .

Battese e Corra (1977) consideraram mais conveniente parametrizar a função de log-máxima verossimilhança em termos de $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$ e $\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma^2}$. O parâmetro γ encontra-se entre zero e um. Se $\gamma = 0$, tem-se que todos os desvios à fronteira de produção devem-se a choques aleatórios, no entanto, quando $\gamma = 1$, tem-se que todos os desvios são causados pela ineficiência técnica. O resultado da eficiência técnica da firma (município) específica é dada pela relação:

$$ET_{it}^j = \frac{y_{it}^j}{f(X_{it}^j \beta_{it}^j) \cdot \exp\{v_{it}^j\}} = \{ \exp(-u_{it}^j) \}, \quad j = 1, 2 \dots J \quad (14)$$

A tecnologia de produção de fronteira pode ser estimada por inúmeras especificações no modelo de fronteira estocástica. Concentrar-se-á em duas especificações, das quais todas estão alinhadas a seguinte especificação geral:

¹³ Poder-se-ia utilizar o modelo proposto por Battese e Coelli (1995), em que há a possibilidade de desenvolver um modelo para a explicação do termo de ineficiência técnica da firma. Houve esforços nesse sentido, principalmente para o segundo modelo. Buscou-se fatores que explicassem a ineficiência dos municípios analisados, no entanto, tal incorporação de variáveis tornou-se inviável por dois motivos: 1 - dada a indisponibilidade de dados em âmbito municipal; 2 - convergência do parâmetro γ para as bordas, como será detalhado a seguir.

$$\ln f(x_{it}, t) - u_{it} + v_{it} \quad (15)$$

Onde $i = 1, \dots, N$ indica a empresa, $t = 1, \dots, T$ indica o período de tempo, e todas as outras variáveis são definidas como antes. Serão aplicadas duas especificações do modelo a seguir:

1. eficiências individuais invariantes no tempo, isto é, $u_{it} = u_i$, o que significa que cada empresa tem uma eficiência individual que não varia ao longo do tempo;
2. eficiências individuais tempo-variante, assim $u_{it} = u_k \exp(-\eta(t - T))$, que significa que cada uma das firmas possuem uma eficiência individual e os termos de eficiência de todas as firmas podem variar ao longo do tempo com a mesma taxa (e na mesma proporção).

Dessa forma pode-se decompor os efeitos das mudanças tecnológicas na fronteira de produção em dois componentes: em progresso técnico dado pelo tempo; e pelo o efeito do tempo na eficiência técnica (eficiência técnica tempo-variante). O segundo termo pode ser exemplificado pela mudança da fronteira agrícola do espaço analisado, impactando positivamente ou negativamente no nível de eficiência técnica da firma. Essa característica é importante dado que, no período analisado no presente estudo, a fronteira agrícola mudou seu eixo tradicional para o Centro-Oeste na década de 1980-1990 e a partir da década de 2000 para o Cerrado Nordeste, como apontam Vieira Filho (2016) e Buanain e Garcia (2016). Para tanto serão realizados diversos testes de hipóteses que serão apresentados a seguir.

Para testar a hipótese de que as regiões são representadas pela mesma fronteira de produção estocástica, utiliza-se o teste da razão de verossimilhança (LR). Se a hipótese nula for rejeitada, a fronteira de produção agrupada é rejeitada e se aceita a hipótese alternativa de existência de fronteiras regionais distintas. No entanto, as ET computadas pelas fronteiras regionais estimadas não podem ser comparadas e, para tanto, adota-se o conceito de função de meta-produção para comparação das diferenças de performances entre as duas regiões de estudo.

Parte-se da hipótese de que os municípios estão divididos em grupos regionais e possuem diferentes *conjuntos de produção*, dados seus diferentes níveis de acesso aos estoques de capital físico, humano e financeiro, como nas diferentes dotações de recursos naturais, disparidade na qualidade do solo, clima, acesso a recursos energéticos, infraestrutura etc. Assim, a MF possibilita a comparação das TE das diferentes fronteiras estimadas. A função de MF de produção toma a seguinte forma:

$$y_{it}^* = f(X_{it}, \beta^*) \equiv \exp\{X'_{it}\beta^*\}. \quad (16)$$

Em que y_{it}^* indica o produto da meta-fronteira e β^* indica o vetor de parâmetros para a MF de produção que satisfaça a seguinte restrição:

$$X'_{it}\beta^* \geq X'_{it}\beta^j, \text{ para } j = 1, 2 \dots J \quad (17)$$

Essa restrição garante que nenhuma fronteira regional seja maior que a meta-fronteira. O'Donnell, Rao e Battese (2008) apresentaram duas formas para o cálculo β^* . O primeiro método é estimar uma meta-fronteira estocástica, usando os produtos, insumos de todas as firmas, independentemente da região e em todos os períodos, calculando uma meta-fronteira estocástica. Este método não garante que a meta-fronteira estimada seja a envoltória das fronteiras regionais, dada a possibilidade de haver problema de má especificação. O segundo método, proposto por Battese, Rao e O'Donnell, (2004) e O'Donnell, Rao e Battese (2008) considera que, dado os parâmetros estimados $\hat{\beta}^j$ das fronteiras regionais no primeiro passo, o segundo passo para a estimação da MF se dá na estimação de β^* pela solução do seguinte problema de programação linear:

$$\min_{\beta} L \equiv \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N |\ln f(X_{it}, \beta^*) - \ln f(X_{it}, \hat{\beta}^j)| \quad (18)$$

$$\text{s.t. } \ln f(X_{it}, \beta^*) \geq \ln f(X_{it}, \hat{\beta}^j), \text{ para todo } i \text{ e } t \quad (19)$$

Onde $\hat{\beta}^j$ é o vetor dos coeficientes estimados das j -ésimas fronteiras estocásticas. No caso destes parâmetros estimados para as fronteiras estocásticas nas diferentes regiões ($\hat{\beta}^j$, $j=1, 2, \dots, J$) serem fixos para todo o problema, e sendo a função $f(\cdot)$ log linear nos parâmetros, como foi assumido em (12), o problema linear toma a seguinte forma:

$$\min_{\beta} \bar{X}\beta^* \quad (20)$$

$$\text{s.t. } X'_{it}\beta^* \geq X'_{it}\beta^j, \text{ para } j = 1, 2, \dots, J, \text{ para todo } i \text{ e } t \quad (21)$$

Onde \bar{X} é o vetor coluna das médias dos elementos dos x_{it} -vetores para todas as observações no conjunto de dados. Com o problema de programação linear resolvido, tem-se o

vetor β^* definido, rescreve-se o produto observado da firma (município) i , na região j no ano t , pela seguinte decomposição:

$$y_{it}^j = \exp(-u_{it}^j) \times \frac{f(X_{it}^j, \beta^j)}{f(X_{it}^j, \beta^*)} \times f(X_{it}^j, \beta^*) \exp(v_{it}^j) \quad (22)$$

$$MTR_{it}^j = \frac{f(X_{it}^j, \beta^j)}{f(X_{it}^j, \beta^*)}, \text{ onde } 0 \leq MTR_{it}^j \leq 1 \quad (23)$$

O primeiro termo do lado direito da equação (22) representa a eficiência técnica (ET) relativa à fronteira estocástica da j -ésima região. O segundo termo é nomeado de razão de meta-tecnologia (MTR), que representa a diferença entre a tecnologia disponível para a região j , relativa à melhor tecnologia disponível para a indústria como um todo, e exposta na equação (23). A eficiência técnica relativa à meta-fronteira estocástica é definida de uma forma análoga a equação (24):

$$ET_{it}^{*j} = \frac{y_{it}^j}{f(X_{it}^j, \beta^*) \exp(v_{it}^j)} = TE_{it}^j \times MRT_{it}^j \quad (24)$$

3.3 Base de dados

Os dados utilizados nos dois modelos baseiam-se nos censos agropecuários do IBGE de 1975 a 2006, além do sistema de contas regionais, também disponibilizadas pela plataforma do Ipeadata, em uma série temporal de 1975, 1985, 1995/1996 e 2006. Os municípios não existentes nos períodos do censo, ou que possuam informações omitidas para alguma variável em algum dos anos de análises, foram excluídos da amostra, de forma a manter os dados em painel balanceado.

A amostra inicial para o primeiro modelo foi de 5570 municípios. Destes, apenas 3771, sendo municípios pertencentes 1318 à região Nordeste, 1304 à região Sudeste, 709 à região Sul e 246 à região Centro-Oeste. Pela qualidade dos resultados apresentados pelas fronteiras estimadas para região Norte, optou-se por eliminar seus municípios. As estimações¹⁴ apresentaram indicativos de não haver ineficiência ou que o modelo estava má-especificado, já que os resultados indicavam que o termo do erro estava a violar a hipótese de normalidade de

¹⁴ As estimações encontram-se disponíveis com o autor e está disponível para consulta.

sua distribuição. Desta maneira, eliminou-se o possível viés que esta fronteira poderia exercer na estimação da meta-fronteira de produção da agropecuária brasileira.

Já a amostra inicial do segundo modelo era 1.989 informações municipais que compõem a área de atuação da Sudene. Dentre elas, a amostra final contabilizou 1.268 municípios que continuaram nesta análise, sendo 740 pertencentes ao semiárido e 528 ao não semiárido.

A variável escolhida para representar o produto foi o PIB agrícola municipal, disponibilizado pelo Ipeadata e deflacionado a preços de 2000 pelo deflator implícito do PIB. Para a mensuração dos fatores de produção terra, trabalho e despesas com insumos, a coleta de dados dependeu exclusivamente dos dados disponibilizados pelos censos agropecuários. O fator terra foi considerado como a área total das terras plantadas com lavouras permanentes e temporárias.

Para medir a força de trabalho, optou-se por utilizar os dados referentes ao pessoal ocupado na agropecuária, que inclui tanto proprietários, quanto trabalhadores contratados. Já as despesas com insumos foram retiradas das despesas declaradas em fertilizantes, defensivos, sementes, mudas, energia, dentre outros. Estes valores estão deflacionados pelo deflator implícito do PIB nacional. Para a variável “estoque de capital”, utilizou-se o valor dos bens dos agricultores, disponibilizados pelo censo agropecuário, incluindo as construções rurais, máquinas e equipamentos.

Contudo, essa variável não foi disponibilizada no censo agropecuário de 1995/1996, o que obrigou a utilização de uma *proxy* para este período em especial, tal como proposto por Bragagnolo (2012). O método consistiu de partir dos dados disponíveis em 1985, dos quais se acumularam os valores dos investimentos anuais até 1995, aplicando ainda uma depreciação de 6%, de acordo com os valores apresentados em Gasques *et al.* (2012). Esta variável foi deflacionada em reais (R\$) de 2000 pelo deflator implícito da formação bruta de capital, disponibilizado pelo Ipeadata¹⁵.

3.4 Especificação do modelo empírico

Para o cálculo da meta-fronteira de produção, deve-se primeiramente estimar de fronteiras regionais por fronteira estocástica. Utiliza-se o método proposto por Aigner, Lovell e Schmidt (1977) e Meeusen e Broeck (1977) de fronteira estocástica de produção, o qual foi

¹⁵ Ver: <www.ipeadata.gov.br>.

aprimorado por Pitt e Lee (1981) e Schimidt e Sickles (1984), permitindo, dessa maneira, a modelagem de dados em painel, que incorporou o componente de ineficiência técnica de produção, junto às contribuições relativas a Battese e Coelli (1992; 1995).

Nesse sentido, inicialmente definiu-se a forma funcional da fronteira estocástica de produção. Existem diferentes formas funcionais que dão origem a diferentes modelagens econométricas na análise de fronteiras estocásticas. As formas funcionais mais comuns na literatura são a Cobb-Douglas (CD) e a Translog (TL). Good, Nadiri e Roller (1993) e Ahmad e Barvo-Ureta (1997) argumentam que a mensuração da ET é robusta para ambas as formas funcionais.

Dessa forma, utilizar-se-á a forma funcional CD. A escolha realizada deu-se pelos desafios inerentes à estimação de fronteiras regionais com os mesmos fatores de produção, pois as diversas formas funcionais testadas tinham indícios de má especificação para pelo menos uma das fronteiras estimadas nos dois modelos. Sendo assim, optou-se por uma abordagem mais simples, ainda assim robusta. As fronteiras produção estocástica são especificadas da seguinte forma:

Modelo 1:

$$\ln Y_{it}^j = \beta_1 + \beta_2 \ln L_{it}^j + \beta_3 \ln T_{it}^j + \beta_4 \ln K_{it}^j + \beta_5 \ln I_{it}^j + v_{it}^j - u_{it}^j \quad (25)$$

Modelo 2:

$$\ln Y_{it}^j = \beta_1 + \beta_2 \ln L_{it}^j + \beta_3 \ln T_{it}^j + \beta_4 \ln K_{it}^j + \beta_5 \ln I_{it}^j + \beta_6 t^j + v_{it}^j - u_{it}^j \quad (26)$$

Onde: Y_{it} = produto agropecuário do município i no período t , da região j ; L_{it} = fator de produção terra do município i no período t da região j ; T_{it} = trabalho por município i no período t da região j ; K_{it} = estoque de capital por município i no período t da região j ; I_{it} = despesas com insumos por município i no período t da região j ; t = tendência linear da região j ; v_{it} = distúrbios aleatórios da função de produção que por hipótese $iid \sim N(0, \sigma^2)$; u_{it} = ineficiência técnica da produção que por hipótese pode assumir que $iid \sim HN(0, \sigma^2)$ ou $u_{it} \sim iid N^+(\mu, \sigma_v^2)$.

Percebe-se que o Modelo 1 é mais simples, já que não possui a variável tendência linear. Essa escolha deu-se pelos desafios de se trabalhar com múltiplas fronteiras regionais, já que algumas delas apresentaram problemas de má-especificação, ou de convergência (se $\gamma = 0$, ou $\gamma = 1$).

A estimação dos parâmetros das equações (25) e (26) são feitas pelo método da máxima verossimilhança, permitindo o cálculo das magnitudes das eficiências técnicas para cada um dos municípios da amostra e, conseqüentemente, possibilitando a estimação das fronteiras regionais quanto à fronteira agrupada.

3.5 Testes Realizados

Nesta subseção, apresentar-se-á, detalhadamente, todos os testes de hipóteses realizados na presente pesquisa. Estes testes são importantes para uma melhor especificação das funções de produção utilizadas para responder as questões levantadas pela presente dissertação.

3.5.1 Teste da forma funcional

Estimou-se a função de produção Cobb-Douglas e, em seguida, na forma Translog, no intuito de se comparar as duas pelo teste de funcionalidade, de modo a saber a melhor especificação a ser utilizada. A forma funcional Cobb-Douglas é comumente utilizada nos modelos de estimação de fronteira. No entanto, é um modelo simples associado a um número de propriedades restritas, sendo a principal delas a elasticidade e retorno de escala constante. (COELLI; RAO; BATTESE, 2005).

Assim sendo, foi utilizado o teste da forma funcional, o qual estima ambas as formas, Cobb-Douglas e Translog, e testa a hipótese nula onde a Cobb-Douglas é a forma adequada para representação dos dados, dadas as especificações da Translog. Utilizou-se o teste de máxima verossimilhança – *likelihood-ratio test* (LR) – e a tabela de Kodde e Palm (1986) para comparação dos valores críticos dos resultados, dados os graus de liberdade.

O teste se dá da seguinte forma: após a obtenção dos dois modelos, e seus respectivos valores de log-verossimilhança (*LL*), considera-se o valor da estatística da verossimilhança generalizada (*LR*) forma funcional. Em seguida, aplica-se o teste de hipótese. Assim, a razão de verossimilhança generalizada é dada por:

$$\begin{aligned}
 H_0 &: LL \text{ Cobb – Douglas} \\
 H_1 &: LL \text{ Translog} \\
 LR &= -2 [\ln LL H_0 - \ln LL H_1] \sim \chi^2 \\
 LR &> T_{KP} \text{ (tabela de Kodde e Palm, 1986) rejeita-se } H_0.
 \end{aligned}$$

Além deste teste apresentado entre a Cobb-Douglas e Translog, no intuito de se buscar um modelo ideal para representação dos dados, foram conduzidos outros testes de

formas funcionais, os quais variaram a magnitude do γ . No entanto, alguns modelos não convergiram para ambas as regiões, não sendo possíveis, assim, comparações entre os modelos. Daí a opção da forma funcional Cobb-Douglas.

3.5.2 Efeito da ineficiência técnica na função de produção

Testa-se a inexistência da ineficiência técnica, ou seja, se de fato o modelo capta a ineficiência da firma. Neste caso, toma-se o valor da log-verossimilhança do modelo estimado sem esta variável. Pelo método de mínimos quadrados ordinários, aplica-se novamente o teste de verossimilhança generalizada, comparando-se ao valor crítico da tabela de Kodde e Palm (1986). Os graus de liberdade aqui são correspondentes às variáveis definidas pela função de produção, definida anteriormente. Então, tem-se:

H_0 : Modelo de mínimos quadrados ordinários (inexistência de ineficiência técnica, $\gamma = 0$)

H_1 : Hipótese alternativa: a ineficiência técnica deve ser considerada no modelo, $\gamma \neq 0$.

$LR = -2 [\ln LL H_0 - \ln LL H_1] \sim \chi^2$

$LR > T KP$ (tabela de Kodde e Palm, 1986) rejeita-se H_0

3.5.3 Distribuição do Termo da Ineficiência

Este teste é utilizado para indicar qual a distribuição do termo da eficiência é a mais indicada para o modelo. Primeiro, estima-se uma fronteira estocástica com o termo do erro com distribuição *half-normal* e, em seguida, com *distribuição truncada normal*, confrontando-as pelo teste de máxima verossimilhança:

$H_0: LL u_{it} \sim iidHN(0, \sigma_v^2)$

$H_1: LL u_{it} \sim iidN^+(\mu, \sigma_v^2)$

$LR = -2 [\ln LL H_0 - \ln LL H_1] \sim \chi^2$

$LR > T KP$ (tabela de Kodde e Palm, 1986) rejeita-se H_0

3.5.4 Ausência de progresso técnico

Neste teste, considera-se que os coeficientes correspondentes às variáveis relacionadas ao tempo na função Cobb-Douglas são iguais a zero ou não, ou seja, testa-se a hipótese de β_6 da equação (22), ser igual a zero. Dessa forma, tem-se:

$$\begin{aligned}
H_0: LL \beta_6 &= 0 \\
H_1: LL \beta_6 &\neq 0 \\
LR &= -2 [\ln LL H_0 - \ln LL H_1] \sim \chi^2 \\
LR &> T KP \text{ (tabela de Kodde e Palm, 1986) rejeita-se } H_0
\end{aligned}$$

Caso rejeite-se a hipótese nula, testar-se-á se as eficiências individuais são tempo invariante, de maneira a identificar a possibilidade de decompor a mudança técnica em progresso técnico e efeito tempo observado nas eficiências individuais das unidades produtivas, que chamaremos aqui de Efeito Tempo. O teste é realizado da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
H_0: LL \text{ Tempo Invariante} \\
H_1: LL \text{ Tempo Variante} \\
LR &= -2 [\ln LL H_0 - \ln LL H_1] \sim \chi^2 \\
LR &> T KP \text{ (tabela de Kodde e Palm, 1986) rejeita-se } H_0
\end{aligned}$$

3.5.5 Existência de duas fronteiras regionais

Para testar a hipótese de que as duas regiões podem ser representadas pela mesma fronteira de produção estocástica, utiliza-se o teste da razão de verossimilhança generalizada (LR). Então, tem-se:

$$\begin{aligned}
H_0: LL \text{ da fronteira agrupada} \\
H_1: LL \text{ é a soma dos valores de } LL \text{ das fronteiras regionais referente às demais regiões} \\
LR &= -2 [\ln LL H_0 - \ln LL H_1] \sim \chi^2 \\
LR &> T KP \text{ (tabela de Kodde e Palm, 1986) rejeita-se } H_0
\end{aligned}$$

Se a hipótese nula for rejeitada, a fronteira de produção agrupada é rejeitada e se aceita a hipótese alternativa de existência de fronteiras regionais distintas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados encontrados, bem como as principais discussões pertinentes à pesquisa proposta. A primeira seção apresenta todos os resultados encontrados para o modelo especificado para as quatro regiões do Brasil: Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste, de forma a confrontar a hipótese de diferenciação tecnológica entre elas e todas suas implicações existentes a partir desse resultado. A segunda seção expõe os resultados encontrados para a modelagem considerando a diferenciação regional do setor agropecuário do Nordeste, proposta para este estudo: Nordeste Semiárido e Nordeste não-semiárido.

4.1 Modelo 1

Esta seção expõe os resultados encontrados a partir do modelo de meta-fronteira que considera apenas as grandes regiões brasileiras: Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste. Divide-se essa análise em 4 subseções. A primeira subseção contempla a análise das estatísticas descritivas. Já a segunda, trata de apresentar os testes de hipóteses para especificação das fronteiras, como da existência ou não de fronteiras regionais. Na terceira, encontra-se o primeiro estágio da estimação da meta-fronteira, que é constituído pela estimação das quatro fronteiras regionais a partir da abordagem da fronteira estocástica, bem como seus resultados. Por fim, tem-se o segundo estágio, no qual se estima a meta-fronteira de produção por técnicas de programação linear, analisando os seus resultados.

4.1.1 Estatísticas descritivas

As estatísticas descritivas usadas para o primeiro modelo estão expostas na Tabela 6. Os valores apresentados indicam uma forte heterogeneidade municipal dentro das próprias regiões, dado os valores do desvio padrão, máximos e mínimos. Numa análise inter-regional, os valores observados nas médias, nos desvios padrões e nos valores de máximo e mínimo, quando comparado entre as regiões Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste, podem implicar que essas diferentes combinações podem ocasionar diferenças no uso dos fatores de produção pode impactar nas eficiências dos municípios na produção agrícola.

O produto agrícola (Y) médio é superior no Sul e a menor média é encontrada no

Nordeste. O menor desvio padrão é encontrado no Nordeste, o que indica uma menor heterogeneidade entre esses municípios, quando comparado com as demais regiões. Esse padrão se repete em todos os fatores de produção sendo o Nordeste a região que menos consome os fatores de produção Capital (K) e Insumos (I) em média do que as outras regiões.

O Centro-Oeste chama a atenção, pois possui um nível de capital médio sete vezes maior do que na região Nordeste e a diferenciação entre as duas regiões com relação às despesas com insumos é quase cinco vezes superior, em média. Essa afirmação indica que o quantitativo de maquinário, veículos, construção, gastos com energia elétrica e serviços veterinários, mostra o quão o Centro-Oeste é intensivo em capital e em insumos modernos. Em contrapartida, a Região Nordeste é a que mais consome em média Trabalho (T) das quatro regiões.

Tabela 6 – Estatísticas descritiva.

Variáveis	Região	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
<i>Y</i> (R\$ milhares)	Nordeste	9620,00	13650,45	29,20	360223,90
	Sudeste	18244,00	25449,46	4,00	333882,00
	Sul	26625,80	32140,87	13,10	886391,60
	Centro-Oeste	21295,30	23449,54	175,90	161439,90
<i>L</i> (hectare)	Nordeste	8210,30	11557,34	0,20	371163,00
	Sudeste	8173,97	11985,64	0,48	38922,00
	Sul	16680,52	19239,66	2,02	175557,60
	Centro-Oeste	16687,10	27340,31	21,50	241444,00
<i>T</i> (pessoas ocupadas)	Nordeste	5992,00	5643,23	17,00	67187,00
	Sudeste	2742,50	3042,22	11,00	38922,00
	Sul	4898,00	4696,66	26,00	45525,00
	Centro-Oeste	3198,00	3269,37	43,00	45220,00
<i>K</i> (R\$ milhares)	Nordeste	137349,00	338378,60	287,00	9905797,00
	Sudeste	411073,00	552273,80	645,00	7289329,00
	Sul	498568,00	668755,50	1353,00	8626441,00
	Centro-Oeste	777183,00	1003298,00	4467,00	7722201,00
<i>I</i> (R\$ milhares)	Nordeste	5337,20	21925,01	0,10	869670,80
	Sudeste	15395,70	37909,84	41,90	1049781,20
	Sul	19352,80	26299,43	36,90	348314,60
	Centro-Oeste	24340,10	51357,75	153,80	869296,50

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

Destaca-se que essa diferenciação existe em todos os anos compreendidos pela série histórica utilizada na presente dissertação. Quando analisadas separadamente, as estatísticas

descritivas repetem-se a diferenciação regional apresentada pela Tabela 6, que pode ser conferida nos Anexos do presente estudo.

4.1.2 Testes de hipóteses

Seguindo a metodologia utilizada por Araújo, Feitosa e Silva (2014), realizou-se diversos testes de hipóteses para a melhor especificação possível para o presente Modelo, de maneira a garantir a consistência das fronteiras apresentadas. Um ponto que deve ser ressaltado é que nem todos os testes apresentados no capítulo anterior foram possíveis de serem realizados para o presente modelo. Os testes referentes à forma funcional e ao progresso técnico não foram procedidos, dado que para pelo menos uma das fronteiras estocásticas houve problema de convergência, seja pela forma funcional translog, ou pelo acréscimo da variável de tendência linear.

A partir da escolha da forma funcional, testou-se a hipótese de que o modelo proposto não capte o termo da ineficiência ($\gamma = 0$). Neste caso, não seria correta a utilização do Modelo de Fronteira Estocástica. Caso não se rejeite essa hipótese, o método mais adequado seria o método de Mínimos Quadrados Ordinários (OLS). A partir dos valores de log-máximo verossimilhança, λ , das estimações e seus resultados que estão expostos na Tabela 7. Os resultados indicam que para as quatro fronteiras regionais, quanto para a fronteira agrupada, os valores de λ superam seus respectivos valores críticos e significância de 5% na tabela de Kodde e Palm (1986). Assim, rejeita-se a hipótese nula de inexistência de ineficiência técnica no modelo.

Em seguida, testou-se qual a distribuição de probabilidade mais adequada para a o termo do erro que representa a ineficiência. Confrontou-se aqui a fronteira estimada com o termo de ineficiência com distribuição Half-Normal, com outra estimada com distribuição Truncada Normal, salientando que foi feito tal procedimento para todas as cinco fronteiras estocásticas. Para todas as fronteiras estimadas, a distribuição que mais se adequou foi a distribuição Truncada Normal. Essa constatação é importante, pois as fronteiras estimadas com o termo de ineficiência com distribuição Half-Normal são mais suscetíveis a problema de má especificação, como apontam Liu, Laporte e Ferguson (2008).

Por último, realizou-se o teste para validar a hipótese apresentada no presente estudo, a existência de diferenciação entre as possibilidades produtivas entre as diversas regiões do Brasil e que elas impactam eficiência técnica dos municípios que se situam, nas diferentes regiões. O resultado rejeita a hipótese de que há uma fronteira única para o Brasil, validando a

existência de fronteiras estocásticas regionais. Assim, pode-se utilizar o quadro teórico da fronteira de produção, a fim de comparar o desempenho das eficiências estimadas para as regiões Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste.

Tabela 7 – Prova de razão verossimilhança dos parâmetros das fronteiras de produção.

Prova	Região	Hipótese Nula	Graus de liberdade	Valor de λ	Valor Crítico	Decisão (valor de 5%)
Existência de ineficiência técnica	Fronteira agrupada	$H_0: \gamma = 0$	1,00	390,5	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira Nordeste	$H_0: \gamma = 0$	1,00	219,1	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira Sudeste	$H_0: \gamma = 0$	1,00	229,3	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira Sul	$H_0: \gamma = 0$	1,00	78,6	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira Centro-Oeste	$H_0: \gamma = 0$	1,00	31,3	2,7	Rejeita H_0
Distribuição do Termo da Ineficiência	Fronteira agrupada	H_0 : Half-Normal	1,00	14,3	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira Nordeste	H_0 : Half-Normal	1,00	32,8	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira Sudeste	H_0 : Half-Normal	1,00	11,8	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira Sul	H_0 : Half-Normal	1,00	4,6	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira Centro-Oeste	H_0 : Half-Normal	1,00	2,9	2,7	Rejeita H_0
Existência de duas fronteiras regionais	Não se aplica	H_0 : Fronteira agrupada	18,00	840,9	28,268	Rejeita H_0

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

4.1.3 Estimação das fronteiras de produção

A primeira etapa da para a construção da meta-fronteira de produção é a estimação das fronteiras estocásticas regionais. Para estimação dos parâmetros das fronteiras de produção, utilizou-se o *software* estatístico *R-Project*, especificamente o pacote *frontier*. As estimações estão expostas na Tabela 8. Todos os parâmetros das cinco fronteiras estocásticas foram significativos e positivos, sem nenhum sinal contrário ao que esperado. Dessa forma, todos os fatores de produção influenciam positivamente na produção agrícola. Assim, pode-se inferir que políticas públicas que proporcionem investimentos e compras de equipamentos, como tratores agrícolas, melhoria de acesso a insumos modernos, como fertilizantes, sementes melhoradas, aos estabelecimentos, bem com a melhora dos níveis de educação da população rural são fundamentais ao estímulo da produção agropecuária no Brasil. Nota-se que cada fronteira possui características próprias no seu processo produtivo, refletindo a heterogeneidade da produção agrícola brasileira.

Tabela 8 – Fronteiras estocásticas estimadas – Modelo 1

Variáveis	Parâmetros	NE	SE	S	CO	BR
(intercepto)	β_1	1,11*** (0,1)	0,28*** (0,1)	0,78*** (0,11)	0,17*** (0,19)	0,23*** (0,05)
L_{it}	β_2	0,05*** (0,01)	0,07*** (0,01)	0,1*** (0,01)	0,04*** (0,01)	0,06*** (0,0)
T_{it}	β_3	0,39*** (0,01)	0,32*** (0,01)	0,43*** (0,01)	0,32*** (0,02)	0,33*** (0,0)
K_{it}	β_4	0,18*** (0,01)	0,31*** (0,01)	0,21*** (0,01)	0,36*** (0,02)	0,26*** (0,0)
I_{it}	β_5	0,30*** (0,01)	0,33*** (0,01)	0,21*** (0,01)	0,20*** (0,02)	0,32*** (0,02)
	Γ	0,20*** (0,02)	0,47*** (0,02)	0,35*** (0,09)	0,58*** (0,10)	0,56*** (0,10)
	σ_u^2	0,06*** (0,0)	0,25*** (0,06)	0,1*** (0,06)	0,3*** (0,11)	0,33*** (0,11)
	σ_v^2	0,25*** (0,0)	0,28*** (0,01)	0,18*** (0,01)	0,21*** (0,0)	0,25*** (0,0)
	ET média	0,62	0,84	0,9	0,83	0,68
	Log-verossimilhança	-4121,9	-4316,4	-1707,0	-700,68	-11279,45

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

Onde: $\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_v^2 + \sigma_u^2}$.

*A codificação para a significância dos coeficientes estimados:

‘***’ significante a um nível de 5%.

O fator de produção terra é o fator que menos impacta nas cinco fronteiras de produção. Sendo mais importante para a região Sul e com menor representatividade na região Centro-Oeste. Nota-se que este padrão está relacionado com o desenvolvimento atual da agricultura brasileira. Como observam Gasques *et al.* (2014), o Brasil apresenta um intenso processo de redução de uso de área e da mão de obra, e aumento progressivo no uso de insumos como máquinas e fertilizantes. Essa tendência também é observada por Vieira Filho (2016), com a intensificação do uso intensivo de tecnologias de maneira a reduzir a utilização de recursos escassos, resultando num efeito *poupa-terra* de cerca de 171 milhões de hectares no período entre 1985-2006.

O fator trabalho tem mais impacto na fronteira estimada para o Sul, seguida pelo Nordeste (sendo o fator mais importante para as duas regiões), sendo no Sudeste e Centro-Oeste as regiões onde o fator menos impacta. Assim como a área cultivada, Gasques *et al.* (2014) observaram que o trabalho tende a ser substituído por insumos modernos e capital, no entanto,

na região Sul e Nordeste possuem um perfil de setor agrícola distinto das demais regiões, com predominância da Agricultura Familiar.

A agricultura familiar possui importância fundamental para o setor em ambas regiões como apresenta Conterato *et al.* (2014) e nesta organização produtiva o trabalho familiar tem importância fundamental. No entanto, as características dos produtores rurais são distintas entre as duas regiões, seja pelo nível de educação mais elevado dos agricultores donos de estabelecimentos na região Sul, quando comparados com os da região Nordeste (Gráfico 1), até o grau de inserção nos mercados consumidores, como apresenta Conterato *et al.* (2014).

Essa constatação vai ao encontro da interpretação proposta por Fornazier e Vieira Filho (2012) e Vieira Filho (2013), ao perceberem que a heterogeneidade estrutural da agricultura brasileira perpassa a dicotomia agricultura patronal e agricultura familiar. Os autores indicaram o convívio de agricultores familiares modernos e produtivos, com agricultores familiares pouco produtivos e pobres com práticas agrícolas rudimentares e voltadas, basicamente, para a subsistência.

Já o fator de produção Capital é mais importante para a região Centro-Oeste e Sudeste. A partir do capital é que, segundo Souza *et al.* (2013), situa-se o principal fator que explica o crescimento da Produção agrícola, capitaneada principalmente pela região Centro-Oeste. Pode-se explicar este comportamento a partir da relação de substituição existente da área e de mão-de-obra por capital (K) e insumos modernos (I), apontada por Gasgues *et al.* (2014). Isto explica a menor importância do fator capital para fronteira de produção do Nordeste, onde a importância do fator trabalho é preponderante. Hoffmann (1992) compartilha dessa perspectiva, já que na estrutura produtiva do Nordeste persiste a agricultura de subsistência de baixa produtividade e a pobreza rural.

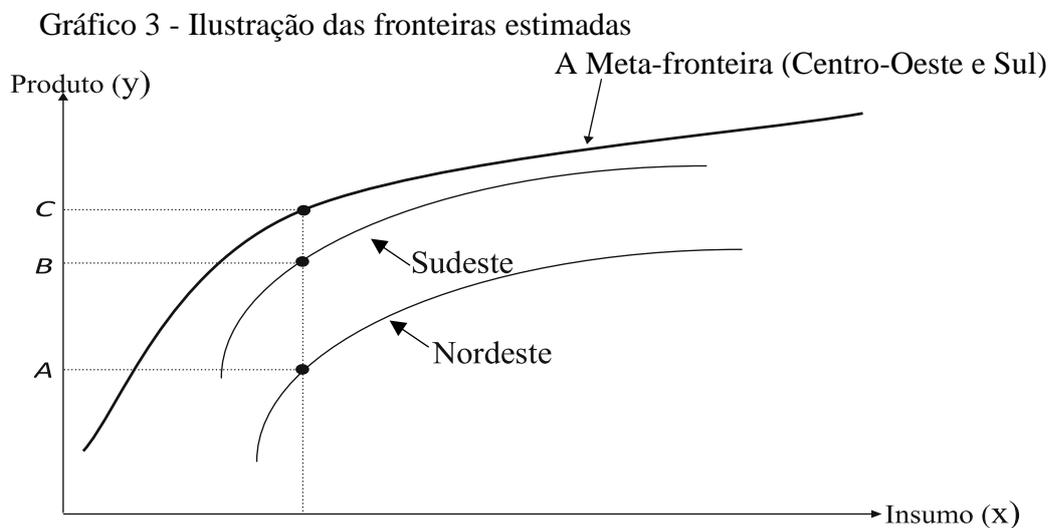
A variável explicativa referente a insumos (I) influencia positivamente o produto agropecuário em todas as fronteiras, principalmente nas regiões Sudeste e Nordeste onde esse fator é mais representativo. Dessa forma, um aumento de 1% no uso desse fator implicará um aumento de produção de 0,3% no Nordeste, 0,33% no Sudeste, de 0,21% para região Sul e 0,20% para região Centro-Oeste.

A *eficiência técnica* média varia enormemente entre as fronteiras regionais estimadas. A Região Nordeste apresenta ET média de 62%, o Sudeste e o Centro-Oeste possuem respectivamente escores médios de eficiência de 84% e 83%, enquanto a Região Sul apresenta o maior dos escores de ET estimados, no valor de 90%. A diferenciação apresentada até aqui não implica que os municípios, por exemplo, da região Nordeste possuem desempenhos piores que os apresentados pela região Sul. Uma análise nesse sentido é errônea, pois a

comparação de fronteiras regionais distintas só terá sentido se elas não compartilharem da mesma tecnologia de produção, representada pela meta-fronteira de produção. No entanto, se as duas regiões comungam da mesma tecnologia, deve-se usar o resultado dos municípios agrupados do Brasil. Já que essa hipótese foi rejeitada, pode-se proceder a análise de meta-fronteira de produção que será apresentada na seção seguinte.

4.1.4 Análise das eficiências técnicas e razão de meta-fronteira

Para a estimação dos parâmetros da meta-fronteira tecnológica foi resolvido o problema de programação linear apresentado, utilizando o *software* estatístico *Shazam*. Os parâmetros encontrados para a meta-fronteira foram construídos a partir dos parâmetros correspondentes à região Sul e Centro-Oeste, implicando que a tecnologia de produção agropecuária praticada nos municípios situados nas duas regiões é de fronteira, quando comparados com os demais analisados. Esse resultado indica que todo o potencial tecnológico existente nos municípios do Brasil é definido nestas duas regiões. Essa relação pode ser exemplificada no Gráfico 3.



A consequência direta de ser ou não a meta-fronteira reside no fato dos municípios situados nas regiões Sul e Centro-Oeste possuem a Razão de Meta-Tecnologia (MRT), definida pela equação (23) igual a 1. A consequência desta afirmação encontra-se no fato de que a Região Sul e Centro-Oeste exaure as possibilidades tecnológicas existentes para o Brasil. Conseqüentemente, como se pode observar na Tabela 9, a MRT das demais regiões aponta o

quanto as fronteiras do Sudeste e Nordeste estão abaixo das regiões definidas como meta-fronteira (a meta-distância). Esse resultado já era esperado, já que os ganhos de produtividade das regiões Sul e Centro-Oeste vinham se destacando, como aponta Vicente (2004).

A MRT média dos municípios da região Sudeste encontra-se entorno 68,9%, com desvio padrão de 3,26%. A partir desse resultado, pode-se concluir que os municípios situados nessa região produzem no máximo 68,9%, com desvio-padrão de 3,26% para mais ou para menos, do máximo que pode ser produzido nas regiões definidas como meta-fronteira. Esperava-se que a MRT do Sudeste seria inferior das regiões Sul e Centro-Oeste, no entanto, a diferenciação foi muito maior do que se esperava, já que a região intensificou a utilização de novas tecnologias na sua agropecuária, como aponta Hoffman (1992). Este comportamento deve ser explicado pelo contínuo desenvolvimento e difusão de novas tecnologias que estão ocorrendo na Região Centro-Oeste, a exemplo do Mato Grosso, como aponta Libera (2016).

Já na região Nordeste a situação é discrepante em termos de ineficiência técnica, apontando a forte heterogeneidade tecnológica existente na agropecuária brasileira. A MTR média dos municípios da região Nordeste é de 25,11%, com um desvio-padrão de 1,9%. Assim, os municípios nordestinos produzem no máximo 25,11%, variando 1,9% para mais ou para menos, que pode ser produzido nas regiões Sul e Centro-Oeste. Hoffmann (1992), Vicente (2004) e Barbieri *et al.* (2010) apontam que o Nordeste do Brasil passou a margem do processo de modernização da agropecuária do Brasil, que corroboram com esse resultado.

Quando se compara apenas as eficiências técnicas (ET) regionais, percebe-se há pouca diferenciação entre as regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste, com a região Nordeste com escore médio ET bastante inferior. No entanto, essa comparação é errônea, deve-se ter uma referência, que no caso do presente estudo será a meta-fronteira de produção.

Tabela 9 – Estatística descritiva e distribuição de frequência das EF (%) e MRT (%) estimadas. Sudeste e Centro-Oeste

Estatísticas	<i>ET*_{Centro-Oeste}</i>			
	<i>ET_{sudeste}</i>	<i>MRT_{sudeste}</i>	<i>ET*_{sudeste}</i>	<i>= ET_{Centro-Oeste}</i>
Média	84,26	68,9	58,06	82,81
Desvio padrão	7,24	3,26	5,73	9,06
Mínimo	34,23	60,05	22,45	42,70
Máximo	95,7	77,56	70,62	94,26
Níveis				
<60%	1,76	61,58	61,73	4,07
60%-70%	3,45	38,42	38,19	4,47
70%-80%	12,81	0,00	0,08	16,26
80%-90%	66,72	0,00	0,00	59,76
90%-100%	15,26	0,00	0,00	15,45
Nordeste e Sul				
Estatísticas	<i>ET*_{Sul=ET_{Sul}}</i>			
	<i>ET_{nordeste}</i>	<i>MRT_{nordeste}</i>	<i>ET*_{nordeste}</i>	<i>ET*_{Sul=ET_{Sul}}</i>
Média	67,78	25,11	15,7	90,14
Desvio padrão	9,38	1,9	2,63	3,8
Mínimo	31,5	19,36	7,15	54,11
Máximo	93,6	33,35	25,5	97
Níveis				
<60%	41,58	0,1	73,2	0,28
60%-70%	37,18	18,9	22,5	0,28
70%-80%	16,84	74,4	4,2	0,99
80%-90%	4,25	6,6	0,1	38,50
90%-100%	0,15	0,1	0,0	59,94

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

A eficiência técnica com referência à meta-fronteira de produção foi estimada pela equação (24) para todos os municípios e é chamada de eficiência técnica geral (ET*) neste estudo. Por essa equação, os municípios que estão situados na meta-fronteira de produção do Brasil, regiões Sul e Centro-Oeste, possuem sua ET* igual à eficiência técnica calculada sobre a fronteira regional. Todos esses valores também podem ser observados na Tabela 9, a qual expõe os respectivos valores estimados de ET, MRT e ET*.

A ET* indica que os municípios situados na região possuem o maior escore, média de 94,1% e com desvio-padrão de 3,8%, no qual o município menos eficiente possui um escore médio de 54,1% e o mais eficiente de 97%. Outro ponto importante a ser salientado é a homogeneidade da ET*, já que mais de 90% da amostra se situa entre os escores de eficiência entre 80% e 100%. Valores extremamente elevados, principalmente quando comparados com a região Nordeste, que apresenta ET* média de apenas 15,7% e desvio padrão de 2,63, o que aponta uma dispersão ligeiramente inferior que a encontrada na região Sul. Como resultado, há

uma enorme concentração de municípios, 95% do total, entre os escores de ET* entre 0% e 70%.

O Centro-Oeste apresenta um ET* médio de 82,8% tendo como referência a MF no período 1975-2006, com desvio-padrão 9,06%. O município menos ineficiente possui escore de ET* 42,70%, já o mais eficiente com relação MF apresenta um escore de 94,26%. Diferente do que ocorre na região Sul, onde há uma maior concentração entre os níveis definidos na Tabela 9, o Centro-Oeste encontra-se com municípios mais heterogêneos no que tange à eficiência produtiva, que é indicado pelo desvio-padrão. Não obstante, deve-se levar em conta que a maioria dos municípios possui escores que variam de 80%-90%. Já na ET* média do Sudeste de 58,06%, com desvio-padrão 5,73%, a grande maioria dos municípios dessa região apresenta escores inferiores a 60%, no entanto, ainda detém escore médio de ET* mais que o dobro observado no Nordeste.

Com o intuito de observar mais profundamente o comportamento das ET, MRT e ET* dentro das regiões analisadas agrupou-se os municípios com seus respectivos Estados, obtendo os valores das ETs e MRT média por Estado, como exposto na Tabela 10. Quando comparados às MRT, em âmbito estadual, no período de análise, percebe-se uma uniformidade, com pouca variação.

No Nordeste, o Estado mais próximo da meta-fronteira de produção agrícola é Pernambuco, com escore de 26,66%, e o mais distante é o Estado de Sergipe com 24,23%. Na região Sudeste, todos Estados possuem MRT muito mais elevado que os observados na região Nordeste. O estado de São Paulo apresenta maior MRT da região, 70,3%, e o estado do Espírito Santo é o que mais se afasta da Meta-Fronteira de produção na região, com escore de razão de meta-tecnologia de 66,9%.

Em relação ao ET*, o estado com as melhores práticas eficientes com relação à Meta-fronteira são o Rio Grande do Sul (90,51%), seguido por Santa Catarina (90,1%) e Paraná (89,88%). Em seguida destacam-se os estados do Centro-Oeste, liderado por Goiás (83,78%), seguido por Mato Grosso (82,73%) e Mato Grosso do Sul (83,78%). Esse resultado não era esperado, tendo em vista que a região Centro-Oeste inaugurou um novo paradigma tecnológico na agricultura brasileira. (LIBERA, 2016). Nessa perspectiva percebeu-se uma carência de estudos que discutam de maneira conjunta os dois modelos predominantes nas duas regiões. Tem-se na região Sul uma predominância da agricultura familiar, com alto teor tecnológico. (CONTERATO *et al.*, 2014; HOFFMAN, 1992). Já na região Centro-Oeste tem-se a predominância da agricultura patronal, intensiva em capital. (LIBERA, 2016; HOFFMAN, 1992).

Vieira Filho (2016) dá indícios para a explicação deste diferencial de eficiência entre as duas regiões, já que a região Centro-Oeste se depara com desafios inerentes ao escoamento de sua produção, dado ao gargalo de infraestrutura existente no Brasil. Para o autor, a melhoria de portos na região Norte e Nordeste, a integração dos modais ferroviário e rodoviário potencializariam ganhos de produtividade e de eficiência para a região.

Tabela 10 – Amostras sub-regionais das ETs (%) e MRT (%) médias.

Estados	ET	MRT	ET*
Nordeste			
Alagoas	61,40	24,51	15,05
Bahia	65,77	25,07	16,48
Ceará	63,57	25,23	16,04
Maranhão	59,82	24,94	14,92
Paraíba	60,73	25,41	15,43
Pernambuco	73,24	26,66	19,53
Piauí	59,52	25,84	15,38
Rio Grande do Norte	62,19	24,64	15,32
Sergipe	57,85	24,23	14,02
Sudeste			
Espírito Santo	84,90	66,93	56,79
Minas Gerais	84,54	68,89	58,24
São Paulo	84,56	70,31	59,45
Rio de Janeiro	83,77	69,00	57,82
Estados	ET = ET*		
Sul			
Paraná	89,88		
Santa Catarina	90,09		
Rio Grande do Sul	90,51		
Centro-Oeste			
Goiás	83,78		
Mato Grosso do Sul	82,73		
Mato Grosso	77,31		

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

Na região Sudeste o estado mais eficiente é São Paulo (59,44%), sendo aquele com piores práticas o estado do Espírito Santo (56,79%). Na região Nordeste encontra-se as piores práticas para toda a amostra de municípios brasileiros com relação à meta-fronteira. O estado com pior prática de todo Brasil é Sergipe (14,2%) e as melhores práticas dos Estados Nordestinos, estão concentradas em Pernambuco (19,53%), Bahia (16,48%) e Ceará (16,04%). Como apesentou-se no referencial teórico, o Nordeste em si é heterogêneo, havendo uma extensa área semiárida, onde os agricultores deparam-se com um conjunto de possibilidades distintas do não-semiárido. Com este objetivo desenvolveu-se o segundo modelo que será apresentado a seguir.

4.2 Modelo 2

Esta seção expõe os resultados encontrados a partir do modelo de meta-fronteira que considera apenas as regiões definidas como Semiárido e Não-Semiárido do Nordeste brasileiro. Dividiu-se essa análise em 4 subseções. A primeira subseção contempla a análise das estatísticas descritivas das duas regiões. Já a segunda trata de apresentar os testes de hipóteses para especificação das fronteiras, como da existência ou não de fronteiras regionais. Na terceira, encontra-se o primeiro estágio da estimação da meta-fronteira, que é constituído pela estimação das duas fronteiras regionais a partir da abordagem da fronteira estocástica, bem como seus resultados. Por fim, tem-se o segundo estágio, no qual se estima a meta-fronteira de produção por técnicas de programação linear, analisando os seus resultados.

4.2.1 Estatísticas descritivas

As estatísticas descritivas estão expostas na Tabela 11. Conforme os dados, no que tange às médias, aos desvios padrões e às amplitudes, observam-se poucas variações significativas entre as regiões estudadas, o semiárido e os demais municípios. No âmbito interregional, as duas regiões não possuem grandes disparidades.

O produto agrícola do semiárido é, em média, ligeiramente maior do que no não-semiárido. Todavia, apresenta um menor desvio padrão e menor amplitude, representando que os municípios do semiárido são mais homogêneos que os do não-semiárido. No que tange aos fatores de produção, o semiárido consome, em média, ligeiramente mais em todos os insumos.

O não-semiárido gasta, em média, quase a mesma quantidade do fator *capital médio* ligeiramente mais elevado. Isso significa que o semiárido possui um quantitativo superior de maquinaria, veículos e construções. No que se concerne às despesas com insumos, o não-semiárido e o semiárido consomem, em média, a mesma quantidade de energia, de mudas, de serviços veterinários, dentre outros.

Interessante notar que esta tendência de pouca diferenciação continua em todos os períodos estudados na presente análise, como pode ser observado nas estatísticas descritivas, ano a ano, apresentadas nos anexos da presente dissertação. Essa ligeira superioridade deve ser relativizada, já que o quantitativo de municípios existentes no Semiárido brasileiro é bem superior da soma dos municípios pertencentes ao não-semiárido.

Tabela 11 – Estatísticas descritiva.

Variáveis	Região	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Y (R\$ milhares)	Semiárido	10502,35	16075,65	115,3	216760,36
	Não semiárido	10499,70	20090,09	31,00	360200,00
L (hectare)	Semiárido	8305,93	10646,28	60,22	265468,37
	Não semiárido	8302,59	10645,91	1,76	176100,00
T (pessoas ocupadas)	Semiárido	6170,72	5636,13	37,00	39480,00
	Não semiárido	6166,34	5630,59	18,00	67190,00
K (R\$ milhares)	Semiárido	156976,98	389728,99	574,00	9905797,00
	Não semiárido	156972,82	389727,91	285	7813000,00
I (R\$ milhares)	Semiárido	5684,58	16197,33	53,20	22142,65
	Não semiárido	5684,43	22142,65	0,10	869670,00

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

4.2.2 Testes de hipóteses

Após as estimações do Modelo 2 foram realizados os respectivos testes de forma funcional para escolha do melhor modelo, o de ineficiência técnica, o teste de ausência de progresso técnico, como também o de existência de fronteiras regionais. Como discutido, por problemas de convergência, optou-se pela forma funcional Cobb-Douglas, pois mostrou-se a mais adequada para às três fronteiras estimadas, não havendo indícios de má especificação.

Escolhida a forma funcional, realizou-se o teste de ausência de ineficiência técnica ao modelo, caso $\gamma = 0$ (não se deve utilizar o Modelo de Fronteira Estocástica, ou seja, o modelo não capta o efeito ineficiência). Nesse caso, é indicada a utilização do método de mínimos quadrados ordinários. A partir dos respectivos valores de log máxima verossimilhança das estimações de cada fronteira, os valores λ estão dispostos na Tabela 12. Têm-se os resultados do teste para as três fronteiras, que superam seus respectivos valores críticos e significância de 5% na tabela de Kodde e Palm (1986), dados seus graus de liberdade. Portanto, rejeita-se H_0 e se aceita a hipótese H_1 , confirmando a presença de progresso técnico para as três fronteiras apresentadas.

Tabela 12 – Prova de razão verossimilhança dos parâmetros das fronteiras de produção.

Prova	Região	Hipótese Nula	Graus de liberdade	Valor de λ	Valor crítico	Decisão (valor de 5%)
Inexistência de eficiência técnica	Fronteira agrupada	$H_0: \gamma = 0$	1,00	715,75	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira semiárido	$H_0: \gamma = 0$	1,00	430,79	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira não semiárido	$H_0: \gamma = 0$	1,00	229,32	2,7	Rejeita H_0
Distribuição do Termo da Ineficiência	Fronteira agrupada	H_0 : Tempo Invariante	1,00	145,93	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira semiárido	H_0 : Tempo Invariante	1,00	129,07	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira não semiárido	H_0 : Tempo Invariante	1,00	31,623	2,7	Rejeita H_0
Ausência de progresso técnico	Fronteira agrupada	$H_0: \beta_6 = 0$	1,00	178,19	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira semiárido	$H_0: \beta_6 = 0$	1,00	148,07	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira não semiárido	$H_0: \beta_6 = 0$	1,00	25,55	2,7	Rejeita H_0
Efeito Tempo	Fronteira agrupada	H_0 : Tempo Invariante	1,00	225,95	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira semiárido	H_0 : Tempo Invariante	1,00	129,66	2,7	Rejeita H_0
	Fronteira não semiárido	H_0 : Tempo Invariante	1,00	70,1	2,7	Rejeita H_0
Existência de duas fronteiras regionais	Não aplica	se H_0 : Fronteira agrupada	8,00	178,00	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 $\lambda = -2[LL(H_0) - LL(H_1)] \sim \chi^2$, com graus de liberdade iguais ao número de restrições independentes.

Em seguida, testou-se qual a melhor distribuição estatística para o termo da ineficiência. Estimou-se uma fronteira para cada região, uma com distribuição half-normal, enquanto outra com distribuição truncada normal e em seguida confrontando-as pelo LR teste. Os resultados apontaram que a melhor escolha é a utilização da distribuição truncada normal. Dessa forma salvaguarda o modelo dos problemas de má especificação apresentada por Liu,

Laporte e Ferguson (2008), quando se assume a distribuição half-normal para o termo da ineficiência.

Posteriormente, testou-se a ausência de progresso técnico. De acordo com o teste descrito anteriormente, estimou-se o modelo na forma funcional Cobb-Douglas e na forma com ausência de progresso técnico. De acordo com os resultados, rejeitou-se a hipótese nula e aceitou-se a hipótese alternativa, validando o uso do modelo de fronteira estocástica.

Por fim, realizou-se o teste para validar a existência da diferenciação entre as possibilidades produtivas entre as duas regiões ou não. Conforme os resultados foi rejeitada a hipótese nula e aceita a hipótese alternativa, validando que os municípios pertencentes ao semiárido ou ao não-semiárido empregam diferentes tecnologias de produção. Logo, pode-se utilizar o quadro teórico da meta-fronteira de produção, a fim de comparar o desempenho de eficiências entre as diferentes regiões.

4.2.3 Estimação das fronteiras de produção

Os resultados das estimações estão presentes na Tabela 13. Vale salientar que, para todas as fronteiras, foi realizado o teste de hipótese pelo teste razão de verossimilhança generalizada, no intuito de verificar se o termo do erro correspondente à ineficiência seria inexistente. Rejeitou-se a hipótese nula de inexistência da eficiência técnica em todas as fronteiras a um nível de significância de 5%.

Nas três fronteiras estimadas, todos os parâmetros são altamente significativos a um nível de 5%, implicando em uma função de produção bem-comportada, com quase todos os parâmetros com sinais esperados. Chamou atenção o quão foram semelhantes as duas fronteiras regionais, sendo as mesmas variáveis, impactando positivamente na produção agrícola em ambas as regiões. Pode-se concluir que políticas públicas, como o FNE, que proporcionem investimentos e compras de equipamentos, melhoria de acesso a insumos modernos são fundamentais ao estímulo da produção agropecuária Nordestina, que se encontra tão abaixo das possibilidades tecnológicas de fronteira que existe no Brasil, como foi apresentado o Modelo 1.

Tabela 13 – Fronteiras estocásticas estimadas para o modelo 2.

Variáveis	Parâmetros	Nordeste	Não-semiárido	Semiárido
(intercepto)	β_1	1,6*** (0,11)	1,70*** (0,17)	1,46*** (0,14)
L_{it}	β_2	0,15*** (0,01)	0,13*** (0,02)	0,19*** (0,02)
T_{it}	β_3	0,23*** (0,01)	0,28*** (0,02)	0,18*** (0,02)
K_{it}	β_4	0,16*** (0,01)	0,13*** (0,01)	0,19*** (0,01)
I_{it}	β_5	0,3*** (0,01)	0,30*** (0,01)	0,29*** (0,01)
T	β_6	0,11*** (0,01)	0,13*** (0,02)	0,08*** (0,02)
	σ^2	1,28*** (0,08)	1,14*** (0,05)	1,17*** (0,09)
	γ	0,79*** (0,01)	0,73*** (0,03)	0,79*** (0,02)
	Efeito Tempo	-0,46*** (0,03)	-0,44 (0,6)	-0,45 (0,04)
	σ_u^2	1,01*** (0,08)	0,84*** (0,11)	0,93*** (0,1)
	σ_v^2	0,27*** (0,01)	0,30*** (0,01)	0,24*** (0,0)
	ET média	0,67	0,69	0,68
	Log-verossimilhança	-4.546,434	-1.982,29	-2.497,46

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

$$\text{Onde: } \gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_v^2 + \sigma_u^2}$$

*A codificação para a significância dos coeficientes estimados:

‘***’ significante a um nível de 5%;

Os fatores de produção *terra*, *trabalho* e *capital* impactam positivamente no produto agrícola em ambas as fronteiras regionais, como esperado. Existem diferenças regionais na magnitude desses impactos na produção. A influência do fator capital (K) e do fator Terra (L) são superiores no semiárido, o que sinaliza que investimentos em tecnologia, bem como práticas de convivência com o semiárido e suas condições são essenciais para transpor os desafios climáticos e produtivos da região.

O fator *trabalho* impacta positivamente na produção em ambas as fronteiras regionais, apontando o quão importante é o investimento em educação para o Nordeste como um todo, no sentido de potencializar esses ganhos. Esta assertiva é confirmada por Araújo e Santos (2009), que perceberam que o Nordeste necessita de melhoras na educação para alcançar o desempenho nacional, como se apresentou na figura 1.

É perceptível que o fator *capital* influencia positivamente na produção agropecuária e é ligeiramente maior no semiárido, corroborando com os resultados de Gasques (2014). Dessa forma, a modernização do maquinário, que substituiu tratores de menor potência pelo uso de veículos de médio e grande porte, acarretaria ganhos na produção do setor. Daí a importância da política de juros subsidiados proporcionados pelo FNE, com enfoque no semiárido, na ampliação do estoque de capital.

O fator de produção *terra* influencia positivamente a produção em ambas as fronteiras regionais, sendo mais significativa no não-semiárido nordestino. O trabalho de Helfand, Magalhães e Rada (2015) discute a estrutura fundiária do Nordeste. Segundo os autores, os estabelecimentos mais eficientes e produtivos da região Nordeste são as pequenas propriedades. Todavia, 69% das terras estão em propriedade dos estabelecimentos de grande porte, os menos produtivos da região. A incorporação de novas áreas para os produtores mais eficientes e produtivos da região é bastante restrita, podendo caracterizar-se um entrave ao aumento da produtividade/eficiência via aumento da área cultivada desses pequenos produtores eficientes.

As variáveis *despesas com insumos* e a *tendência temporal* possuem uma relação positiva com a produção em ambas as fronteiras regionais. No que tange a *despesas com insumos*, há uma indicação de causalidades perante as condições próprias da região, que tornam estes gastos fundamentais ao processo produtivo, pois as três fronteiras apresentaram a mesma magnitude de impacto, sendo o fator que mais impacta no processo produtivo. Nesse ponto, quanto maiores são os gastos com insumos, maiores seriam o retorno produtivo, ou seja, o uso intensivo de insumo representa aumento de produção.

Salientando que este é o fato de produção que mais impacta na produção, tanto para o semiárido, quanto para o não-semiárido. Isso se dá pela região demandar intensamente adubos, defensivos, gastos com energia e água para manter uma área irrigada, dadas as características próprias da região, principalmente no que tange ao semiárido do Nordeste do Brasil¹⁶. Vicente (2004) aponta como possível causa para o baixo dinamismo da região o caso da infraestrutura ineficiente e o limitado acesso ao crédito na região, inviabilizando a aquisição de insumos modernos, podendo estar aí a importância do FNE, para reversão do presente quadro.

¹⁶ No Nordeste, há o predomínio de solos do tipo litossolos, bruno não cálcicos, lítólicos eutróficos, dentre outros que possuem baixa fertilidade natural, condição que se agrava dada a baixa pluviosidade da região. Nesses tipos de solo, mesmo com investimento em insumos, os retornos em produtividade estão abaixo dos esperados, quando comparados com solos com boa aptidão agrícola.

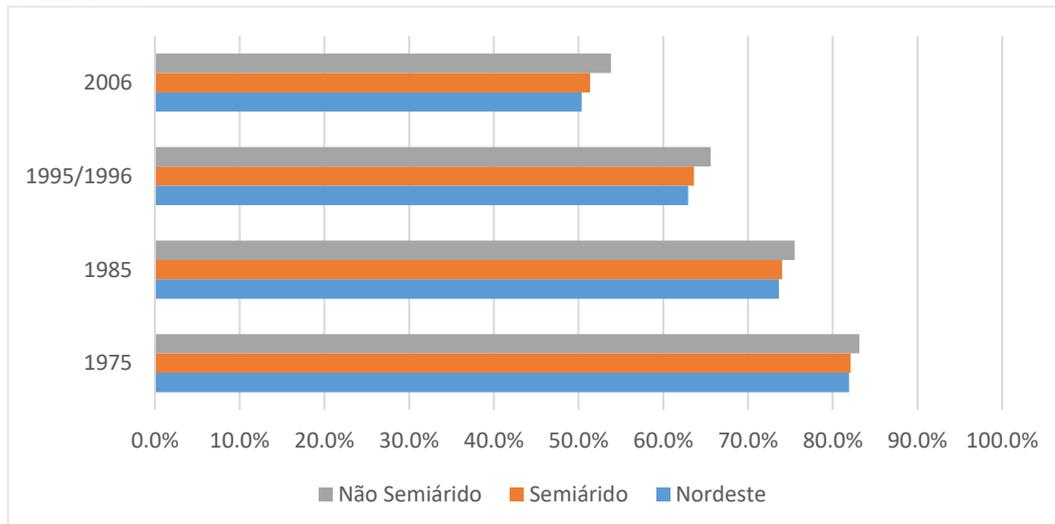
No que consta sobre a mudança técnica, pôde-se dividir esse efeito em dois: a tendência linear, que aponta o progresso técnico e o efeito tempo. A variável *tendência linear* foi significativa para todas as fronteiras e indica um avanço técnico do setor agrícola da região no decorrer da série histórica. Ainda se nota que o progresso técnico foi mais intenso no não-semiárido, quando se comparado ao semiárido. Já o efeito tempo indica que a ET reduziu-se no decorrer do tempo, como se pode observar na Tabela 14 e no Gráfico 4. Este parâmetro indica uma diminuição da dinamicidade do setor agrícola da região no decorrer da série histórica, ou seja, houve aumento da ineficiência no setor agrícola da região, corroborando com os resultados encontrados por Vicente (2004) e Vieira Filho (2013).

Tabela 14 – Evolução da Eficiência Técnica estimada para as regiões Semiárida e Não-Semiárida

Regiões	ET			
	1975	1985	1995/1996	2006
Nordeste	81,9%	73,6%	62,9%	50,4%
Semiárido	82,1%	74,0%	63,6%	51,4%
Não-Semiárido	83,1%	75,5%	65,6%	53,8%

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

Gráfico 4 - Evolução da Eficiência Técnica (ET %) estimada para as regiões Semiárida e Não-Semiárida.



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

Essa tendência indica que o Nordeste brasileiro ficou à margem do processo de modernização agrícola, que tornou a agricultura do país competitiva no cenário internacional como mostra O'Donnell, Rao e Battese (2008) e Gasques (2014), principalmente nas áreas de

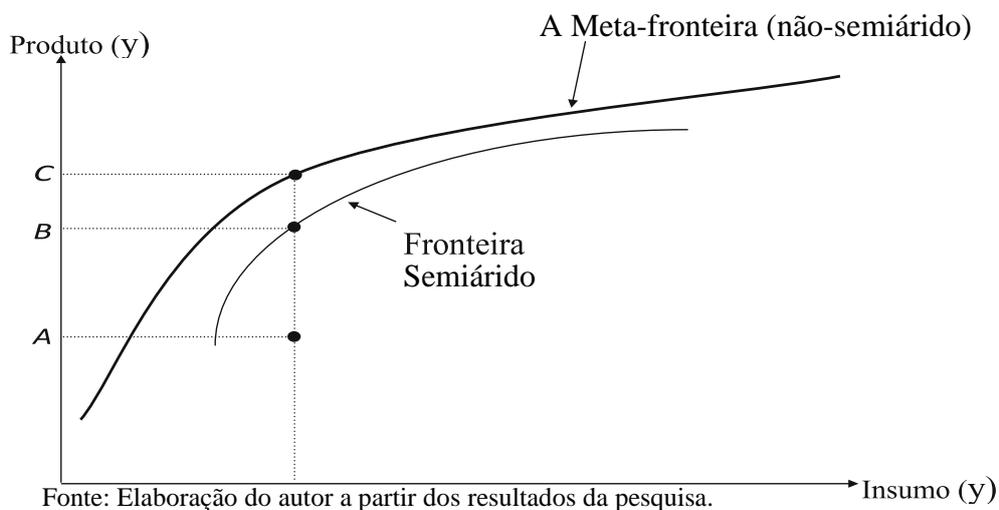
expansão da fronteira agrícola, tornando o Nordeste uma região de baixo dinamismo no setor agrícola, como evidencia a literatura econômica. (VIEIRA FILHO, 2013).

A média da *eficiência técnica* varia entre as fronteiras regionais. O não-semiárido apresenta ET média de 69% e o semiárido possui o escore médio de eficiência de 68%. Esta diferença não implica que os municípios do semiárido possuem desempenhos piores que os do não-semiárido, pois a comparação das duas fronteiras só fará sentido se elas não compartilharem da mesma tecnologia de produção, representada pela meta-fronteira de produção. No entanto, se as duas regiões comungam da mesma tecnologia, deve-se usar o resultado dos municípios agrupados do Nordeste.

4.2.4 Análise das eficiências técnicas e razão de meta-fronteira

Os parâmetros encontrados para a meta-fronteira correspondem aos apresentados na fronteira regional dos municípios situados no não-semiárido, estimada pelo modelo de fronteira estocástica. Este resultado indica que a tecnologia de produção empregada na agropecuária nestes municípios é mais avançada que na região semiárida. O resultado aponta que a região não-semiárida define tecnologia potencial disponível para todos os municípios do Nordeste. Essa relação é representada no Gráfico 5, onde o ponto A ilustra um município qualquer situada nesta região.

Gráfico 5 - Ilustração das fronteiras estimadas para o semiárido e não-semiárido



A razão de meta-tecnologia (MTR), definida na equação (23), é para todos os municípios do não-semiárido igual a 1, pois eles situam-se na meta-fronteira de produção. A

MTR média dos municípios do semiárido é por volta de 74% com um desvio padrão de 4%. Esse resultado indica que, em média, os municípios do semiárido produzem no máximo 74% do que pode ser produzido na região não-semiárida ao utilizar os mesmos fatores de produção e tecnologias disponíveis no não-semiárido, podendo variar 4% para mais ou para menos.

Já a ET referente à meta-fronteira de produção é chamada de ET^* e foi estimada para todos os municípios do semiárido de acordo com a equação (24). Os municípios do não-semiárido, por serem pertencentes à meta-fronteira de produção tem a sua ET^* equivalente à calculada sobre a fronteira regional. A Tabela 15 resume os resultados referentes às eficiências e à MRT.

O semiárido apresenta uma ET^* média de 50,22%, tendo como referência à MF entre 1975 e 2006. O município mais ineficiente da região possui um escore de ET^* de 3,2% (Monteiro - PB), enquanto o município mais eficiente (Petrolina – PE) possui um escore de 83,53%. Já a região não-semiárida tem um escore de ET^* média de 69,52%, superior à outra região de análise, onde a sua amplitude é tão grande quanto a apresentada no semiárido, possuindo valor mínimo de 4,12% e máximo de 98,1%.

Tabela 15 – Estatística descritiva e distribuição de frequência das EF (%) e MTR (%) estimadas.

Estatísticas	$ET_{Semiárido}$	$MTR_{Semiárido}$	$ET^*_{semiárido}$	$ET_{não-semiárido}$
				$= ET^*_{não-semiárido}$
Média	67,78	73,98	50,22	69,52
Desvio padrão	18,25	4,23	14,02	17,46
Mínimo	4,20	59,05	3,20	4,12
Máximo	98,61	91,92	83,53	98,10
Níveis				
<0,6	30,4	0,1	73,2	26,6
0,6-0,7	17,3	18,9	22,5	16,6
0,7-0,8	22,7	74,4	4,2	23,8
0,8-0,9	21,3	6,6	0,1	24,9
0,9-1	8,3	0,1	0,0	8,2

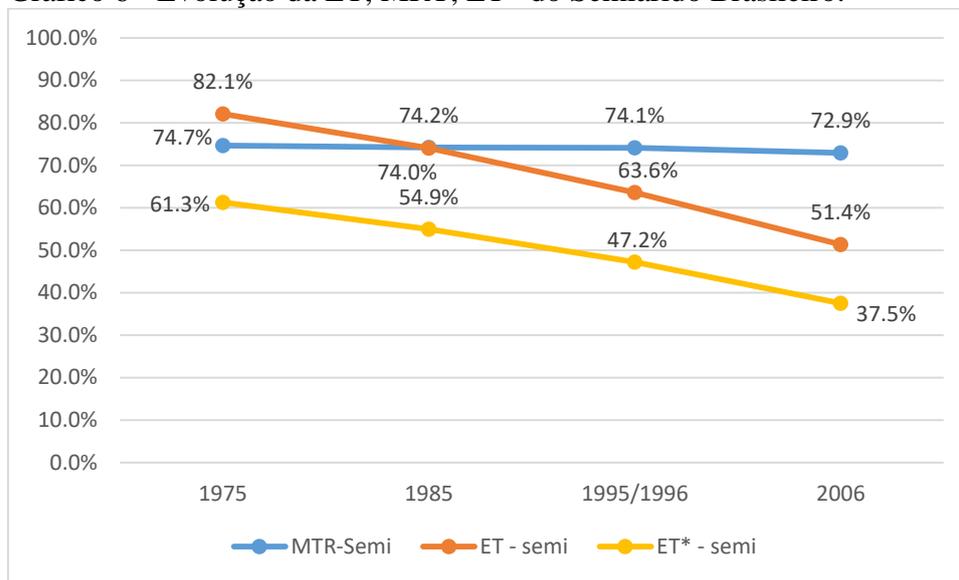
Fonte: Elaboração do autor a partir dos resultados da pesquisa.

Ao comparar as distribuições de frequências das $ET^*_{não-semiárido}$ e $ET^*_{semiárido}$, ainda na Tabela 15, percebe-se que todas as observações no semiárido encontram-se praticamente entre 0,0 e 0,8, enquanto no não-semiárido se distribuem de maneira mais homogênea, quando comparada ao semiárido. Essas conclusões não implicam que a situação

do não- semiárido seja das melhores. Nesta região, 42,76 % dos municípios apresentam escores inferiores a 70%, tornando ainda mais grave a situação do Nordeste, tendo em vista a dependência das camadas mais pobres da população com a atividade agropecuária.

O Gráfico 6 apresenta a evolução das eficiências estimadas e da razão de meta-fronteira. Percebe-se que MRT vai reduzindo-se a um ritmo bem menor do que a ET. Conclui-se que distância entre a fronteira de produção e meta-fronteira de produção do Nordeste aumentou levemente no período analisado e que a queda brusca de EF* deve-se mais ao aumento da ineficiência técnica no decorrer do tempo, observado no semiárido brasileiro.

Gráfico 6 - Evolução da ET, MRT, ET* do Semiárido Brasileiro.



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

Quando se agrupam os municípios em estados, percebe-se uma uniformização da MRT no período de análise, como disposto na Tabela 16. Ao comparar as ETs* percebe-se que o semiárido sergipano apresenta a pior performance (46,7%), acompanhado pelo semiárido potiguar (47,7%) e piauiense (48,5%). Os maiores escores são apresentados pelo semiárido pernambucano (54,1%), acompanhado do semiárido baiano (52,3%) e cearense (51,3%).

As melhores práticas observadas no não-semiárido encontra-se em Pernambuco (73,8%), seguido pelo o estado da Bahia (72%) e do Ceará (71%). O não-semiárido delimitado pelo estado com o menor escore é o Sergipe o que mostra o quão problemático é a agropecuária do estado, seguido pelo não-semiárido potiguar (30,5%) e piauiense (31,3%) novamente, tornando estes estados com as piores práticas nos dois estratos.

Percebe-se que a opção de manter o norte de Minas Gerais e do Espírito Santo na amostra de municípios pertencentes à cartografia do Nordeste considerada pela Sudene foi

acertada. Identifica-se a homogeneidade destas regiões com seu entorno, podendo-se inferir que, mesmo pertencendo a estados mais desenvolvidos, possuidores de maior arrecadação que os estados do Nordeste e, conseqüentemente, maior capacidade de ofertar bens e serviços públicos, ainda assim, não são capazes de diferenciar seus municípios das condições no que tange à eficiência produtiva. Esse resultado ratifica as conclusões de Iffri (2015).

Tabela 16 – Amostras sub-regionais das ET (%) e MRT (%) médias.

Região semiárida (1975-2006)	ET	MRT	ET*
Alagoas	66,5	74,0	49,2
Bahia	70,6	74,1	52,3
Ceará	69,3	74,0	51,3
Minas Gerais	68,3	74,0	50,5
Paraíba	67,5	74,0	50,0
Pernambuco	72,8	74,3	54,1
Piauí	65,3	74,2	48,5
Rio Grande do Norte	64,3	74,0	47,7
Sergipe	63,2	73,8	46,7
Região não semiárida (1975-2006)	ET=ET*		
Alagoas	67,8		
Bahia	72,0		
Ceará	71,0		
Espírito Santo	70,9		
Maranhão	70,3		
Minas Gerais	68,9		
Paraíba	68,4		
Pernambuco	73,8		
Piauí	66,5		
Rio Grande do Norte	66,1		
Sergipe	65,4		

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

É importante destacar que esses dados não captam a pungente produção de grãos que vem se instalando no cerrado do Piauí, dado o horizonte temporal utilizado, o que pode não captar as transformações recentes que estão ocorrendo no estado, bem como seus impactos na eficiência técnica de seus municípios. Essa ressalva dá-se pela base produtiva, intensiva em capital e tecnologia, que essa ocupação vem empregando na região do Matopiba. (BUAINAIN; GARCIA, 2016; VIEIRA FILHO, 2016).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi o de analisar as diferenças tecnológicas da agropecuária entre os municípios situados nas diferentes regiões do Brasil e nas regiões semiárida e não-semiárida do Nordeste brasileiro. A amostra final para o Modelo 1 foi de 3771 municípios, sendo 1318 municípios pertencentes à região Nordeste, 1304 à região Sudeste, 709 à região Sul e 246 à região Centro-Oeste. Pela qualidade dos dados existentes na região Norte, optou-se por eliminar os municípios dessa região. Para o Modelo 2, definiu-se a área de atuação da Sudene e não apenas o Nordeste geográfico brasileiro, definido pelo IBGE, no intuito de melhor representar os dois grupos regionais.

O modelo utilizado foi o de meta-fronteira proposto por Battese, Rao e O'Donnell (2004) e O'Donnell, Rao e Battese (2008), que possibilitou as estimações das eficiências técnicas (ET e ET*) e da razão de meta-fronteira (MRT) dos municípios inseridos nos diversos grupos regionais definidos para o presente estudo. Para tanto, foram utilizados dados do Censo Agropecuário e das Contas Nacionais, para os anos de 1975, 1985, 1995/1996 e 2006.

A partir desses procedimentos metodológicos, os resultados dos modelos econométricos demonstram que a assertiva assumida como hipótese deste estudo mostrou-se verdadeira. Que tanto as regiões Nordeste, Sudeste, Sul e Centro-Oeste, quanto o semiárido e o não-semiárido nordestino não compartilham da mesma tecnologia de produção.

Pelas fronteiras de produção estimadas nos dois Modelos, fica evidente que as políticas públicas voltadas para agropecuária das regiões mais distantes da fronteira tecnológica (Meta-Fronteira de Produção) observada no Brasil são fundamentais para a ruptura desse *gap*. Os formuladores de políticas públicas poderiam levar em conta a importância do investimento em qualificação da mão de obra, a necessidade de direcionamento do crédito subsidiado, disponibilizados pelo FNE no caso Nordestino, para o aumento e modernização do estoque de capital e a aquisição de insumos modernos para todas as regiões. Levando em conta a superação de gargalos logísticos que impactam na competitividade da agropecuária praticada na região central do Brasil.

Outro ponto importante é fortalecer o papel das instituições de Assistência Técnica e de Extensão Rural (Ater), que estão desmanteladas na maioria dos estados do Nordeste, além de melhorar os níveis de escolaridade da população e os serviços de extensão rural com capilaridade local.

A heterogeneidade tecnológica no setor agropecuário do Brasil foi analisada pelo Modelo 1, captando a existência de uma forte heterogeneidade entre as regiões que possuem

uma organização produtiva situada no conjunto meta-tecnologias existente no Brasil, a saber: Regiões Sul e Centro-Oeste. Salientando a condição de atraso tecnológico observada pela região Nordeste, que é nomeadamente a região mais distante da meta-fronteira de produção dentre as regiões analisadas.

Os resultados apresentados já eram esperados e percebidos pelos formuladores de políticas públicas, no entanto, essa disparidade regional continua severa até os dias de hoje, como aponta a presente dissertação. A inação do estado Brasileiro nesse sentido é notória, como discorre Navarro (2016). Medidas, como a Criação do Ministério do Desenvolvimento Agrícola (MDA), em dezembro de 2000, deu-se mais no intuito de institucionalizar a expressão “agricultura familiar”.

Essa percepção de um lado proporcionou a visibilidade da imensa massa de agricultores esquecido por décadas por políticas estatais, no entanto, fomentou a criação de uma falsa dicotomia entre agronegócio e agricultura familiar, como bem indica Navarro (2016) e se aprofunda com os anos 2000 dada a polaridade política existente nessa década. De maneira concreta, essa falsa dicotomia impactou em políticas públicas pouco eficazes na diminuição das disparidades regionais existentes na agricultura brasileira, culminando na extinção do ministério em setembro de 2016.

Uma análise sub-regional do Modelo 1 da razão de meta-tecnologia (MRT) apresenta uma certa uniformidade, com pouca variação no interior das grandes regiões. No Nordeste, o estado mais próximo da meta-fronteira de produção agrícola foi Pernambuco e o mais distante é o estado de Sergipe. Na região Sudeste todos estados possuem MRT muito mais elevado que os observados na região Nordeste. Sendo o estado de São Paulo com maior MRT da região, e o estado do Espírito Santo é o que mais se afasta da Meta-Fronteira de produção na região.

No tocante a eficiência técnica com relação a meta-fronteira (ET*), o estado com as melhores práticas com relação a Meta-fronteira são o Rio Grande do Sul, seguido por Santa Catarina e Paraná. Em seguida destacam-se os estados do Centro-Oeste, liderado por Goiás, seguido por Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Na região Sudeste o estado mais eficiente é São Paulo, sendo o com piores práticas o estado do Espírito Santo. Na região Nordeste encontra-se as piores práticas para toda a amostra de municípios brasileiros com relação à meta-fronteira. As melhores práticas dos estados Nordestinos estão concentradas em Pernambuco, seguido pelos estados da Bahia e do Ceará, sendo a pior prática observada em Sergipe.

Sobre a diferenciação da ET* das regiões situadas na meta-fronteira de produção, acredita-se que com a melhoria dos portos na região Norte e Nordeste, a integração dos modais

ferroviário e rodoviário potencializariam ganhos de produtividade e de eficiência para a Centro-Oeste. Medidas nesse sentido devem diminuir a diferenciação em termos de ET*.

De maneira geral, pode-se concluir que a região Sudeste possui uma grande heterogeneidade tecnológica, o que impacta nos resultados encontrados pela metodologia que se ancora esta dissertação. Caso fosse estimados São Paulo e excluir-se da região Sudeste o Norte de Minas Gerais e do Espírito Santo, ter-se-ia, provavelmente, uma agricultura que mais próxima da meta-fronteira Nacional. Essa percepção é corroborada com os resultados encontrados pelo Modelo 2, já que o Norte de Minas Gerais e do Espírito Santo não se destacam dos demais estados situados na área de atuação Sudene, o Nordeste que foi considerado para a presente dissertação.

Pela diferenciação latente que existe na região Nordeste, buscou-se atentar à análise da questão da produção agrícola, a saber, como que as diferenças regionais próprias do semiárido nordestino, impactam nas práticas agropecuárias locais. O Modelo 2 constatou que os municípios situados no semiárido defrontam-se com diferentes combinações factíveis de *insumo-produto*, bem menos eficientes do observado no Nordeste não-semiárido. Essa constatação não implica que a organização produtiva da agropecuária no não-semiárido seja moderna, aproximando-a das regiões mais dinâmicas do país, tendo em vista que o Nordeste é região mais distante da meta-fronteira de produção no Modelo 1.

Constatou-se que os problemas no setor agrícola do Nordeste, identificados extensamente pela literatura acadêmica como um todo, impactam de maneira ainda mais severa o semiárido nordestino. Numa análise em âmbito estadual, os municípios situados no Espírito Santo não se sobressaíram quando comparados aos demais agrupamentos estaduais dos municípios situados no não-semiárido. No entanto, o Norte de Minas Gerais não se destaca dos demais, mesmo pertencendo a um estado com um maior grau de desenvolvimento. Os estados que apresentaram as piores práticas para ambas as regiões do Nordeste foram Piauí, Paraíba, Rio Grande do Norte e Sergipe.

Os resultados indicaram que, quando comparadas as duas regiões, o não-semiárido possui a maior eficiência técnica média com referência à meta-fronteira (58% contra 35% do semiárido). Este resultado sugere que, mesmo lançando mão de todas as possibilidades produtivas da região Nordeste, o não-semiárido tem uma prática bem aquém da sua potencialidade ideal, pois estão utilizando fatores de produção com alto grau de ineficiência.

O presente estudo proporciona diversos temas para serem aprofundados em estudos futuros. Por exemplo, este estudo não discute as razões dessas disparidades regionais no que concerne à MTR e às eficiências técnicas entre ambas as fronteiras regionais e a meta-fronteira.

Este tema é digno de aprofundamentos em investigações futuras.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 13, p. 7-59, 1999.
- AHMAD, M.; BRAVO-URETA, B. E. Technical efficiency measures for dairy farms using panel data: a comparison of alternative model specifications. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, 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.
- ALSTON, J. M. *et al.* **Persistence pays**: US agricultural productivity growth and the benefits from public R&D spending. Springer Science & Business Media, 2009.
- ALVES, E.; ROCHA, D. P. Ganhar tempo é possível? *In*: GASQUES, J. G.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; NAVARRO, Z. (Org.). **A agricultura brasileira**: desempenho, desafios e perspectivas. Brasília: Ipea. 2010. p. 275-290.
- ALVES, E., SOUZA, G. D. S. Pequenos estabelecimentos também enriquecem? Pedras e troços. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 24, n. 3, p. 7-21, 2015.
- ALVES, E.; SOUZA, G. D. S.; ROCHA, D. D. P. Desigualdade nos campos na ótica do Censo Agropecuário 2006. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 67-75, 2013.
- AQUINO, J.; LACERDA, M. A. Magnitude e condições de reprodução econômica dos agricultores familiares pobres no semiárido brasileiro: evidências a partir do Rio Grande do Norte. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 52, p. 167-188, 2014.
- 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.
- ARAÚJO, J. A.; FEITOSA, D. G.; SILVA, A. B. América Latina: productividad total de los factores y su descomposición. **Revista de la CEPAL (Online)**, Santiago, v. 114, p. 31-52, 2014.
- BALL, E.; SCHIMMELPFENNIG, D.; WANG, S. L. Is US agricultural productivity growth slowing? **Applied Economic Perspectives and Policy**, Milwaukee, v. 35, n. 3, p. 435-450, 2013.
- 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. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, v. 3, p. 153-169, 1992.

_____. A model for technical inefficiency effects in stochastic frontier production functions for panel data. **Empirical Economics**, São Paulo, v. 20, p. 325-332, 1995.

BATTESE, G. E.; CORRA, G. S. Estimation of a production frontier model: with application to the pastoral zone of eastern Australia. **Australian Journal of Agricultural Economics**, Malden MA, v. 21, n. 3, p. 169-179, dez. 1977.

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

BELTRÁN-ESTEVE, M., GÓMEZ-LIMÓN, J. A., PICAZO-TADEO, A. J., REIG-MARTÍNEZ, E. A metafrontier directional distance function approach to assessing eco-efficiency. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, v. 41, n. 1, p. 69-83. 2014.

BENEGAS, M., MARINHO, E. Avaliação Inter/Intra-regional de produtividade total dos estados e regiões brasileiras: Uma abordagem não-paramétrica utilizando o conceito de meta-fronteira de produção. **Latin American Meeting of the Econometric Society**. 24 a 27 de julho de 2002. Anais em CD.

BOSWORTH, B.; COLLINS, S. M. Accounting for growth: comparing China and India. **The Journal of economic perspectives**, Pittsburgh, v. 22, n. 1, p. 45-66, 2008.

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/SECEX. **Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior/Secretaria de Comércio Exterior**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

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.

CARVALHO, R. M. **Três ensaios sobre produtividade agrícola**. Fortaleza – CE, 2003. 133 p. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-graduação em Economia – CAEN. Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade. Universidade Federal do Ceará.

CHAMBERS, Robert G. **Applied production analysis: a dual approach**. Cambridge University Press, 1988.

CHANG, B.-G.; HUANG, T.-H.; KUO, C.-Y. A comparison of the technical efficiency of accounting firms among the US, China, and Taiwan under the framework of a stochastic metafrontier production function. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, v. 44, n. 3, p. 337-349, 2015.

CHEN, Z; SONG, S. Efficiency and technology gap in China's agriculture: a regional meta-frontier analysis. **China Econ Rev**, Hong Kong, n. 19, p. 287-296, 2008.

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

CONTERATO, M. A., SCHNEIDER, S., FERNANDES, L. L., LIBARDONI, P. J. O consumo intermediário na agricultura: uma comparação entre agricultura familiar e não familiar no Brasil e nas Regiões Sul e Nordeste. **Rev. Econ. NE**, Fortaleza, v. 45, p. 54-70, 2014.

DA MATA, D.; RESENDE, G. **Changing the climate for banking**: the economic effects of credit in a climate-vulnerable area. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/5zPr25>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

DADZIE, S.K.N.; DASMANI, I. Gender difference and farm level efficiency: Metafrontier production function approach. **Journal of Development and Agricultural Economics**, Switzerland, v. 2, n. 12, p. 441-451, 2010.

DAVIS, M. **Holocaustos coloniais**. Rio de Janeiro: Record, 2002.

FÄRE, R.; PRIMONT, D. **Multi-Output production and duality**: theory and applications. 2012.

FARREL, M. J. The measurement of production efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, Series A (General), Malden MA, v. 120, n. 3, 1957.

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).

FUGLIE, K. OIs a slowdown in agricultural productivity growth contributing to the rise in commodity prices? **Agricultural Economics**, Switzerland, v. 39, n. s1, p. 431-441, 2008.

FUGLIE, K. O.; WANG, S. L. **New evidence points to robust but uneven productivity growth in global agriculture**. Amber Waves Feature, Economic Research Service (ERS), U.S. Department of Agriculture. 20 Sept. 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/UHXpdN>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

GALVÃO, A. A nova etapa do desenvolvimento agrário e o papel dos agentes privados na inovação agropecuária. In: **O mundo rural no século 21**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

GASQUES, J. G. **Total factor productivity in agriculture**: Brazil and selected States. Productivity note, Ministry of Agriculture, Livestock, and Food Supply (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA). Fev. 2014.

GASQUES, J.; BASTOS, E. T.; VALDES, C.; BACCHI, M. **Total factor productivity in Brazilian agriculture**. Productivity Growth in Agriculture: An International Perspective. Oxfordshire, UK: CAB International, p. 145-162, 2012.

_____. Produtividade da agricultura: resultados para o Brasil e estados selecionados. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF, v. 23, n. 3, p. 87-98, jul./set. 2014a.

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.

GOOD, D. H.; NADIRI, M. I.; ROLLER, L. Sickles RC (1993) Efficiency and productivity growth comparisons of European and US air carriers: a first look at the data. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, v. 4, p. 115-125, 1993.

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.

_____. **Agricultural development: an international perspective**. Baltimore: John Hopkins University Press, 1971.

HELFAND, S.; MAGALHÃES, M.; RADA, N. **Brazil's agricultural total factor productivity growth by farm size**. Inter-American Development Bank, 2015.

HOFFMANN, R. A dinâmica da modernização da agricultura em 157 microrregiões homogêneas do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 30, n. 4, p. 271-90, 1992.

_____. Distribuição da renda agrícola e sua contribuição para a desigualdade de renda no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, n. 2, p.5-22, jun. 2011.

HUANG, M.-Y.; FU, T.-T. An examination of the cost efficiency of banks in Taiwan and China using the metafrontier cost function. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, v. 40, n. 3, p. 387-406, 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006**. 2006. Disponível em: <<http://goo.gl/V8b1ga>>. Acesso em: 19 fev. 2016.

_____. **Geociências**. 2016. Disponível em: <<http://goo.gl/koU3MP>>. Acesso em: 11 ago. 2016.

IRFFI, G. D. **Semiárido brasileiro e políticas regionais: o caso do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE)**. Relatório de Pesquisa. Brasília: Ipea, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/h9hqaw>>. Acesso em: 11 ago. 2016.

JAMES, J.S.; ALSTON, J.M.; PARDEY, P.G.; ANDERSEN, M.A. Structural Changes in U.S. **Agricultural Production and Productivity Choices**, New York, v. 24, n. 4, 2009.

JIANG, N.; SHARP, B. Technical efficiency and technological gap of New Zealand dairy farms: a stochastic meta-frontier model. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, v. 44, n. 1, p. 39-49, 2015.

KHAN, A. S.; CAMPOS, R. T. **Effects of drought on agricultural sector of Northeast Brasil**. ICID, 1992.

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.

LAKNER, S.; BRENES-MUÑOZ, T.; BRÜMMER, B. Technical Efficiency in Chilean Agribusiness Industry: A Metafrontier Approach. **Agribusiness**, 2017.

LEE, C. C., HUANG, T. H. Cost Efficiency and Technological Gap in Western European Banks: A Stochastic Metafrontier Analysis. **International Review of Economics & Finance**, Washington, 2016.

LIBERA, A. A. D. **Dinâmica Tecnológica na Agricultura do Cerrado de Mato Grosso: Uma Abordagem Baseada em Agentes**. 2016. 377 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2016.

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

MALMQUIST, S. **Index numbers and indifference surfaces**. Trabajos de Estadística, 4, p. 209-242, 1953.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, n. 27, 2008.

MEEUSEN, W.; BROECK, V. D. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production with composed error. **International Economics Review**, Washington, n. 32, p. 715-723, 1977.

MELO-BECERRA, L. A.; OROZCO-GALLO, A. J. Technical efficiency for Colombian small crop and livestock farmers: A stochastic metafrontier approach for different production systems. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, p. 1-16, 2015.

MOREIRA, V. H.; BRAVO-URETA, B. E. Technical efficiency and metatechnology ratios for dairy farms in three southern cone countries: a stochastic meta-frontier model. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, v. 33, n. 1, p. 33-45, 2010.

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.

NASUTI, S.; EIRÓ, F.; LINDOSO, D. Os desafios da agricultura no semiárido brasileiro. **Sustentabilidade em Debate**, v. 4, n. 2, p. 276-298, 2013.

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.

OREA, L.; KUMBHAKAR, S. C. Efficiency measurement using a latent class stochastic frontier model. **Empirical Economics**, Pittsburgh, v. 29, n. 1, p. 169-183, 2004.

PNUD, IPEA, FJP, IBGE. **Atlas do desenvolvimento humano no Brasil**. Belo Horizonte, Brasil. 1998.

PITT, M. M.; LEE, L. F. The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian Weaving Industry. **Journal of Development Economics**, Washington, n. 9, p. 43-64, 1981.

REINHARD, S.; LOVELL, C. A. K.; THIJSSSEN, G. J. Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables estimated with SFA and DEA, **European Journal of Operational Research**, London, n. 121, p. 287-303, 2000.

ROCHA, R.; SOARES, R. R. Water Scarcity and Birth Outcomes in the Brazilian Semiarid. **Journal of Development Economics**, Washington, v. 112, p. 72-91, 2015.

ROCHA, F.; DUARTE, J.; OLIVEIRA, P. P.; PEREIRA, L. F. V. N.; BRITO GADELHA, S. R. Are more resources always the answer? A supply and demand analysis for public health services in Brazilian municipalities. **Economia**, São Paulo, 2016.

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

SHEPHARD, R.W. **Theory of costs and production functions**. Princeton: Princeton University Press, 1970.

SIMÕES, A. F. *et al.* Enhancing adaptive capacity to climate change: the case of smallholder farmers in the Brazilian semi-arid region. **Environmental Science & Policy**, London, v. 13, p. 801-8, 2010.

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

SOUZA, G. S.; ALVES, E. R. A.; GOMES, E. G.; MAGALHAES, E.; ROCHA, D. P. Um modelo de produção para a agricultura brasileira e a importância da pesquisa da Embrapa. *In*: ALVES, E. R. de A.; SOUZA, G. da S. e; GOMES, E. G. (Org.). **Contribuição da Embrapa para o desenvolvimento da agricultura no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 49-86.

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.

TUNCA, H.; YESILYURT, F. Hospital Efficiency In Turkey: Metafrontier Analysis. **European Scientific Journal, ESJ**, London, v. 12, n. 10, 2016.

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.; SILVEIRA, J. M. F. Modelo evolucionário de aprendizado agrícola. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, v. 10, n. 2, jul.-dez., p. 265-300, 2011.

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.; FORNAZIER, A. Productividad agropecuaria: reducción de la brecha productiva entre el Brasil y los Estados Unidos de América. **Revista CEPAL**, Santiago, 2016.

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, 2016. Cap.3, p. 89-108.

VIEIRA FILHO, J. E. R. Transformação histórica e padrões tecnológicos da agricultura brasileira. *In*: BUAINAIN, A. *et al* . **O mundo rural no Brasil do século**, v. 21, p. 395-421, 2014.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; SANTOS, G. R.; FORNAZIER, A. **Distribuição produtiva e tecnológica da agricultura brasileira e sua heterogeneidade estrutural**. Brasília: Cepal/Ipea, 2013. (Texto para Discussão, n. 54).

WONGCHAI, A.; LIU, W.-B.; PENG, K.-C. DEA metafrontier analysis on technical efficiency differences of national universities in Thailand. **International Journal on New Trends in Education and Their Implications**, Washington, v. 3, n. 3, p. 3, 2012.

ZHUO, C. H. E. N.; SHUNFENG, S. O. N. G. Efficiency and technology gap in China's agriculture: A regional meta-frontier analysis. **China Economic Review**, Hong, Kong, v. 19, n. 2, p. 287-296, 2008.

ANEXOS

ANEXO A – Estatísticas Descritivas para o Brasil, ano 1975.

Variáveis	Região	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
<i>Y</i> (R\$ milhares)	Nordeste	8253,93	9003,47	31,02	134685,47
	Sudeste	13353,10	14300,44	322,21	182178,74
	Sul	29178,15	41939,12	319,80	886391,63
	Centro-Oeste	17782,15	19323,95	175,90	144505,12
<i>L</i> (hectare)	Nordeste	8028,13	8403,93	56,25	88839,26
	Sudeste	7584,99	9597,91	11,76	169919,45
	Sul	18284,93	20862,70	195,89	162969,86
	Centro-Oeste	16102,35	22469,01	198,44	151513,54
<i>T</i> (pessoas ocupadas)	Nordeste	6389,36	6045,86	128,00	66583,00
	Sudeste	3041,62	3297,64	89,00	37677,00
	Sul	6796,20	6059,14	256,00	41943,00
	Centro-Oeste	4075,45	4878,94	65,00	45220,00
<i>K</i> (R\$ milhares)	Nordeste	57190,95	89633,36	1290,52	1452811,15
	Sudeste	205087,50	240945,80	3196,27	2991691,65
	Sul	277141,74	332729,75	1353,31	2358434,47
	Centro-Oeste	341919,98	397147,86	4466,67	2557589,07
<i>I</i> (R\$ milhares)	Nordeste	3622,08	5017,06	83,31	49855,62
	Sudeste	9785,35	11814,38	146,57	140740,60
	Sul	15799,81	20305,45	48,41	151932,82
	Centro-Oeste	12227,16	14498,74	153,82	92064,68

Fonte: Elaboração do autor.

ANEXO B – Estatísticas Descritivas para o Brasil, ano 1985.

Variáveis	Região	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
<i>Y</i> (R\$ milhares)	Nordeste	14397,16	20357,23	117,14	360223,89
	Sudeste	26553,80	33231,03	192,96	333881,94
	Sul	35302,63	36678,73	167,57	369974,11
	Centro-Oeste	23839,56	26359,10	848,42	161439,86
<i>L</i> (hectare)	Nordeste	10220,89	10814,20	50,53	127414,11
	Sudeste	9819,54	11896,96	20,22	141459,62
	Sul	19706,69	21929,77	44,69	175557,89
	Centro-Oeste	21869,04	32313,24	225,51	241444,51
<i>T</i> (pessoas ocupadas)	Nordeste	7544,58	6688,44	77,00	67187,00
	Sudeste	3452,79	3707,59	56,00	38922,00
	Sul	6091,13	5104,78	38,00	45525,00
	Centro-Oeste	3844,58	3165,39	114,00	21621,00
<i>K</i> (R\$ milhares)	Nordeste	155139,66	328640,09	2351,38	5874632,80
	Sudeste	439724,37	484241,41	3884,20	4322936,67
	Sul	508580,97	595366,43	3629,67	5115910,98
	Centro-Oeste	772623,88	862771,53	16426,12	4579651,42
<i>I</i> (R\$ milhares)	Nordeste	5973,15	9384,50	21,33	101301,49
	Sudeste	16581,65	21399,07	120,49	191353,57
	Sul	22825,90	29105,25	36,92	261067,50
	Centro-Oeste	23414,39	30771,87	487,75	208219,85

Fonte: Elaboração do autor.

ANEXO C – Estatísticas Descritivas para o Brasil, ano 1995/1996.

Variáveis	Região	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
<i>Y</i> (R\$ milhares)	Nordeste	8525,86	9692,71	29,19	128095,52
	Sudeste	18966,66	27386,94	4,02	301028,43
	Sul	24268,16	24206,38	13,14	227292,02
	Centro-Oeste	23801,36	25526,66	646,66	158367,87
<i>L</i> (hectare)	Nordeste	7546,26	9265,73	0,19	91948,13
	Sudeste	7176,54	9998,21	0,48	107229,91
	Sul	13928,21	16003,43	14,74	142643,14
	Centro-Oeste	12439,09	23281,67	21,50	188470,70
<i>T</i> (pessoas ocupadas)	Nordeste	5409,04	4906,57	17,00	42615,00
	Sudeste	2357,91	2446,12	11,00	22650,00
	Sul	3729,73	2964,65	26,00	27658,00
	Centro-Oeste	2500,30	1793,22	64,00	8356,00
<i>K</i> (R\$ milhares)	Nordeste	116867,23	552301,49	3964,90	9905797,03
	Sudeste	347297,68	816527,15	6549,53	7289329,34
	Sul	429780,54	1003905,99	6120,35	8626441,44
	Centro-Oeste	726262,19	1454804,06	27697,71	7722201,37
<i>I</i> (R\$ milhares)	Nordeste	2611,65	4648,97	0,08	64429,68
	Sudeste	9152,97	13107,14	41,86	132233,63
	Sul	12012,97	14215,31	83,78	117519,39
	Centro-Oeste	12177,06	16019,62	292,74	112339,66

Fonte: Elaboração do autor.

ANEXO D – Estatísticas Descritivas para o Brasil, ano 2006.

Variáveis	Região	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Y (R\$ milhares)	Nordeste	7330,75	11180,58	237,54	216760,36
	Sudeste	13958,44	20437,87	69,27	295451,27
	Sul	17754,34	16734,79	308,34	170006,05
	Centro-Oeste	19437,47	21334,90	366,12	134259,24
L (hectare)	Nordeste	7330,75	15989,89	1,76	371163,64
	Sudeste	8048,58	15267,10	4,24	219410,40
	Sul	14802,24	16943,49	2,02	137701,85
	Centro-Oeste	16083,46	29152,80	85,62	204108,22
T (pessoas ocupadas)	Nordeste	4652,10	4195,79	18,00	35996,00
	Sudeste	2100,35	2288,10	15,00	83351,58
	Sul	2974,66	2581,04	26,00	26871,00
	Centro-Oeste	2290,04	1805,06	12730,54	125232,93
K (R\$ milhares)	Nordeste	78594,81	109435,13	286,70	1580695,48
	Sudeste	254870,99	287836,84	8,66	150675,99
	Sul	350980,11	343158,37	1353,12	2483757,12
	Centro-Oeste	679900,50	731323,39	19391,39	4524622,39
I (R\$ milhares)	Nordeste	9142,30	41980,35	37,77	869670,75
	Sudeste	25938,38	69195,27	57,43	1049781,19
	Sul	26772,37	34267,64	385,92	348314,59
	Centro-Oeste	49171,96	90656,74	1039,06	869296,49

Fonte: Elaboração do autor.

ANEXO E – Estatísticas Descritivas para o Semiárido e Não-Semiárido, ano 1975.

Variáveis	Região	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Y (R\$ milhares)	Semiárido	8829,24	10037,60	115,3	55089,00
	Não semiárido	8817,17	10036,82	31,02	134685,47
L (hectare)	Semiárido	8271,78	8788,53	265,07	88839,26
	Não semiárido	8254,91	8785,31	141,72	79508,14
T (pessoas ocupadas)	Semiárido	6530,23	5937,45	199,00	33622,0
	Não semiárido	6511,20	5915,76	132,00	54814,00
K (R\$ milhares)	Semiárido	64443,30	107008,13	1770,01	744678,00
	Não semiárido	64429,77	106967,37	1290,52	1457207,55
I (R\$ milhares)	Semiárido	3916,41	5378,50	57,15	29608,82
	Não semiárido	3913,18	5377,27	94,74	49855,62

Fonte: Elaboração do autor.

ANEXO F – Estatísticas Descritivas para o Semiárido e Não-Semiárido, ano 1985.

Variáveis	Região	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Y (R\$ milhares)	Semiárido	15774,39	22592,82	443,71	191933,41
	Não semiárido	15762,80	22586,31	117,14	360223,89
L (hectare)	Semiárido	10626,39	11370,87	341,62	127414,11
	Não semiárido	10610,28	11368,42	50,53	90943,21
T (pessoas ocupadas)	Semiárido	7794,45	6747,19	164,00	39477,00
	Não semiárido	7779,24	6734,38	77,00	67187,00
K (R\$ milhares)	Semiárido	177228,53	376852,42	4500,57	5874632,80
	Não semiárido	177344,85	376692,33	2351,38	4633246,41
I (R\$ milhares)	Semiárido	6645,04	11559,23	105,16	65059,18
	Não semiárido	6646,89	11554,11	21,33	191353,57

Fonte: Elaboração do autor.

ANEXO G – Estatísticas Descritivas para o Semiárido e Não-Semiárido, ano 1995.

Variáveis	Região	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Y (R\$ milhares)	Semiárido	9364,18	12749,64	153,83	128095,52
	Não semiárido	9360,09	12744,97	30,96	85522,36
L (hectare)	Semiárido	6615,00	7263,20	140,77	71448,38
	Não semiárido	6606,53	7259,27	30,96	85522,36
T (pessoas ocupadas)	Semiárido	5570,30	4873,33	181,00	34465,00
	Não semiárido	5565,31	4867,06	58,00	38005,00
K (R\$ milhares)	Semiárido	298842,48	635447,99	7589,39	9905797,03
	Não semiárido	299038,61	5530,41	3964,90	7812573,16
I (R\$ milhares)	Semiárido	2869,08	5532,79	53,18	64429,68
	Não semiárido	2869,48	5530,41	0,08	80527,36

Fonte: Elaboração do autor.

ANEXO H – Estatísticas Descritivas para o Semiárido e Não-Semiárido, ano 2006.

Variáveis	Região	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Y (R\$ milhares)	Semiárido	8064,19	14964,17	288,99	216760,36
	Não semiárido	8061,93	14958,41	237,54	295451,27
L (hectare)	Semiárido	7734,74	13648,20	60,22	265468,37
	Não semiárido	7730,64	13643,44	1,76	176136,44
T (pessoas ocupadas)	Semiárido	4793,81	4211,42	37,00	35996,00
	Não semiárido	4790,36	4209,13	18,00	28623,00
K (R\$ milhares)	Semiárido	87232,61	132027,14	573,90	76332251,00
	Não semiárido	87215,17	131973,54	285,43	1573674,12
I (R\$ milhares)	Semiárido	9320,24	41792,88	78,73	691517,47
	Não semiárido	9317,60	41776,40	37,60	865807,72

Fonte: Elaboração do autor.