

Eficiência na agropecuária das regiões intermediárias nordestinas em 2017: uma análise em dois estágios (com uso de DEA e Tobit)

Resumo: O presente estudo se propôs a mensurar os escores de eficiência técnica e de escala dos estabelecimentos agropecuários das 35 regiões intermediárias nordestinas para o ano de 2017, que têm os dados mais atualizados. Para este fim, utilizou-se um modelo em dois estágios: o método *Data Envelopment Analysis* (DEA), em português, Análise Envoltória de Dados, com orientação insumo e o Tobit normal truncado. Os resultados obtidos por meio do DEA, revelaram que parcela majoritária das regiões intermediárias se mostraram plenamente eficientes, tanto do ponto de vista técnico como de escala. Ademais, por meio do modelo Tobit normal truncado, pode-se inferir que a adubação, a irrigação, o acesso ao financiamento e a escolaridade ensino médio regular elevam a eficiência. Enquanto, fatores como área total dos estabelecimentos, assistência técnica, rotação de cultura e plantio em curva de nível, afetam negativamente a eficiência no segmento.

Palavras-chave: Eficiência; agropecuária; DEA; Regiões Intermediárias; Nordeste.

Abstract: *The present study aimed to measure the technical and scale efficiency scores of agricultural establishments in the 35 intermediate regions of the Northeast of Brazil for the year 2017, which have the most up-to-date data. For this purpose, a two-stage model was used: the Data Envelopment Analysis (DEA) method, in Portuguese, Data Envelopment Analysis, with input orientation and the truncated normal Tobit. The results obtained by means of DEA revealed that the majority of the intermediate regions were fully efficient, both from the technical and scale points of view. Furthermore, by means of the truncated Tobit normal model, it can be inferred that fertilization, irrigation, access to financing, and regular high school education increase efficiency. Whereas, factors such as total area of establishments, technical assistance, crop rotation, and planting in contour lines, negatively affect efficiency in the segment.*

Keywords: *Efficiency; agriculture; DEA; Intermediate Regions; Northeast.*

Classificação JEL: C14; C24; Q12.

Laura Costa Silva¹

Wellington Ribeiro Justo²

Weiga Vieira Cavalcante³

¹ Mestranda pelo Programa de Pós-graduação em Economia Regional e Urbana da Universidade Regional do Cariri (PPGERU/URCA), Crato, CE, Brasil. Bolsista pela Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).
E-mail: laura.costasilva@urca.br

² Professor do Programa de Pós-graduação em Economia Regional e Urbana (PPGERU) da Universidade Regional do Cariri (URCA) e do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Pernambuco (PPGECON/UFPE), Crato, CE/ Recife; PE, Brasil.
E-mail: justowr@yahoo.com.br

³ Mestrando pelo Programa de Pós-graduação em Economia Regional e Urbana (PPGERU) da Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato, CE, Brasil.
E-mail: weiga.cavalcante@urca.br

1.Introdução

A partir da década de 1960, com o advento da revolução verde, o setor agrícola do país passou por um processo de profundas mudanças, dada a introdução de um rico pacote tecnológico que impactou de maneira substancial seu processo produtivo, com a introdução de diversas inovações, como máquinas agrícolas, modernização do sistema de irrigação, uso de fertilizantes no solo e defensivos químicos entre outros (CASTRO; PEREIRA, 2021).

No entanto, quando se faz uma análise regional, observa-se que esse processo não correu de maneira igual em todas as regiões do país, já que no Nordeste em geral este processo ocorreu em menor grau que o ocorrido na região Centro-Sul (CASTRO; PEREIRA, 2021).

Além disso, viu-se no espaço rural aflorar a concentração fundiária, a pobreza e consequentemente o êxodo rural. A principal razão para estes acontecimentos, dá-se pelo caráter restritivo das políticas implementadas na época que possuíam certos critérios que beneficiava em maior grau os médios e grandes produtores, deixando a margem desse processo os pequenos agricultores, que concorriam pelo acesso a estes serviços com produtores de alto poder aquisitivo (CASTRO; PEREIRA, 2020).

Décadas depois, ainda se observa a grande concentração fundiária no país. De acordo com dados do Censo Agropecuário (2017) no Brasil os estabelecimentos com até 50 hectares correspondiam a parcela majoritária do total de estabelecimentos do país (81,5%) ocupando a menor extensão territorial (12,8%) em relação à área total agrícola. No entanto, quando se observa a distribuição dos estabelecimentos de área superior a 50 hectares no total dos estabelecimentos e na área total agropecuária, verifica-se o inverso, haja vista, que as unidades produtivas de 50 a 1000 hectares representavam 16,1% do quantitativo total de estabelecimentos agrícolas e ocupavam 39,7% da área total. No que concerne as unidades agrícolas com mais de 1000 hectares, estas representavam 1% dos estabelecimentos brasileiros e 47,6% da área total (IBGE, 2022).

Em âmbito regional, observa-se que no Nordeste a representatividade dos estabelecimentos agropecuários com até 50 hectares foi superior à do Brasil, sendo 87,9% e 13% da área, apesar da superioridade, observa-se o mesmo fenômeno nacional na região, pois os estabelecimentos com área superior foram majoritários na área total, haja vista que as unidades produtivas de 50 a 1000 hectares mostraram participação de 9,2% no total destas e 44,9% na área e os com área superior a mil hectares, 0,3% nos estabelecimentos e 33,1% da área total (IBGE, 2022).

No que tange às receitas dos estabelecimentos agropecuários, o Brasil obteve um total de R\$ 419,16 milhões em 2017. Em termos regionais, a região Sudeste apresentou uma participação de aproximadamente 26,78%, seguida pelo Centro-Oeste com 26,75% e Sul com 24,7%. Sendo as piores participações para a região Norte (7,21%) em primeiro lugar e Nordeste em segundo (14,54%) (IBGE, 2022).

Assim, percebe-se que é de suma importância estudos que analisem a eficiência do setor agropecuário do Nordeste, tendo em vista que esta atividade é de importância relevante para o desenvolvimento regional, e que pode também servir como base para direcionamento de políticas por parte do setor público em regiões menos eficientes no segmento.

A eficiência é conceituada como a maneira ótima de se empregar uma determinada quantidade de *inputs* para gerar um dado *output*, ou de maximizar o *output* dada uma quantidade de *input*. A eficiência na produção se subdivide em eficiência técnica e de escala, após o advento da revolução industrial e a abertura comercial se tornou um elemento crucial nas organizações, haja vista que se elevou a competitividade entre as empresas e se estas operarem com ineficiência poderão ter impactos nos custos e na

lucratividade podendo assim fechar as portas (MARIANO, 2007).

A literatura sobre os estudos de eficiência na agropecuária é vasta e já foi amplamente discutido, em que se destacam: Barbosa e Sousa (2014) fizeram o estudo para os municípios pertencentes ao estado do Ceará; Moraes *et al* (2016) para os países membros e não membros do Mercosul; Carvalho *et al* (2017) reportaram a análise para os municípios do Escritório de Desenvolvimento Rural do município de Andradina, São Paulo; Silva *et al* (2019) direcionaram o estudo para as regiões semiárida e não semiárida do Nordeste brasileiro; Reis *et al* (2020) para os 18 países da América Latina e Caribe e Sousa, Campos e Chaves (2020) para o estado do Ceará.

Tão relevante quanto identificar a eficiência das unidades produtivas, é detectar os elementos que influenciam os resultados obtidos, com a finalidade de se buscar meios para que estas unidades alcancem a eficiência plena. Em razão disso, diversos estudos dessa natureza foram elaborados, em que se destacam: Nogueira (2005) que mensurou a eficiência da agropecuária e os seus determinantes para as microrregiões brasileiras; Imori (2011) realizou o estudo para o Brasil; Souza, Braga e Ferreira (2011) orientaram a pesquisa para as cooperativas agropecuárias do Pará; Almeida (2012) realizou seu estudo para o Brasil; Barbosa *et al* (2013) dirigiram a pesquisa para as microrregiões brasileiras; e Freitas, Teixeira e Braga (2014) averiguaram o efeito da assistência técnica sobre a eficiência técnica dos estabelecimentos agropecuários do Brasil.

Ainda sob essa perspectiva, têm-se os estudos: Sobreira *et al* (2016) averiguaram os condicionantes da eficiência para o estado da Bahia; Fortini, Braga e Freitas (2018) averiguaram a adoção de práticas conservacionistas e eficiência da agricultura no Brasil; Soares e Spolador (2019) analisaram a eficiência técnica da produção paulista de milho; Oliveira (2022) analisou a eficiência do setor agropecuário no Nordeste e seus determinantes e Luna *et al* (2022) orientaram a pesquisa para o estado do Ceará.

A presente pesquisa segue a linha dos estudos que além de medir a eficiência, também mensuraram os determinantes da eficiência, porém aplicada aos estabelecimentos agropecuários das regiões intermediárias do Nordeste.

Apesar de a literatura mencionada já ter como objeto de estudo a eficiência na agropecuária da região Nordeste, este estudo se diferencia dos demais por adotar a classificação mais recente de regiões intermediárias do IBGE (2017).

Haddad (2019) afirma que diferentemente das classificações anteriores que dividiam o espaço por uma linha imaginária com base nos elementos naturais deste, essa nova classificação considera o espaço como sendo contínuo, ou seja, não existem limites imaginários que impeçam os avanços econômicos e sociais. Desse modo, os territórios são áreas de expansão que se complementam. Diante do exposto, Oliveira Neto (2021) afirma que é de grande relevância a presença dessa nova organicidade e dinâmica nos estudos urbano-regionais.

Este estudo também utilizou variáveis *inputs* e *outputs* diferentes dos estudos citados. No que concerne aos determinantes da eficiência, verifica-se que algumas práticas agrícolas como irrigação (NOGUEIRA, 2005; FREITAS, TEIXEIRA E BRAGA, 2014), controle de pragas (SOARES; SPOLADOR, 2019), curvas de nível (NOGUEIRA, 2005), plantio direto (SOARES; SPOLADOR, 2019) e Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ) (BARBOSA *et al*, 2013), foram pouco exploradas na literatura.

Neste sentido, dado ao contexto histórico da região Nordeste de desigualdade, escassez hídrica, alterações climáticas, atraso tecnológico, deficiência logística, falta de crédito e falta de assistência técnica, identificar os fatores de influência pode ser crucial para identificar gargalos existentes, implementar políticas públicas e promover o desenvolvimento do setor na região (CASTRO, 2012). Sendo assim, as práticas agrícolas supracitadas podem contribuir para elevação da eficiência, pois podem elevar a fertilidade do solo, que sofre com a baixa produtividade. Além dessa, a formalização

pode facilitar o acesso a linhas de crédito e a políticas públicas, que podem contribuir para o melhor desempenho da atividade agrícola nordestina.

Outro ponto diferencial em relação à literatura consultada, é que esta pesquisa analisou os condicionantes da eficiência do ponto de vista da escala, haja vista, que é predominante na literatura estudos que averiguam os determinantes da eficiência técnica. Diferentemente da eficiência técnica que para um dado nível de produção, minimiza os insumos utilizados, a eficiência de escala relaciona os aumentos das quantidades produzidas à elevação no número de insumos utilizados na produção (TUPY; ALVES; FERREIRA, 2019).

Diante do exposto, o presente estudo objetivou analisar a eficiência no segmento agropecuário de 35 regiões intermediárias nordestinas e seus determinantes para o ano de 2017. Para o cumprimento destes objetivos, foi utilizado o método *Jackstrap* para exclusão das observações discrepantes e, em seguida, utilizou um modelo em dois estágios: DEA e Tobit normal truncado. Por meio da metodologia DEA estimou os escores de eficiência técnica e de escala, além de identificar as regiões *benchmarks* que poderão ser seguidas pelas regiões intermediárias menos eficientes, no sentido de melhor orientá-las para uma alocação de insumos mais eficiente. Após isso, por meio do método Tobit normal truncado identificaram-se os determinantes da eficiência de escala nas 35 regiões intermediárias do Nordeste.

Além desta introdução, o trabalho contará com mais quatro seções, a saber, a revisão de literatura, metodologia, resultados e discussão e por fim considerações finais.

2. Revisão de literatura

A modernização dos processos produtivos tem ampliado sobremaneira a competitividade no setor agropecuário. Em virtude disso, as organizações agrícolas necessitam cada vez mais aprimorar os processos produtivos a alcançarem melhores desempenhos. Para tanto, é de extrema relevância a aplicação de técnicas capazes de mensurar o comportamento dos empreendimentos agrícolas, com a finalidade de monitorar e corrigir eventuais falhas, e assim obter a plena eficiência (FIGUEIREDO; MELLO, 2009).

Neste sentido, a eficiência é definida como um indicador que determina se a unidade produtiva está alocando de forma econômica ou produtiva seus insumos, para atingir seus resultados pretendidos. Desse modo, a eficiência está associada aos meios e técnicas empregadas. Quanto maior a eficiência de uma organização, maior será sua produtividade ou economia no emprego dos fatores produtivos (MOUZAS, 2006; OZCAN, 2014).

Diante deste cenário, tona-se relevante analisar a eficiência do segmento agropecuário, uma vez que este setor desempenha papel estratégico no desenvolvimento socioeconômico, dado seu caráter gerador de renda e absorvedor de mão de obra (COSTA *et al*, 2013).

Diversos trabalhos com essa finalidade foram desenvolvidos, em que se destacam as pesquisas de Moraes *et al* (2016) que estudaram a eficiência técnica nos países membros e não membros do Mercosul no período de 1991 a 2010; Silva *et al* (2019) que direcionaram o estudo para as regiões semiárida e não semiárida do Nordeste brasileiro para os anos 1975, 1985, 1995/1996 e 2006 e Reis *et al* (2020) para os 18 países da América Latina e Caribe para o período entre 1991 e 2012, todos por intermédio da fronteira de produção estocástica.

No que concerne aos estudos que mensuraram a eficiência através do método DEA, tem-se: Barbosa e Sousa (2014) fizeram aplicação para os municípios pertencentes

ao estado do Ceará para o ano de 2006; Carvalho et al (2017) para os municípios do Escritório de Desenvolvimento Rural do município de Andradina, São Paulo nos anos 2006 e 2007/2008, e Sousa, Campos e Chaves (2020) para o estado do Ceará no período de 2008 a 2012.

Todavia, a produtividade agrícola é influenciada de diversos elementos que são externos ao controle dos empreendimentos agrícolas, como a pluviosidade, o clima, o meio físico e o solo (CAMPOS; COELHO; GOMES, 2012).

Sendo assim, além de medir a eficiência dos empreendimentos agrícolas, é de extrema relevância conhecer os fatores de influência desta. Em razão disso, diversos estudos foram realizados. Em que se destacam as pesquisas de Nogueira (2005) que mensurou a eficiência e os seus determinantes para as microrregiões brasileiras para o ano agropecuário 1995/1996, através do modelo DEA e Tobit; Imori (2011) realizou o estudo para o Brasil em 2006 por meio dos modelos de fronteira de produção estocástica e de efeitos de ineficiência; Souza, Braga e Ferreira (2011) que orientaram a pesquisa para as cooperativas agropecuárias do Pará, em 2006, por intermédio do DEA e análise discriminante; Almeida (2012) realizou seu estudo para o Brasil em 2006 e utilizou-se os modelos de fronteira de produção estocástica e de efeitos de ineficiência; Barbosa et al (2013) dirigiram a pesquisa para as microrregiões brasileiras em 2006, por meio do DEA e regressão quantílica, e Freitas; Teixeira; Braga (2014) averiguaram o efeito da assistência técnica sobre a eficiência técnica dos estabelecimentos agropecuários do Brasil para o ano de 2006, utilizando a técnica balanceamento por entropia com a fronteira de produção estocástica.

Ainda nesse sentido, têm-se os estudos de Sobreira et al (2016) que averiguaram os condicionantes da eficiência para 2006, por meio do DEA e regressão quantílica; Fortini, Braga e Freitas (2018) averiguaram a adoção de práticas conservacionistas e eficiência da agricultura no Brasil em 2006, por meio do balanceamento por entropia e Fronteira de Produção Estocástica; Soares e Spolador (2019) analisaram a eficiência técnica da produção paulista de milho para o ano-safra 2007/08, empregando a metodologia de metafronteira estocástica; Oliveira (2022) analisou a eficiência do setor agropecuário no Nordeste e seus determinantes para os anos 2006 e 2017 por meio do modelo DEA e da regressão quantílica; Luna et al (2022) que orientou a pesquisa para o estado do Ceará no ano de 2017, por meio da fronteira de produção estocástica em sua forma funcional Cobb-Douglas, admitindo ineficiência técnica.

Dentre os estudos consultados, constata-se algumas variáveis como influentes da eficiência como: adubação, irrigação, financiamento, manejo de pragas, educação, assistência técnica, práticas de curvas de nível, plantio direto, rotação de culturas, estabelecimento agropecuário com CNPJ e área dos estabelecimentos.

A adubação promove ao solo melhoria na fertilidade e na estrutura, além da elevação na capacidade das culturas na absorção dos macros e micronutrientes, estimulando de maneira surpreendente o seu crescimento. Assim, o adubo age propiciando o fenômeno da aeração, retraindo a água e diminuindo a deterioração dos solos causada pelas chuvas (FERREIRA; BORBA; WIZNIEWSKY, 2013). Assim, os solos tornam-se mais produtivos, fazendo com que se necessite menos de área para produzir a mesma quantidade, o que pode elevar a eficiência na minimização do fator terra. Sendo essa relação, confirmada por Nogueira (2005) e Barbosa et al (2013), Oliveira (2022).

No que tange a prática de irrigação, esta pode contribuir para a eficiência no uso da terra, uma vez que, pode-se ter a mesma produção com uma área menor. De acordo com Rodrigues (2022) a agricultura irrigada funciona como alternativa para combater adversidades climáticas e para a estabilizar a produção, além de possibilitar o maior acúmulo de carbono às terras agrícolas, dado pelos resíduos de matéria orgânica deixados no solo pelo uso intensivo destes, tornado os solos mais férteis. Dada essa importância,

essa relação foi confirmada por Freitas, Teixeira e Braga (2014) que averiguaram o efeito da assistência técnica sobre a eficiência técnica dos estabelecimentos agropecuários do Brasil em 2006. No entanto, Nogueira (2005) que realizou o estudo da eficiência para os estabelecimentos no Brasil utilizando o censo 1995/1996, não constatou esta influência.

No que concerne ao acesso ao financiamento, espera-se que contribua para a elevação da eficiência, uma vez que, o maior aporte de capital, possibilita aos estabelecimentos acesso a mais recursos produtivos, como a mecanização e fertilizante, que podem reduzir sobremaneira a utilização de mão de obra e o fator terra, respectivamente (SOUZA; BRAGA; FERREIRA, 2010; IMORI, 2011). Entretanto, Barbosa *et al.* (2013) e Oliveira (2022) ao estudarem a eficiência e seus determinantes nas microrregiões brasileiras em 2006 e no setor agropecuário nordestino em 2017, respectivamente, verificaram relação inversa entre a eficiência e o acesso ao crédito.

Ademais, a utilização de técnicas de controle de pragas proporciona maior eficiência na minimização dos insumos. Essa relação é fundamentada pelo fato de as pragas causarem prejuízos as plantações (FREITAS, 2014), reduzindo o produto e sua qualidade, ocasionando maiores custos aos produtores, o que pode minimizar a eficiência (NOGUEIRA, 2005). Assim, o manejo de pragas pode diminuir o gap tecnológico e aumentar a eficiência na agropecuária (SOARES; SPOLADOR, 2019).

No que se refere a educação formal, espera-se que eleve a eficiência no segmento, dado pela maior facilidade de compreensão de técnicas agrícolas e de métodos de gerenciamento mais sofisticados (SOUZA FILHO *et al.*, 2004; SOUSA; JUSTO; IMORI, 2011; CAMPOS, 2013; OLIVEIRA, 2022).

A mesma relação é verificada pela utilização da assistência técnica, que proporciona aos produtores rurais, orientação quanto as práticas agrícolas adequadas, de forma a elevar a eficiência na minimização dos insumos, mantendo mesmo nível de produção. Sendo este resultado confirmado por Nogueira (2005) e Barbosa, *et al.* (2013). No entanto, Oliveira (2022) e Soares e Spolador (2019) verificaram relação inversa entre eficiência assistência técnica, indicando a necessidade de expansão destes serviços.

Além do mais, espera-se que a adoção de práticas de curvas de nível contribua para o aumento na eficiência, pois essa técnica controla a degradação do solo, impede a perda de minerais e de matéria orgânica, além de reter a água da chuva (EMATER, 2021), e assim elevar a fertilidade dos solos, aumentando assim a produtividade, contribuindo para a eficiência na minimização dos insumos (CAMPOS *et al.*, 2012). Contudo, essa relação não foi confirmada por Nogueira (2005) que ao reportar a análise para as microrregiões brasileiras constatou a não influência significativa dessa prática de conservação com a eficiência.

Além desses, tem-se a utilização do plantio direto como indutor da eficiência no setor agrícola, haja vista, que essa prática mantém a estrutura das terras agrícolas e preserva os microrganismos, aumenta a produtividade do solo (BORTOLETI JUNIOR *et al.*, 2015), reduzindo a utilização do fator terra e os gastos com preparo mecânico, elevando a eficiência no segmento (SOARES; SPOLADOR, 2019).

Ainda neste sentido, a técnica agrícola de rotação de culturas pode possibilitar a elevação da eficiência, pois permite a diversificação da produção, repõe a matéria orgânica das terras agrícolas, contribui no combate de pragas, doenças e ervas daninhas, além de proteger os solos das ações climáticas e os tornam menos dependentes dos insumos externos (CRUZ; PEREIRA FILHO; ALBUQUERQUE FILHO, 2021). Desse modo, o solo torna-se mais fértil, permitindo maior produtividade e eficiência (FORTINI; BRAGA; FREITAS, 2018; SOARES; SPOLADOR, 2019; OLIVEIRA, 2022).

Ademais, o fato de o estabelecimento agropecuário possuir CNPJ pode ser fator decisivo para haver aumento na eficiência. Conforme SEBRAE (2016) o produtor formalizado acessa uma série de benefícios, como acesso ao crédito, direito à

aposentadoria, probabilidade de envolvimento em compras da administração pública e abastecimentos de produtos agrícolas para programas que privilegiam a aquisição pela agricultura familiar. Contudo, apesar desses benefícios, Barbosa *et al* (2013) constatou a não influência da formalização do estabelecimento na elevação da eficiência dos estabelecimentos agropecuários.

Por outro lado, tem-se que maiores estabelecimentos agropecuários estão relacionados à menores níveis de eficiência, pois o aumento da produtividade não está atrelado a expansão dos solos e sim ao uso adequado de insumos produtivos, como adubo, irrigação e maquinário, por exemplo. Sendo os menores estabelecimentos a apresentarem os melhores níveis de eficiência (ALMEIDA, 2012; SOBREIRA *et al*, 2016).

Portanto, a revisão de literatura indicou que a temática já foi amplamente discutida com análises para âmbito internacional e nacional, com a utilização de distintos métodos. Porém, verifica-se que somente Nogueira (2005) utilizou o modelo Tobit para medir os determinantes da eficiência. Enquanto, os demais utilizaram fronteira de produção estocástica com modelo de ineficiência (IMORI, 2011; ALMEIDA, 2012; LUNA *et al*, 2022) regressão quantílica (BARBOSA *et al*, 2013; SOBREIRA *et al*, 2016; OLIVEIRA; 2022), análise discriminante (SOUZA; BRAGA; FERREIRA, 2011), metafronteira (SOARES; SPOLADOR, 2019) e balanceamento por entropia e Fronteira de Produção Estocástica (FREITAS; TEIXEIRA; BRAGA, 2014; FORTINI; BRAGA; FREITAS, 2018).

Dessa maneira, neste estudo, a título de diferenciação, será utilizado o modelo Tobit, para testar a validade do presente método, no sentido de verificar as principais variáveis determinantes da eficiência. Ademais, foram utilizadas variáveis diferentes do estudo de Nogueira (2005), além de utilizar o último Censo Agropecuário (2017).

Apesar de a região Nordeste já ter sido objeto de análise em outras pesquisas, esta utilizou a mais recente classificação do IBGE (2017) regiões intermediárias da região Nordeste.

Para se entender como é definido a região intermediária, faz-se necessário, a título de conhecimento, compreender a região imediata. Haddad (2019, p.13) define como:

A Região Imediata é a área de extensão do polo da rede urbana (capitais ou grandes cidades), onde se localizam os principais serviços e decisões. A Região intermediária são as localidades menores, não diretamente unida territorialmente a este polo, ou seja, existe um espaço entre as duas localidades, porém, as dinâmicas econômica e social estão conectadas. São regiões que se ligam não pela unidade territorial, mas pela unidade dos negócios privados e dos serviços públicos.

Assim, essa nova divisão vem romper o paradigma das clássicas divisões geográficas que segundo Oliveira Neto (2021, p.28) eram “orientadas pela diferenciação de áreas que se davam pela análise dos elementos naturais, hoje, dão lugar a regiões subjetivadas que absorvem as mais diferentes paisagens, culturas e localidades a partir do critério da influência da rede urbana”. Conforme Haddad (2019) a nova divisão enfatiza os fatores relacionados a fluxos de gestão, rede urbana e hierarquia dos centros urbanos.

Sendo assim, em virtude das características supracitadas, faz-se necessário adotar tal classificação, no intuito de tentar captar o desempenho do segmento agropecuário, sob a ótica das regiões intermediárias do Nordeste.

3 Metodologia

3.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a região Nordeste, que possui área territorial de

1.552.175,42 km², correspondendo a 18,23% do território nacional, sendo a terceira maior região em área e com maior número de estados. A região é constituída por nove estados: Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. Sua população estimada para o ano de 2017 foi de 57.524.159, correspondente a aproximadamente 27,7% da população nacional (IBGE, 2022).

Para este estudo utilizou-se da classificação mais recente do IBGE (2017) que divide as grandes regiões brasileiras em intermediárias. Estas possuem a função de articular as regiões imediatas, por meio de um ponto central, como uma capital regional, uma metrópole ou até mesmo um centro urbano de extensão inferior, mas que seja significativo para o grupo de regiões imediatas. Dessa maneira, as regiões geográficas intermediárias são um intermédio entre as regiões imediatas e os estados.

No caso do Nordeste, ele possui 42 duas regiões intermediárias⁴. Mas para este estudo utilizou-se de 35 regiões, após a exclusão daquelas informações discrepantes. O critério adotado para exclusão das sete regiões intermediárias será explicado com mais detalhes nas subseções 3.2.1 e 4.1.

3.2 Descrição dos modelos de análise

Para se atingir os objetivos propostos, no presente estudo foram utilizados dois métodos, a saber: DEA e Tobit normal truncado. Em um primeiro estágio se utilizou o DEA e no segundo estágio o Tobit que terão suas metodologias abordadas nas subseções seguintes.

3.2.1 Análise Envoltória de Dados (DEA) – primeiro estágio

O DEA é uma metodologia não paramétrica, ou seja, que diferentemente das medidas paramétricas não precisa estabelecer uma fórmula funcional, já que a curva de eficiência é obtida por meio da otimização da programação linear matemática. Este método foi designado inicialmente para averiguar retornos constantes de escala, CCR ou em inglês *Constant Returns to Scale* (CRS) pelo autor Charnes *et al* (1978) em seguida Banker, Charnes e Cooper (1984) ampliaram o modelo com a inserção dos retornos variáveis de escala ou em inglês *Variable Returns to Scale* (VRS) (PEÑA, 2008).

Assim como todo método, o DEA possui vantagens e desvantagens na sua aplicação, as quais serão apresentadas no Quadro 1. No que tange as vantagens, atribuem ao modelo a possibilidade de esclarecer com maior domínio as complicações características da realidade, em relação com outros métodos de programação matemática (BRAGA; FERREIRA, 2011).

Quadro 1: Principais vantagens e desvantagens no uso do DEA

Vantagens	Desvantagens
Não exige o conhecimento da fórmula funcional da função de produção.	Não isola o problema resultante da interferência dos fatores estocásticos ou dos erros de medida sobre os resultados estimados.
Possibilita a análise com vários insumos e produtos.	
Detecta a posição de cada DMU, no que se refere aos escores de eficiência.	Os resultados são sensíveis a presença de <i>outliers</i> .
Mensura a eficiência a partir do melhor comportamento alcançado, ao invés de comparar com padrões ideais.	No que concerne ao tamanho da amostra, o número de DMUs deve ser no mínimo três vezes o somatório das variáveis (<i>inputs</i> e <i>outputs</i>).
Considera a maximização da eficiência pela ótica insumo e pela ótica produto.	

Fonte: Elaboração de própria com base em Souza, Pozo (2002); Jenkins e Anderson (2003); Braga e Ferreira (2011); a, e Guesmi et al. (2012).

⁴ São Luís, Santa Inês – Bacabal, Caxias, Presidente Dutra, Imperatriz, Teresina, Parnaíba, Picos, São Raimundo Nonato, Corrente - Bom Jesus, Floriano, Fortaleza, Quixadá, Iguatu, Juazeiro do Norte, Crateús, Sobral, Natal, Caicó, Mossoró, João Pessoa, Campina Grande, Patos, Sousa – Cajazeiras, Recife, Caruaru, Serra Talhada, Petrolina, Maceió, Arapiraca, Aracaju, Itabaiana, Salvador, Santo Antônio de Jesus, Ilhéus – Itabuna, Vitória da Conquista, Guanambi, Barreiras, Irecê, Juazeiro, Paulo Afonso e Feira de Santana.

No que se refere as desvantagens, a presente pesquisa, buscou ao máximo mitigar os efeitos delas nos resultados, através da exclusão das DMUs consideradas *outliers* (conforme detalhamento nas subseções 3.2.1 e 4.1), além do atendimento do tamanho da amostra aceitável, que conta com 1 produto e 6 insumos (Quadro 3) e 35 regiões intermediárias, como mostrado na subseção anterior.

Este instrumento possui a função de calcular os escores de eficiência das unidades tomadoras de decisão (DMUs – *Decision Making Units*), considerando os *inputs* e *outputs*, comparando com o comportamento das demais DMU's que realizam atividades semelhantes. A eficiência varia de 0 a 1 ou de 0% a 100%, sendo a DMU plenamente eficiente a que atingir 100% e então servirá de parâmetro para calcular as demais (BARBOSA; FUCHIGAMI, 2018). Em um primeiro momento, ao calcular a eficiência de determinadas unidades produtivas e se constatarem a eficiência máxima de um grupo de DMU estas poderão não ser mais eficientes, caso se incluam outras unidades no conjunto de dados (GUERREIRO, 2006).

A eficiência de cada DMU é calculada da seguinte maneira:

$$P_0 = \frac{\sum_{j=1}^M p_j y_{0j}}{\sum_{i=1}^N q_i x_{0i}} \quad (1)$$

Em que x é a quantidade de insumos i ($i = 1, 2, \dots, M$), y é quantidade de produto j ($j = 1, 2, \dots, M$), $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ e $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ referem-se aos conjuntos de pesos para agregação dos insumos e produtos, respectivamente. A unidade produtiva em análise será a DMU⁰ e P_0 mensura a produtividade da mesma, sendo calculada pela razão da agregação do produto pela agregação dos insumos (BELLONI, 2000). Porém, calculado desta maneira, a mensuração da eficiência presume a adoção de pesos para todos os estabelecimentos agropecuários do Nordeste. No entanto, devido aos empreendimentos agropecuários poderem designar distintos valores para fatores e produção e assumirem diferentes pesos, a atribuição de pesos se torna uma tarefa um tanto dificultosa. Para resolver este problema, utilizam-se os modelos CRS e VRS, descritos a seguir nas equações 4 e 5.

De acordo com Gomes e Baptista (2004), a eficiência econômica é constituída por dois elementos: a eficiência técnica e eficiência alocativa, sendo a primeira associada a habilidade de se utilizar uma determinada quantidade de insumos para se obter o máximo de produto e a segunda referente ao emprego ótimo de um conjunto de insumos, considerando seus preços relativos.

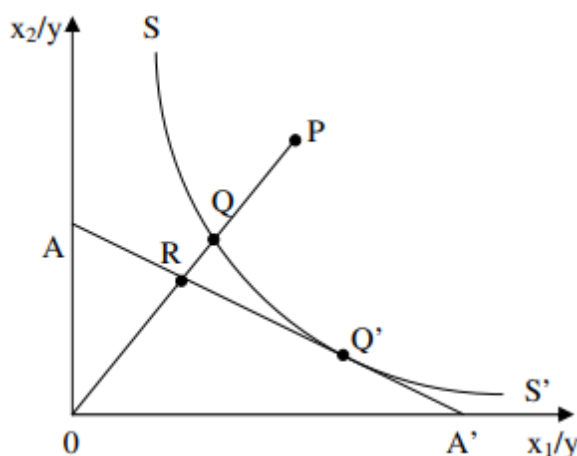
O modelo pode ser orientado ao *input* ou ao *output*, no primeiro caso os índices de eficiência são calculados pela mínima utilização dos insumos para gerar um dado produto, no segundo caso pretende-se maximizar a produção dado um conjunto de insumos fixos (GUERREIRO, 2006). A orientação utilizada para este estudo foi a *input* e pode ser ilustrada na Figura 1.

Considerando o modelo CCR, em que uma unidade produtiva utiliza dois tipos de insumos a saber x_1 e x_2 para obter o produto y . Neste caso SS' refere-se à curva isoquanta, ilustrando a combinação dos dois insumos para gerar a mesma quantidade de produto ou output ao longo da curva. O ponto P corresponde ao vetor de insumos que outra DMU usa para produzir seu produto, sendo sua ineficiência técnica obtida pela distância correspondente a QP resultante da utilização mínima dos inputs mantendo fixa a quantidade produzida. Assim a Eficiência Técnica relativa é dada da seguinte maneira:

$$ET = \frac{OQ}{OP} = 1 - \frac{QP}{OP} \quad (2)$$

Em que $0 < ET \leq 1$ e a unidade tecnicamente eficiente se situa no ponto Q isoquanta eficiente.

Figura 1: Medidas de eficiência com orientação insumo.



Fonte: Gomes e Baptista, 2004, p.94.

Quando a razão dos preços pelos insumos é conhecida (representada pela linha isocusto AA'), é possível calcular a Eficiência Alocativa, levando em conta que a unidade produtiva opere no ponto P, da seguinte forma:

$$EA = \frac{OR}{OQ} \quad (3)$$

Em que RQ corresponde a distância que indica a possibilidade de minimização nos custos produtivos que poderia ocorrer no ponto Q', referente a eficiência alocativa.

No caso da eficiência de escala a mensuração é dada pela razão do índice de eficiência do modelo CRS pelo escore de eficiência no VRS (GUERREIRO, 2006).

Entretanto, em casos em que se pretenda analisar o comportamento de múltiplas DMU que utilizem vários *inputs* para produzir diversos *outputs*, o cálculo para obtenção dos escores de eficiência de cada DMU torna-se mais complexo que o mostrado anteriormente, sendo mensurado por meio de um conjunto de dados ao qual resultará em fronteiras eficientes que representarão a situação desejável pelas unidades tomadoras de decisão e que servirão como base para análises comparativas entre as unidades (GOMES; BAPTISTA, 2004).

Esta pesquisa utilizou o DEA com retornos constantes de escala e com variáveis de escala, ambas com orientação ao insumo. A escolha da orientação *input*, foi baseada nas pesquisas de Sousa, Justo e Campos (2013), Barbosa e Sousa (2014) e Sousa, Campos e Chaves (2020).

Assim o modelo CCR é descrito por:

$$\text{MIN}_{\theta, \lambda} \theta, \text{ sujeito a: } -y_i + Y\lambda \geq 0, \theta x_i - X\lambda \geq 0, \lambda \geq 0 \quad (4)$$

Em que θ refere-se ao índice de eficiência da DMU e localiza-se $0 < \theta \leq 1$, classificando igual a um a DMU eficiente e igual a 0, totalmente ineficiente; λ o parâmetro constituído por um vetor $(n \times 1)$.

Quando se impõe uma restrição a convexidade o modelo descrito na equação (4) passa a ser denominado de modelo com retornos variáveis de escala (VRS), como se segue:

$$\text{MIN}_{\theta, \lambda} \theta, \text{ sujeito a: } -y_i + Y\lambda \geq 0, \theta x_i - X\lambda \geq 0, N_i\lambda=1, \lambda \geq 0 \quad (5)$$

A diferença entre os modelos VRS e CCR está no fato de o primeiro possuir a restrição $N_i\lambda$ que representa os retornos variáveis de escala, podendo ser positiva para retornos decrescentes de escala DRS (em inglês, *Decreasing Returns Scale*), nula para Retornos Constantes de Escala e negativas para Retornos Crescentes de Escala IRS (em inglês, *Increasing Returns Scale*) (GUERREIRO, 2006).

Como mencionado anteriormente, os escores de eficiência variam entre 0 e 1, quanto mais próximo de 0, mais ineficiente será a região intermediária, e quanto mais próxima de 1, mais eficiente esta será. Para classificação das medidas de eficiência seguiu-se o critério utilizado por Leal e Bessegato (2017) e Maciel, Khan e Rocha (2018), que estudaram, respectivamente, a eficiência na saúde nos estados brasileiros e a ecoeficiência e seus determinantes em 51 países do globo. Estes critérios estão apresentados no Quadro 2:

Quadro 2: Classificação das medidas de eficiência das regiões intermediárias do Nordeste.

Classes de eficiência	Grau de eficiência
$E \leq 0,25$	Muito baixo
$0,25 < E \leq 0,50$	Baixo
$0,50 < E \leq 0,75$	Médio
$0,75 < E < 1$	Alto
$E=1$	Totalmente eficiente

Fonte: Elaboração própria com base nos estudos de Bessegato (2017) e Maciel, Khan e Rocha (2018).

No entanto, antes de mensurar os escores de eficiência faz-se necessário identificar e remover os *outliers*, pois a presença de pelo menos uma informação deste tipo no conjunto de dados influenciará todos os outros escores de eficiência das DMUs (GOMES; BAPTISTA, 2004). Isso faz com que a fronteira de eficiência se desloque para cima devido à presença de uma observação muito eficiente e como a eficiência é calculada em comparação com uma *benckmark*, (DMU de referência), os escores de eficiência das demais poderão ser reduzidas (SOUZA; SOUZA, 2014).

Dessa forma, o presente trabalho, utilizou-se do método *jackstrap* para identificação dos possíveis *outliers* da amostra. De acordo com Sousa, Cribari-Neto e Stosic (2005), esta metodologia se utiliza da combinação da técnica de reamostragem por meio do *Bootstrap* com o teste *Jackknife*, que objetiva identificar as DMUs mais influentes da amostra, ou que possuem altas alavancagens (*leverages*).

Para este procedimento, esses autores recomendam considerar um conjunto de observações de forma aleatória, designado de bolhas. Estas bolhas correspondem ao intervalo de 10% a 20% do total das observações. Considerando esse intervalo, adotou-se para o presente trabalho 15% do total das 42 regiões intermediárias nordestinas, com 1000 replicações pelo método *Bootstrap*. O passo seguinte foi estimar a influência relativa de uma determinada região intermediária sobre as demais, em seguida estimou-se o ponto de corte que deve ser feito com base da função de *Heaviside*, como segue:

$$P(\tilde{l}_k) = \begin{cases} 1, & \tilde{l}_k \leq \tilde{l} \log(K) \\ 0, & \tilde{l}_k > \tilde{l} \log(K) \end{cases} \quad (6)$$

Em que: K corresponde ao tamanho total da amostra, ou as 42 regiões intermediárias do Nordeste; $P(\tilde{l}_k) = 1$ é a probabilidade da K -ésima região não ser um *outlier*; $P(\tilde{l}_k) = 0$, é a probabilidade da mesma ser um *outlier*. No que diz respeito ao ponto de corte, é calculado por meio da multiplicação entre a alavancagem média global $(\tilde{l}_k)$ e o logaritmo das 42 DMUs. Feito isso, de acordo com o procedimento proposto por estes autores para tratamento dos dados, excluem-se as observações discrepantes e mensura os escores de eficiência pelo DEA e compara com os escores calculados antes da retirada das DMUs discrepantes.

3.2.2 Tobit normal truncado – segundo estágio

Após a estimação dos escores de eficiência técnica e de escala por meio do método DEA, a segunda etapa desta pesquisa, consiste em identificar os principais elementos que impactam a eficiência de escala. Apesar de os trabalhos anteriores analisarem os determinantes pela ótica técnica, seja por CRS ou por VRS, neste trabalho, a título de inovação, pretendeu-se analisar a influência de determinados fatores pela ótica de escala. Para tal, apesar de a maioria dos trabalhos utilizarem regressão quantílica, este devido à variável dependente se concentrar em determinados valores, utilizou-se o método Tobit, desenvolvido originalmente por Tobin (1958), que assume distribuição normal censurada ou truncada, sendo usado nesta pesquisa o Tobit com normalidade truncada.

Caso os dados fossem estimados por meio dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), os coeficientes estimados seriam enviesados. Então, para resolver este problema, estima-se o modelo por Máxima Verossimilhança (MV) (GREENE, 2012).

De posse dos escores de eficiência de escala de cada região intermediária nordestina e de determinadas variáveis que possam explicar a eficiência, definiu-se o seguinte modelo:

$$Ef_{escala} = \beta_0 + \beta_1 Padub + \beta_2 Pirrig + \beta_3 Pfin + \beta_4 Area + \beta_5 Pcpragas + \beta_6 Ppdireto + \beta_7 Pecnpj + \beta_8 Ppmedio + \beta_9 Passist + \beta_{10} Prcult + \beta_{11} Pcnível + u_i \quad (7)$$

Em que: Ef_{escala} refere-se à variável dependente; β são os coeficientes de correlação parcial, as variáveis associadas a estes coeficientes, são as variáveis explanatórias ou explicativas da variável dependente, cuja descrição encontra-se no Quadro 4 e, u_i é o termo de erro.

No que concerne à regra de decisão para a significância dos coeficientes das variáveis, avaliou-se pelo P-valor, adotando tolerância de até 0,10 ou 10% para coeficientes significantes. Sendo os coeficientes com P-valor acima de 0,10, insignificantes.

3.3 Variáveis utilizadas na pesquisa

Para este estudo foram consideradas dois grupos de variáveis. A priori, para análise dos escores de eficiência as variáveis *inputs* e *outputs* consideradas, estão apresentadas no Quadro 3. Para o segundo estágio, correspondente a análise por meio do modelo Tobit normal truncado selecionou-se variáveis consideradas determinantes da eficiência de escala, apresentadas no Quadro 4.

De acordo com a literatura que versa sobre o tema, buscou-se variáveis consideradas importantes para explicar a eficiência das regiões intermediárias nordestinas. As mesmas estão apresentadas no Quadro 4.

No tocante às fontes de dados, em ambos os modelos foram utilizados dados do censo agropecuário de 2017, período mais atual com dados disponíveis para o presente objetivo do estudo.

Quadro 3: Variáveis utilizadas consideradas no modelo DEA.

Variáveis		Descrição	Fundamentação
Output	Receita agropecuária	Valor das receitas ou rendas obtidas pelos estabelecimentos agropecuários (R\$)	Barbosa e Sousa (2014)
	Despesas com a agropecuária	Valor das despesas oriundas dos estabelecimentos agropecuários (R\$)	Silva <i>et al</i> (2019); Barbosa e Sousa (2014)
Inputs	Área agropecuária	Área dos estabelecimentos agropecuários (hectare)	Silva <i>et al</i> (2019); Luna <i>et al</i> (2022); Barbosa e Sousa (2014)
	Mão de obra	Pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários	Silva <i>et al</i> (2019); Luna (2020); Souza, Campos e Chaves (2020)
	Número de animais	Número de animais por tipo e espécie (unidades)	Pellenz, Almeida e Lirio (2021)
	Financiamento	Número de estabelecimentos que obtiveram financiamento	Pellenz, Almeida e Lirio (2021)
	Número de máquinas e implementos	Quantidade de tratores, máquinas e implementos nos estabelecimentos agropecuários (unidades)	Barbosa e Sousa (2014)

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 4: Variáveis determinantes da eficiência das regiões intermediárias nordestinas, consideradas no modelo Tobit normal truncado.

Variáveis		Descrição	Sinal esperado	Fundamentação
Variável dependente	Efescala	Refere -se aos escores de eficiência de escala das regiões intermediárias do Nordeste.	Variável resposta	Nogueira (2005); Barbosa <i>et al</i> (2013); Oliveira (2022); Freitas; Teixeira; Braga (2014)
Variáveis explanatórias	Padub	Participação dos estabelecimentos que realizam adubação no solo.	+	Nogueira (2005); Barbosa <i>et al</i> (2013); Oliveira (2022)
	Pirrig	Participação dos estabelecimentos que utilizam irrigação.	+	Nogueira (2005); Freitas; Teixeira; Braga (2014)
	Pfin	Participação dos estabelecimentos que receberam financiamento.	+	Barbosa <i>et al</i> (2013); Oliveira (2022)
	Area	Área total dos estabelecimentos agropecuários.	-	Almeida (2012); Freitas; Teixeira; Braga (2014); Sobreira <i>et al</i> (2016); Soares e Spolador (2019)
	Pcpragas	Participação dos estabelecimentos que realizam controle de pragas	+	Nogueira (2005); Soares e Spolador (2019)
	Ppdireto	Participação dos estabelecimentos que utilizam plantio direto.	+	Soares e Spolador (2019)
	Pecnpj	Participação dos estabelecimentos que possuem Cadastro Geral de Pessoa Jurídica (CNPJ)	+	Barbosa <i>et al</i> (2013)
	Ppmedio	Participação dos estabelecimentos em que o produtor possui ensino médio regular.	+	Souza Filho <i>et al</i> (2004); Sousa; Justo; Imori (2011); Campos, 2013; Oliveira (2022)
	Passist	Participação dos estabelecimentos agropecuários que receberam assistência técnica.	+	Oliveira (2022); Nogueira (2005); Freitas; Teixeira; Braga (2014); Barbosa <i>et al</i> (2013)
	Prcult	Participação dos estabelecimentos que utilizam rotação de culturas	+	Fortini; Braga; Freitas (2018); Soares e Spolador (2019); Oliveira (2022)
	Pcnível	Participação dos estabelecimentos que utilizam plantio em curva de nível	+	Nogueira (2005)

Fonte: Elaboração própria.

4 Resultados e discussão

4.1 Análise dos escores de eficiência no setor agropecuário para as regiões intermediárias do Nordeste (NE)

Conforme especificado na seção anterior, o método DEA é altamente sensível à presença de observações discrepantes. Então, para evitar que os resultados da análise não fossem prejudicados pela presença de *outliers*, foi necessário identificar e remover as DMUs com esta característica. Para tal objetivo, conforme critério apresentado na

descrição do método analítico, o ponto de corte considerado foi de 0,0094. Deste modo, constatou-se que das 42 regiões intermediárias nordestinas, sete delas (Floriano, Fortaleza, Iguatu, Sobral, Recife, Aracaju e Barreiras) foram identificadas como *outliers* e dessa forma foram excluídas do conjunto de dados.

Seguindo o critério de Gomes (1990) que considera alta discrepância nos dados quando o CV é maior que 30%, observa-se na Tabela 1 que todas as variáveis consideradas no modelo DEA apresentaram essa característica. Com destaque para a variável que reflete o número de animais dos estabelecimentos agropecuários do Nordeste em 2017, que apresentou maior CV (101,92%). Nesta destacam-se, as regiões intermediárias, Sousa – Cajazeiras com o menor número de animais (673.991) e Caruaru com a maior quantidade de cabeças de animais (22.354.962). Já o menor CV (52,94%) foi verificado na variável que capta o número de pessoas ocupadas nos estabelecimentos agropecuários das regiões intermediárias do Nordeste, em que se destaca a região intermediária de Feira de Santana com 47.6152 pessoas empregadas, ao passo que Caicó empregou 31.348 pessoas nos estabelecimentos agropecuários.

Tabela 1 – Estatística descritiva das variáveis utilizadas no modelo DEA.

Variáveis	Mínimo	Média	Máximo	Desvio padrão	CV* (%)
Receitas com a produção(mil)	315.073,00	147.719,23	463.814,00	929.046,92	62,89
Qtde estabelecimentos que obtiveram financiamento	1.987,00	689,80	1.726,00	379,62	55,08
Valor das despesas (por mil)	75.335,00	747.273,06	2.965.960,00	616.421,94	82,49
Area dos estabelecimentos(ha)	289.710,00	1.638.868,60	6.298.586,00	1.223.381,05	74,65
Pessoas ocupadas	31.348,00	185.092,77	476.152,00	97.984,60	52,94
Cabeças de animais	673.991,00	406.738,57	22.354.962,00	4.145.541,20	101,92
Tratores, máquinas e implementos	93,00	2.652,80	9.448,00	2.292,52	86,42

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário (2017).

Nota: * refere-se ao Coeficiente de Variação.

Para fins comparativos, a Tabela 2, apresenta os escores de eficiência técnica e de escala para as 35 regiões intermediárias do Nordeste, antes e depois da exclusão das DMUs indicadas como *outliers* pelo método *jackstrap*. Para ser plenamente eficiente, como especificado na metodologia, o escore de eficiência da DMU deve se igualar a unidade, caso contrário, será classificada como totalmente ineficiente quando a eficiência é igual a zero ou menos eficiente quando o escore de eficiência é inferior à unidade.

Como se observa na Tabela 2, após a exclusão das DMUs consideradas *outliers*, os escores de eficiência técnica e de escala melhoraram consideravelmente. No grupo da eficiência simples, sem a retirada dos *outliers*, observa-se que pelo método CRS, 22 regiões foram classificadas como menos eficientes. Já no segundo grupo, denominada de eficiência robusta, a quantidade de DMUs menos eficientes apresentou redução de cerca de 40,9% quando relacionada com o primeiro grupo. Pelo método VRS, 19 DMUs foram identificadas como menos eficientes no primeiro grupo, no que concerne ao segundo grupo, a quantidade reduziu em aproximadamente 57,9%. Com relação à eficiência de escala, observa-se uma queda de 35,29% depois da exclusão dos *outliers*.

Como se verifica na Tabela 3, ao se comparar o grau de heterogeneidade dos escores de eficiência, constata-se que os escores de eficiência técnica que possuem retornos constantes de escala (CRS) se apresentaram mais discrepantes que os escores com retornos variáveis de escala (VRS) e também de escala. Isso também foi constatado nas pesquisas de Barbosa *et al* (2013) que estudaram a eficiência técnica e seus condicionantes no setor agropecuário; e na pesquisa de Barbosa e Sousa (2014) que analisaram a eficiência técnica e de escala da agropecuária no Ceará.

Tabela 2 – Eficiência simples e robustas dos escores de eficiência técnica e de escala das Regiões Intermediárias do Nordeste, em 2017.

Região Intermediária	Eficiência Simples			Eficiência Robusta*		
	CRS	VRS	Eficiência de Escala	CRS	VRS	Eficiência de Escala
Parnaíba – PI	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Picos – PI	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
São Raimundo Nonato - PI	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Corrente - Bom Jesus - PI	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Crateús – CE	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Caicó – RN	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
João Pessoa - PB	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sousa – Cajazeiras - PB	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Maceió – AL	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Itabaiana – SE	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Salvador – BA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Santo Antônio de Jesus - BA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vitória da Conquista - BA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Santa Inês – Bacabal - MA	0,97	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00
Natal – RN	0,96	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00
Juazeiro – BA	0,88	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00
Juazeiro do Norte - CE	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
São Luís - MA	0,95	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00
Ilhéus – Itabuna - BA	0,81	0,82	0,99	1,00	1,00	1,00
Petrolina – PE	0,97	0,99	0,98	1,00	1,00	1,00
Caruaru – PE	0,86	0,92	0,94	1,00	1,00	1,00
Imperatriz - MA	0,93	1,00	0,93	1,00	1,00	1,00
Guanambi - BA	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99	1,00
Serra Talhada - PE	0,80	0,84	0,95	0,88	0,88	1,00
Patos – PB	0,90	0,91	0,99	0,99	1,00	0,99
Arapiraca - AL	0,94	0,95	0,99	0,97	0,98	0,99
Mossoró – RN	0,80	0,80	1,00	0,94	0,95	0,99
Paulo Afonso - BA	0,87	0,88	0,98	0,87	0,89	0,98
Irecê – BA	0,85	0,87	0,98	0,85	0,87	0,98
Campina Grande - PB	0,89	0,90	0,99	0,96	1,00	0,96
Teresina – PI	0,78	0,79	0,99	0,92	0,98	0,94
Quixadá – CE	0,87	0,89	0,98	0,93	1,00	0,93
Feira de Santana - BA	0,85	1,00	0,85	0,90	1,00	0,90
Caxias – MA	0,75	0,91	0,82	0,78	0,91	0,86
Presidente Dutra - MA	0,84	1,00	0,84	0,85	1,00	0,85

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário (2017).

Nota: * refere-se às medidas de eficiência sem *outliers*.

Tabela 3 – Estatísticas descritivas das medidas de eficiência técnica e de escala robustas* das regiões geográficas intermediárias do Nordeste brasileiro.

Modelos de eficiência	Mínimo	Média	Máximo	Desvio padrão	CV (%)
Eficiência Técnica (CRS)	0,78	0,97	1	0,06	5,93
Eficiência Técnica (VRS)	0,87	0,98	1	0,04	3,78
Eficiência de Escala	0,85	0,98	1	0,04	3,98

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário (2017).

Nota: * refere-se às medidas de eficiência sem *outliers*.

No que diz respeito aos escores mínimos de eficiência, verifica-se que a região intermediária que apresentou a menor eficiência foi Caxias, com escore de eficiência técnica de 0,78 pelo CRS. Com relação à eficiência mensurada pelo VRS, constatou-se que a região intermediária de Irecê, foi responsável pelo menor escore de eficiência, apresentando eficiência de 0,87. Já na eficiência de escala, a menor eficiência foi verificada na região de Presidente Dutra, que mostrou eficiência de 0,85. Indicando que estas regiões, Caxias, Irecê e Presidente Dutra, podem reduzir a utilização dos insumos em 22% $[(1-0,78) \times 100]$; 13% $[(1-0,87) \times 100]$ e 15% $[(1-0,85) \times 100]$, respectivamente, mantendo o produto inalterado para atingir a eficiência máxima de 1.

Concernente à redução em termos médios dos insumos, verifica-se que sob a pressuposição de retornos constantes de escala, as regiões intermediárias podem reduzir em média 3% $[(1-0,97) \times 100]$; sob a pressuposição de retornos variáveis de escala, estas podem reduzir a utilização dos insumos em 2% $[(1-0,98) \times 100]$. Concernente a eficiência de escala, essas regiões podem melhorar sua escala de produção em média 2%, mantendo inalterado suas produções.

No que diz respeito às medidas de eficiência média, constata-se que as obtidas nesta pesquisa, que são de 0,97 para o modelo CRS; 0,98 para o VRS e 0,98 para a eficiência de escala, se mostraram próximas às encontradas por Santos (2002), que foram de modo respectivo, 0,90; 0,97 e 0,93. Sendo superiores às médias encontradas por Barbosa e Sousa (2014) que são 0,55; 0,65 e 0,85, respectivamente; Barbosa *et al* (2013) que obtiveram escores de 0,43; 0,46 e 0,93 e também na pesquisa de Sobreira *et al* (2016) obtiveram escores de, respectivamente, 0,43; 0,61 e 0,72 para os modelos CRS, VRS e eficiência de escala. Uma possível explicação para este fato é que, como a eficiência é relativa quando se coloca comparada às regiões mais eficientes, faz com que a eficiência relativa das menos eficientes caia ainda mais.

A Tabela 4, mostra as distribuições absolutas e relativas em classes de eficiência técnica e de escala no setor agropecuário das regiões intermediárias nordestinas, em 2017.

Tabela 4 – Distribuições absolutas e relativas da eficiência no setor agropecuário para as regiões intermediárias do Nordeste conforme intervalos de escores de eficiência técnica e de escala, em 2017.

Medidas de eficiência	Eficiência Técnica				Eficiência de Escala	
	CRS		VRS			
	Fi	%	Fi	%	Fi	%
$E \leq 0,25$	0	0	0	0	0	0
$0,25 \leq E \leq 0,50$	0	0	0	0	0	0
$0,50 < E \leq 0,75$	0	0	0	0	0	0
$0,75 \leq E < 1$	13	37,14	8	22,86	11	31,43
$E = 1$	22	62,86	27	77,14	24	68,57
Total	35	100,00	35	100,00	35	100,00

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário (2017).

Nota: Fi, refere-se à frequência absoluta.

Os dados contidos na Tabela 4 revelam que neste trabalho não houve nenhuma DMU com eficiência baixa ou média, haja vista que tanto no primeiro intervalo ($E < 0,25$) como no segundo ($0,25 \leq E \leq 0,50$) essa classificação não foi verificada. Estes resultados não corroboram com os estudos de Nogueira (2005) que constatou a existência de 17% das DMUs com eficiência inferior a 0,5, sob a pressuposição de retornos constantes de escala e 4% sob a pressuposição de retornos variáveis de escala. Barbosa *et al* (2013) obtiveram, no mesmo intervalo, 68,7% das DMUs com eficiência inferior a 0,5 no modelo CRS, 62,59% sob retornos variáveis de escala e 0,38% na eficiência de escala. Embora esses valores diverjam dos valores encontrados por Nogueira (2005) e Barbosa *et al* (2013), estes além de reportarem a análise para as microrregiões brasileiras para o ano 1995/1996 e para os municípios do estado do Ceará em 2006, respectivamente, utilizaram insumos e produtos diferentes dos usados nesta pesquisa.

Assim, como a eficiência é mensurada fazendo um comparativo entre as DMU eficientes, um elevado número de DMU, como no caso dos trabalhos mencionados, levará em consideração uma heterogeneidade maior nos espaços agrícolas, o que pode restringir a plena eficiência às localidades mais desenvolvidas.

No que diz respeito às DMUs eficientes, constata-se que das 35 regiões intermediárias nordestinas consideradas neste estudo, 62,86% se mostraram plenamente eficientes no

modelo CRS, 77,14% no modelo VRS e 68,57% na eficiência de escala. Esses resultados se mostraram próximos aos obtidos por Santos (2002) que foram de 62,1%, 79,3% e 62,1%, respectivamente, para os modelos CRS, VRS e eficiência de escala. Foram superiores aos estudos de Oliveira (2022), que apresentaram no modelo CRS para o ano de 2006 frequência relativa de 0,95% para DMUs com plena eficiência e 0,48% para o ano de 2017; e para a eficiência pelo VRS de 12,75% e 6,81% para os dois anos, respectivamente. Apesar de os resultados não corroborarem com os obtidos por Oliveira (2022) que procederam à análise para os municípios nordestinos para os anos 2006 e 2017, ano em comum da presente análise, esta pesquisa se diferencia por usar a mais recente organização regional, de região intermediária, o que pode ter refletido no resultado. Além disso, os insumos e produtos utilizados não são iguais aos considerados neste estudo.

Segundo Haddad (2019) a nova classificação do IBGE em regiões intermediárias considera as transformações ocorridas ao longo dos anos na estrutura produtiva das localidades, mudanças estas no que diz respeito às dinâmicas locais e a conectividade dos espaços, ou seja, reconhece-se que não existe uma barreira entre os territórios e os mesmos se complementam. Assim, a nova divisão enfatiza os fatores relacionados aos fluxos de gestão, rede urbana e hierarquia dos centros urbanos.

Concernente às regiões intermediárias do nordeste brasileiro classificadas com alta eficiência, mas com eficiência inferior ao desejável (1), devido possuírem escores de eficiência superior a 0,75 e inferiores a 1, a partir da Tabela 4 pode-se constatar que pelo método CRS, 37,14% apresentaram essa característica; 22,86% pelo modelo VRS e 31,47% na eficiência de escala, indicando, portanto, a necessidade de os estabelecimentos agropecuários das regiões reduzirem a utilização dos insumos produtivos (despesas com a agropecuária, área agropecuária, mão de obra, número de animais, financiamento e número de máquinas e implementos) para alcançarem a eficiência máxima, mantendo o produto inalterado (receita agropecuária).

4.2 Análise de benchmarks

O modelo DEA calcula a eficiência de forma relativa. Antes identifica as regiões intermediárias nordestinas totalmente eficientes ou *benchmark* e em seguida calcula os escores de eficiência das demais com base nas primeiras. Para tanto, baseado no critério adotado por Bonato *et al* (2022), apresenta-se na Tabela 5 a distribuição de frequência absoluta e relativa à quantidade de vezes que as regiões *benchmarks* apareceram como referência para as regiões menos eficientes na minimização dos insumos agropecuários, pelos métodos CRS e VRS.

Como se verifica na Tabela 5, pela pressuposição de retornos constantes de escala, as regiões intermediárias de Sousa – Cajazeiras e João Pessoa, foram as que apresentaram maiores frequências comparativas em relação às menos eficientes, haja vista que apresentaram frequência relativa de 21,57% e 15,69%, respectivamente. No que diz respeito às regiões *benchmarks* identificadas por retornos variáveis de escala, Sousa – Cajazeiras e Picos apresentaram-se de maneira majoritária como referência para as regiões menos eficientes, com frequência de 18,18% e 12,12%, respectivamente. Dessa forma, conclui-se que as regiões menos eficientes, de maneira geral, devem se espelhar nas práticas utilizadas pelas regiões referências (*benchmarks*) como forma de atingir a plena eficiência na minimização dos insumos produtivos.

O desempenho destas regiões pode estar associado, às políticas de estímulo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), investimento em infraestrutura, políticas públicas de crédito, irrigação, assistência técnica, entre outras. O fato de essas regiões serem referência pode ser devido ao processo de desigualdade instaurado no Nordeste, sendo necessário que se intensifiquem políticas públicas de

desenvolvimento rural de forma que englobe um número maior de produtores na região para poderem adquirir máquinas e implementos agrícolas e assim melhorar a eficiência técnica na redução de mão de obra e fator terra.

Tabela 5 – Distribuição da frequência absoluta e relativa à quantidade de vezes que as regiões *benchmarks* apareceram para as regiões intermediárias nordestinas menos eficientes, pela pressuposição de retornos constantes de escala (CRS) e retornos variáveis de escala (VRS) em 2017.

Benchmarks	Eficiência técnica			
	CRS		VRS	
	Fi	%	Fi	%
Caicó – RN	2	3,92	1	3,03
Campina Grande – PB	0	0,00	1	3,03
Caruaru – PE	3	5,88	1	3,03
Corrente - Bom Jesus – PI	3	5,88	1	3,03
Imperatriz – MA	1	1,96	1	3,03
Itabaiana – SE	3	5,88	3	9,09
João Pessoa – PB	8	15,69	3	9,09
Maceió – AL	0	0,00	2	6,06
Natal – RN	0	0,00	1	3,03
Parnaíba – PI	3	5,88	1	3,03
Picos – PI	1	1,96	4	12,12
Salvador – BA	2	3,92	1	3,03
Santo Antônio de Jesus - BA	6	11,76	3	9,09
São Raimundo Nonato - PI	4	7,84	1	3,03
Sousa – Cajazeiras – PB	11	21,57	6	18,18
Vitória da Conquista – BA	4	7,84	3	9,09
Total	51	100,00	33	100,00

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário (2017).

Nota: Fi, refere-se à frequência absoluta.

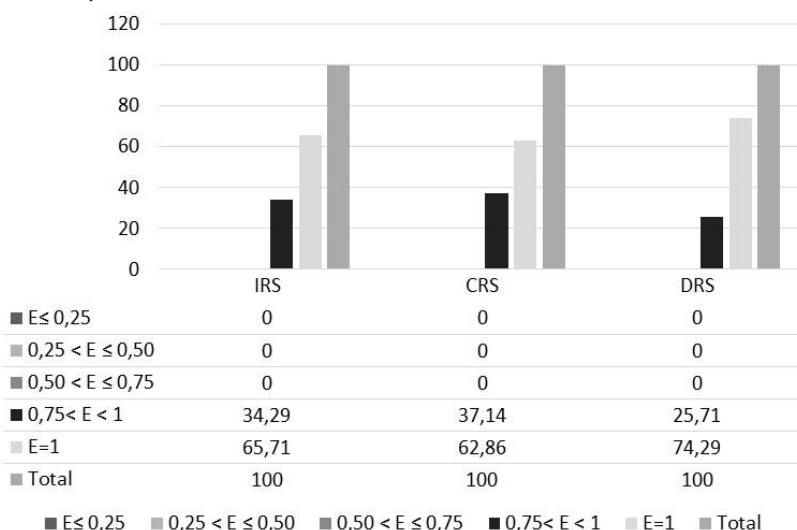
De acordo com Barbosa e Sousa (2014) as políticas direcionadas a inserção de novas tecnologias ao processo produtivo, programas educacionais, investimento em infraestrutura, distribuição e comercialização dos produtos agrícolas podem influenciar positivamente a eficiência técnica. Segundo Oliveira (2022) mesmo o Estado implementando políticas de crédito, como o Programa Nacional de Agricultura Familiar (PRONAF) com o objetivo de estimular o desenvolvimento rural, estas políticas não estão isentas de deficiências, sendo necessário que as autoridades repensem as políticas de maneira a alcançar uma maior quantidade de produtores para elevar o progresso tecnológico e assim se eleve a eficiência técnica dos produtores rurais do Nordeste.

4.3 Análise da eficiência por retornos de escala

Apesar de a eficiência técnica ser mais enfatizada por retornos constantes de escala (que seria a situação ótima) e pela eficiência com retornos variáveis, este trabalho também abordou a eficiência com retornos crescentes e decrescentes. O Gráfico 1, apresenta a distribuição dos escores de eficiência das DMUs conforme modelos IRS, CRS e DRS.

Como se observa no Gráfico 1, a maior parcela das DMUs se mostrou plenamente eficiente nos três tipos de retornos. No que concerne ao retorno crescente, 65,71% se mostraram totalmente eficientes, indicando que atuam sem desperdício e abaixo da escala ótima, sugerindo que estas aumentem seus produtos para alcançar o ponto ótimo de produção, e 34,29% apresentaram eficiência alta, apontando que estas regiões atuam abaixo da escala ótima com usos excessivos de insumos, podendo reduzir estes para se tornarem plenamente eficientes.

Gráfico 1 – Distribuição da frequência relativa dos escores de eficiência por intervalo de classes, segundo retorno crescente, constante e decrescente nas regiões intermediárias nordestinas, em 2017.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário (2017).

Quando se parte para a análise dos retornos constantes, percebe-se que 62,86% das regiões operam em escala ótima sem desperdício de insumos, e 37,14% operam em escala ótima, mas utilizam os insumos de maneira excessiva.

Concernente ao retorno decrescente, observa-se que concentra 74,29% de DMUs eficientes, sendo a maior participação quando comparado aos demais tipos de retornos. Isso sugere que essas regiões atuam acima da escala ótima de produção, sem desperdícios de insumos. Porém, para chegarem à escala ótima, precisam reduzir seu nível de produção. Com relação as menos eficientes, observa-se que correspondem a 25,71% do total das regiões intermediárias, sugerindo que estas estavam operando acima da escala ótima, mas com uso excessivo de insumos, tornando necessário minimizar a utilização dos recursos para se tornarem eficientes.

4.4 Determinantes da eficiência na agropecuária

Concernente a análise de segundo estágio desta pesquisa, inicialmente apresentaram-se as estatísticas descritivas das variáveis usadas no modelo Tobit normal truncado (Tabela 6), posteriormente, se analisou os fatores determinantes da eficiência de escala das 35 regiões intermediárias nordestinas em 2017 (Tabela 7).

Como pode se observar na Tabela 6, nenhuma das variáveis investigadas apresentaram alta discrepância ($30 >$) em torno da média. No entanto, quando se analisa o comportamento individual das variáveis usadas no modelo Tobit, verifica-se que a variável dependente que representa a eficiência de escala (EfEscala) das 35 regiões intermediárias nordestinas, apresentou o menor CV (0,040%). Na qual se evidenciam as regiões intermediárias, Presidente Dutra com a menor eficiência (0,851) e com máxima eficiência (1,000) as regiões intermediárias: São Luís, Santa Inês – Bacabal, Imperatriz, Parnaíba, Picos, São Raimundo Nonato, Corrente - Bom Jesus, Juazeiro do Norte, Crateús, Natal, Caicó, João Pessoa, Sousa – Cajazeiras, Caruaru, Serra Talhada, Petrolina, Maceió, Itabaiana, Salvador, Santo Antônio de Jesus, Ilhéus – Itabuna, Vitória da Conquista, Guanambi e Juazeiro.

Concernente aos determinantes da eficiência, tem-se que a variável que representa a participação dos estabelecimentos agropecuários nordestinos que realizam a prática de plantio direto (Ppdireto), se destacou com maior CV (1,162%). Nela destacam-se, as regiões intermediárias de Picos com menor participação de estabelecimentos que adotam tal prática de conservação (0,003%) e Presidente Dutra com a maior participação de empreendimentos agrícolas que realizam plantio direto (14,445%).

No que tange a menor discrepância do grupo de determinantes, observa-se na variável que retrata a participação dos estabelecimentos nordestinos que realizam controle de pragas (Pcpragas) que apresentou CV de 0,129%. Em que a região intermediária de Santo Antônio de Jesus apresentou o menor percentual de estabelecimentos adotantes de controle de pragas (56,441%) e a região intermediária de Corrente - Bom Jesus a menor participação de estabelecimentos que adotam o manejo de pragas (93,564%).

Tabela 6. Estatísticas das variáveis dependente e explicativas utilizadas no modelo Tobit normal truncado.

Variáveis	Mínimo	Média	Máximo	Desvio padrão	CV (%)
EfEscala	0,851	0,982	1,000	0,039	0,040
Padub	3,155	27,713	72,759	18,884	0,681
Pirrig	2,025	9,959	23,438	5,866	0,589
Pfin	5,821	13,151	22,372	3,408	0,259
Area	289.710,000	1.638.868,600	6.298.586,000	1.223.381,051	0,746
Pcpragas	56,414	80,755	93,564	10,441	0,129
Ppdireto	0,003	2,638	14,445	3,064	1,162
Pecnpj	0,071	0,294	0,874	0,221	0,751
Ppmedio	6,504	10,317	15,072	2,141	0,208
Passist	2,287	9,117	23,032	5,530	0,607
Prcult	5,121	14,056	36,924	7,329	0,521
Pcnível	0,035	2,340	7,915	1,749	0,748

Fonte: Elaboração própria. com base nos dados do Censo Agropecuário (2017).

Esta seção ainda apresenta a influência das principais variáveis condicionantes da eficiência de escala das 35 regiões intermediárias nordestinas em 2017. Para tanto, foi realizada uma regressão Tobit normal truncado e os resultados da regressão estão apresentados na Tabela 7. A priori foi realizado o teste de Wald chi2 para analisar a validade do modelo, e pelo p - valor do teste infere-se que o modelo é valido ao nível de significância de 1%, ou seja, há pelo menos um coeficiente na regressão diferente de zero.

Tabela 7. Resultados da regressão Tobit normal truncado com a eficiência de escala.

Variáveis	Coefficiente	Erro Padrão	Z	P > z
Constante	0,8409733	0,454816	1,85	0,064*
Padub	0,0061736	0,002339	2,64	0,008***
Pirrig	0,116862	0,0061302	1,91	0,057*
Pfin	0,01087	0,0046259	2,35	0,019**
Area	-5,22e ⁻⁰⁸	2,10e ⁻⁰⁸	-2,49	0,013**
Pcpragas	-0,0018427	0,005095	-0,36	0,718 ^{NS}
Ppdireto	0,0042582	0,0046437	0,92	0,359 ^{NS}
Pecnpj	0,08807770	0,1239552	0,71	0,477 ^{NS}
Ppmedio	0,0258555	0,0147074	1,76	0,079*
Passist	-0,0082833	0,0028481	-2,91	0,004***
Prcult	-0,0173486	0,0072145	-2,40	0,016**
Pcnível	-0,02376669	0,103372	-2,30	0,021**
/Sigma	0,0100863	0,0023298	4,33	0,000***
N obs truncadas			15	
Log likelihood			57,247806	
Wald chi2 (11)			231,21	
Prob> chi2			0,0000***	

Fonte: Elaboração própria. com base nos dados do Censo Agropecuário (2017).

*p < 0,10; **p < 0,05; ***p < 0,01.

Concernente a análise de significância individual, observa-se na Tabela 7, que das 11 variáveis utilizadas, três delas (participação dos estabelecimentos que realizam controle de pragas, participação dos estabelecimentos que realizam plantio direto e participação dos estabelecimentos que possuem CNPJ não apresentaram coeficientes com significância estatística, indicando que não tem como mensurar de forma isolada o efeito parcial dessas variáveis na variável dependente.

No que se refere às variáveis com coeficientes significantes para explicar a eficiência, tem-se: participação dos estabelecimentos que realizaram adubação, que utilizaram irrigação, que tiveram acesso ao financiamento e participação dos produtores do estabelecimento com ensino médio regular, apresentaram relação positiva com a eficiência de escala.

De acordo com Barbosa *et al* (2013) e Oliveira (2022) a utilização de adubos nos estabelecimentos, possibilita a elevação da produtividade do solo, melhorando assim, a eficiência dos estabelecimentos agropecuários. No que se refere à influência da irrigação na eficiência de escala, concorda com o esperado, haja vista que o Nordeste brasileiro é uma das áreas mais vulneráveis no que concerne à questão dos recursos hídricos, e que a utilização deste recurso também eleva a produtividade dos solos nordestinos. No entanto, este resultado não foi confirmado por Nogueira (2005), que ao direcionar o estudo para a agropecuária brasileira, obteve que a irrigação não influenciou a eficiência no segmento.

O resultado obtido para a variável que capta o acesso ao financiamento também concorda com o esperado, pois a região é historicamente marcada pelo êxodo rural, pobreza e pelas dificuldades de práticas agrícolas dadas principalmente pela escassez de recursos hídricos, então a expansão do crédito agrícola influencia positivamente, uma vez que os produtores podem ampliar seus investimentos e elevar sua produtividade, elevando a renda e reduzindo o êxodo rural. Entretanto Barbosa *et al* (2013) constatou relação inversa entre a eficiência e financiamento.

Com relação aos produtores com ensino médio regular, este resultado concorda com o esperado sendo confirmado por Sousa, Justo e Campos (2013) e Oliveira (2022) que identificaram que produtores com maior nível de instrução afetam positivamente a eficiência devido a maior facilidade de compreensão de inovações técnicas agrícolas.

No que se refere às variáveis com coeficientes significantes para explicar a eficiência de escala, mas que se apresentaram como redutoras desta, tem-se: área total dos estabelecimentos, participação dos estabelecimentos que receberam assistência técnica, que realizaram rotação de cultura e que utilizaram plantio em curva de nível. A influência da variável área total, está de acordo com o esperado, haja vista que a elevação da produtividade não está relacionada a grandes extensões de terras, e isso foi enfatizado após o fenômeno da revolução verde, em que um produtor pode elevar sua produção com espaço relativamente pequeno desde que adote as técnicas apropriadas na propriedade. Sendo confirmada por Sobreira *et al* (2016), que também identificou essa relação inversa para os municípios baianos.

Assim como neste estudo, Campos (2011) e Oliveira (2022) identificaram relação inversa entre a eficiência e a assistência técnica, segundo o primeiro autor, este resultado sugere que a explicação para isso, pode estar na defasagem temporal entre o momento de recebimento das visitas dos técnicos e a resposta na produção, pois alguns dos produtores só procuram ajuda especializada quando percebem alguma deficiência no seu sistema produtivo. Entretanto, este resultado não corrobora com os encontrados por Nogueira (2005), Sousa, Justo e Campos (2013) e Barbosa *et al* (2013) que identificaram relação positiva entre a eficiência técnica e assistência técnica, sugerindo que o aumento da proporção de estabelecimentos que recebem assistência técnica eleva a eficiência na agropecuária, indicando a importância da política de assistência técnica.

No que se refere ao efeito da prática de rotação de culturas, o resultado não foi como esperado, o que pode indicar a necessidade de implementação dessa prática nas propriedades, haja vista que em média, segundo dados do Censo Agropecuário (2017), apenas 14,06% dos estabelecimentos agropecuários das regiões intermediárias do Nordeste realizaram essa prática agrícola. Este resultado corrobora com o obtido por Oliveira (2022), que também identificou essa relação para os municípios nordestinos.

Concernente à relação entre eficiência e a prática de plantio em curvas de nível, o resultado não foi como esperado, pois se mostrou inversamente proporcional à eficiência, sugerindo ampliação dessa técnica entre os produtores agrícolas, haja vista que em média apenas 2,34% dos produtores das regiões intermediárias nordestinas utilizaram essa prática tão importante para conservação dos nutrientes do solo. No entanto, este resultado não foi confirmado por Nogueira (2005), que constatou que esta prática não exerce influência significativa para a elevação da eficiência no segmento.

5 Considerações finais

Para analisar a eficiência relativa e seus condicionantes, dos estabelecimentos agropecuários das 35 regiões intermediárias nordestinas analisadas para o ano de 2017, utilizou-se o método Análise envoltória de dados (DEA) e o modelo Tobit com normalidade truncada.

Os resultados obtidos por meio do modelo DEA mostraram que sob a pressuposição de retornos constantes de escala, 62,86% das regiões intermediárias se mostraram plenamente eficientes; sob a pressuposição de retornos variáveis de escala, 77,14% dessas regiões apresentaram eficiência máxima, e pela eficiência de escala foram eficientes 68,57% destas regiões.

Quando se analisa pelos modelos com retornos crescentes, constantes e decrescentes, constatou-se que, respectivamente, 65,71%, 62,86% e 74,29% das regiões intermediárias se mostraram totalmente eficientes, indicando para o primeiro caso que estas regiões estão operando abaixo da escala ótima de produção, mas que estão utilizando os insumos produtivos sem desperdício. No que se refere a segunda e terceira situação, respectivamente, estas localidades estão operando na escala ótima e acima da escala ótima sem desperdício de recursos. Então, para que as regiões atuem na escala ótima (constante), é necessário que as que estão operando com retornos crescentes, aumentem sua produção para serem mais produtivas e, no caso das localidades que auferem retornos decrescentes, estas devem diminuir seu produto para alcançar a produção ótima.

Com relação às regiões menos eficientes por retornos de escala, tem-se que 34,29% operam com retornos crescentes, 37,14% com retornos constantes e 25,71% com retornos decrescentes. Para ampliação no nível de eficiência, essas regiões que demonstraram eficiência inferior a uma unidade necessitam reduzir os insumos para elevar suas eficiências.

No que diz respeito a análise em termos médios, as regiões intermediárias podem reduzir em 3% a utilização dos insumos mantendo inalterado o nível de produção ou a receita agropecuária dos estabelecimentos, quando se admite retornos variáveis de escala, as regiões podem reduzir a utilização dos fatores em média 2%, mantendo constante o nível de produção. Concernente à eficiência de escala, essas regiões podem melhorar sua escala de produção em média 2%.

Concernente às regiões menos eficientes, constatou-se que apresentaram eficiência alta, 37,14%, sob a pressuposição de retornos constantes de escala, 22,86% sob retornos variáveis de escala e na eficiência de escala de produção 25,71% apresentaram essa

classificação. Sugere-se, então, que estas minimizem a utilização dos insumos produtivos considerados, para alcançar a eficiência plena.

No que se refere análise de *benchmarks*, Sousa – Cajazeiras e João Pessoa, foram as regiões que se apresentaram com maior frequência como regiões referência para as regiões menos eficientes para o método CRS, e Sousa – Cajazeiras e Picos pelo método VRS, sugerindo que as regiões com menor eficiência sigam os procedimentos utilizados por estas regiões referências no sentido de estas alcançarem a plena eficiência. Esse fato pode estar associado as políticas de desenvolvimento implementadas na região que não alcançam todos os produtores e localidades da mesma forma, sugerindo modificações e ampliações nas políticas públicas para englobarem as heterogeneidades dos espaços e abarque um público maior de produtores rurais.

Os resultados referentes à regressão Tobit normal truncado indicaram que a eficiência de escala na agropecuária nordestina é influenciada positivamente por fatores como adubação nos solos plantados, irrigação, acesso ao financiamento e escolaridade de nível médio e, negativamente, por elementos como área total dos estabelecimentos, assistência, rotação de cultura e plantio em curva de nível. Ademais, as variáveis que captam o controle de pragas nas plantações, a realização de plantio direto e a formalização por CNPJ dos estabelecimentos do setor, não apresentaram relevância estatística para explicar a eficiência de escala nestes empreendimentos. Assim, reitera-se a importância de o setor público ampliar políticas de acesso ao crédito, assistência técnica e educação para abarcar mais produtores e assim aumentar a quantidade de regiões intermediárias nordestinas a alcançarem a eficiência plena.

Para as próximas pesquisas, sugere-se que a análise seja feita para um intervalo de tempo maior para captar o desempenho das DMUs ao longo dos anos. No que se refere as variáveis condicionantes da eficiência, seria importante analisar a influência do acesso à internet, além de desagregar a assistência técnica por grupos de origem

Referências

ALMEIDA, P.N.A. Fronteira de produção e eficiência técnica da agropecuária brasileira em 2006. 2011. 214 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. *Models for the estimation of technical and scale efficiencies in data envelopment analysis*. *Management Science*, v. 30, p. 1078-1092, 1984.

BARBOSA, F.C; FUCHIGAMI, H.Y. *Análise envoltória de dados: teoria e aplicações*. 1ª edição. Itumbiara – GO: ULBRA, 2018.

BARBOSA, W.F; SOUSA, E.P. Eficiência técnica e de escala da agropecuária no estado do Ceará. *Cadernos de Ciências Sociais Aplicadas*, n.17. p 153-185, 2014.

BARBOSA, W.F; SOUSA, E.P; AMORIM, A.L; CORONEL, D.A. Eficiência técnica da agropecuária nas microrregiões brasileiras e seus determinantes. *Ciência Rural*, v.43, n.11, p 2115 -2121, 2013.

BELLONI, J. A. Uma metodologia de avaliação da eficiência produtiva de Universidades Federais Brasileiras. Florianópolis, 2000, 246 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina.

BONATO, H; SILVA, C.L; NOGUEIRA, S.P.S; RIBEIRO, N.A.P; LIMA, N.C. Avaliação da eficiência no sistema de saúde na microrregião de Paranaguá. Informe GEPEC, Toledo - PR, v. 26, n.2, p.161-189, jul./dez. 2022.

BORTOLETI JUNIOR, A., GONÇALVES, L. G., RIBEIRO, M. A. R., AFONSO, R. O., SANTOS, R. F; SOUZA, C. S. S. A importância do plantio direto e do plantio convencional e as suas relações com o manejo e conservação do solo. Revista Conexão Eletrônica, v. 12, n.1, 296-306, 2015.

CAMPOS, S. A. C. Eficiência econômica e ambiental da produção leiteira em Minas Gerais. 2011. 153 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

CAMPOS, S. A. C; COELHO, A.B; GOMES, A. P. Influência das condições ambientais e ação antrópica sobre a eficiência produtiva agropecuária em Minas Gerais. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 50, p. 563-576, 2012.

CARVALHO, J.F; PANOSSO, A.R; SABBAG, O.J; TARSITANO, M.A.A. Desempenho da produção agropecuária dos municípios pertencentes ao Escritório de Desenvolvimento Rural de Andradina, SP, Brasil. INTERAÇÕES, Campo Grande, MS, v. 18, n. 2, p. 171-184. 2017.

CASTRO, C. N. A Agricultura no Nordeste Brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento. Brasília, DF, Rio de Janeiro: IPEA, 2012. 43p.

CASTRO, C. N.; PEREIRA, C. N. Estado e desenvolvimento rural. Texto para Discussão 2564. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Brasília, 2020.

CASTRO, C. N; PEREIRA, C. N. Agricultura nordestina: análise comparativa entre os censos agropecuários de 2006 e 2017. Texto para Discussão 2675. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Brasília, 2021.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. *Measuring efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research*, v. 2, p. 429-444, 1978.

COSTA, C. C. de M.; ALMEIDA, A. L. T; FERREIRA, M. A. M.; SILVA, E. A. Determinantes do desenvolvimento do setor agropecuário nos municípios. Revista de Administração, v. 48, n. 2, p. 295-309, 2013.

CRUZ, J.C; PEREIRA FILHO, I.A; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. Rotação de Culturas. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/rotacao-de-culturas>. Acesso em: 09 fev. 2022.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA, EXTENSÃO RURAL E PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMATER. Utilização de curvas de nível contribui com preservação do solo. 2021. Disponível em: < <https://www.emater.go.gov.br/wp/utlizacao-de-curvas-de-nivel-contribui-com-preservacao-do-solo-2/> >. Acesso em: 09 fev. 2023.

FERREIRA, A. G.; BORBA, S. N. S.; WIZNIEWSKY, J. G. A prática da compostagem para a adubação orgânica pelos agricultores familiares de Santa Rosa/RS. *Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM*, v. 8, p. 307-317, 2013.

FIGUEIREDO, D. S. de; MELLO, J. C. C. B. S. de. Índice híbrido de eficácia e eficiência para lojas de varejo. *Gestão & Produção*, v. 16, n. 2, p. 286-300, 2009.

FORTINI, R.M; BRAGA, M. J; FREITAS, C.O. Adoção de práticas conservacionistas e eficiência da agricultura no Brasil. In *Anais do 46º Encontro Nacional de Economia*. 2018, Rio de Janeiro/RJ: ANPEC. Disponível em: <https://en.anpec.org.br/previous-editions.php?r=encontro-2018>. Acesso em: 09 fev. 2022.

FREITAS, C. O; SILVA, F. F; BRAGA, M. J. Extensão rural e eficiência técnica na agropecuária brasileira: uma análise a partir dos microdados do censo agropecuário. In *Anais do 45º Encontro Nacional de Economia*. 2017, Natal: ANPEC. Disponível em: https://www.anpec.org.br/encontro/2017/submissao/files_/i111-c2a0ec84d44e1c45a638f9976ab2e882.pdf> Acesso em: 16 maio 2022.

FREITAS, C.O. Tamanho dos estabelecimentos e eficiência técnica na agropecuária brasileira. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2014.

FREITAS, C.O; TEIXEIRA, E.C; BRAGA, M.J. Tamanho do estabelecimento e eficiência técnica na agropecuária brasileira. *Encontro Nacional de Economia*, XLII, 2014, Natal. *Anais...Natal – RN*. Disponível em: < <https://en.anpec.org.br/previous-editions.php?r=encontro-2014>>. Acesso em: 02 jul. 2022.

GOMES, A.P; BAPTISTA, A.J.M.S. Análise Envoltória de Dados. In: SANTOS, M.L., VIEIRA, W.C., (ed.) *Métodos Quantitativos em Economia*. Viçosa, MG: UFV, 2004.p.93-128.

GOMES, F. P. *Curso de Estatística Experimental*. Piracicaba, SP: Nobel, 1990.

GREENE, W. H. *Econometric analysis*. 7ª ed., *New York University: Prentice Hall*, 2012. 1.231p.

GUERREIRO, A.S. Análise da Eficiência de Empresas de Comércio Eletrônico usando Técnicas da Análise Envoltória de Dados. 2006, p.90. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

GUESMI, B.; SERRA, T.; KALLAS, Z.; ROIG, J. M. *The productive efficiency of organic farming: the case of grape sector in Catalonia*. *Spanish Journal of Agricultural Research*, Madri, v. 10, n. 3, p. 552-566, 2012.

HADDAD, M. B. As regiões goianas sob o aspecto da nova divisão geográfica do ibge: o formal e o real, o imediato e o intermediário. *Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho*, v. 8, n. 1, p. 24-43, 2019.

IMORI, D. Eficiência produtiva da agropecuária familiar e patronal nas regiões brasileiras. 2011. 127p. Dissertação (Mestrado em economia), Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Banco de dados. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 14 maio de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agropecuário 2017. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>>. Acesso em: 22 mar. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Divisão Regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias: 2017 / IBGE, Coordenação de Geografia. - Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: < <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=2100600&view=detalhes>>. Acesso em: 16 maio 2022.

JENKINS, L.; ANDERSON, M. *Multivariate statistical approach to reducing the number of variables in data envelopment analysis*. *European Journal of Operational Research* 147:51–61, 2003.

LEAL, G.S; BESSEGATO, L.F. Avaliação da eficiência no setor de saúde: investigação dos estados brasileiros por análise envoltória de dados. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO, XXXVII, 2017, Santa Catarina. Anais [...] Joinville – SC. 14p.

LUNA, A.T; COSTA, E.M; CAMPOS, R.T; SOUZA, H.G; DIAS, T.K.M. Função de produção e eficiência técnica da agropecuária cearense. *Rev. Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 53, n. 1, p. 89-104, jan./mar., 2022.

MARCIEL, H.M; KHAN, A.S; ROCHA, L.A. Índice de ecoeficiência e a regressão tobit: uma análise entre os anos de 1991 a 2012. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 49, n.2, p 27 – 42, abr/jun 2018.

MARIANO, E. Conceitos Básicos de Análise de Eficiência produtiva. In: Simpósio de Engenharia da Produção - SIMPEP, XIV, 2007, São Paulo. Anais [...] São Paulo: Bauru. p1-13. Disponível em: < https://simpep.feb.unesp.br/anais_simpep_todos.php?e=15>. Acesso em: 12 maio 2022.

MORAIS, G.A.S; COSTA, E.M; ARAÚJO, J.A; TABOSA, F.J; COSTA, R.A. Eficiência técnica e produtividade de total dos fatores da agricultura dos países da América do Sul: uma análise dos países membros e não-membros do Mercosul. *Revista Ciências da Administração*, v. 22, n. 2, p. 396-422. 2016.

MOUZAS, S. *Efficiency versus effectiveness in business networks*. *Journal of Business Research*, v.59, p. 1124-1132, 2006.

NOGUEIRA, M.A. Eficiência técnica na agropecuária das microrregiões brasileiras. Minas Gerais, 2005. 120p. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal de Viçosa.

OLIVEIRA NETO, M.N. As novas configurações regionais de alagoas: das Microrregiões Geográficas (1990) as regiões Geográficas Imediatas (2017). 2021. 88p. Dissertação (Mestrado em geografia) - Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Alagoas.

OLIVEIRA, R.B. Eficiência do setor agropecuário nordestino e seus determinantes: uma análise para 2006 e 2017, 2022. 98p. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

OZCAN, Y. A. H. C *Benchmarking and Performance Evaluation: An Assessment Using Data Envelopment Analysis (DEA)*. 2ª ed. *New York: Springer Science + Business Media*, 2014.

PELLENZ, J.L.V.; ALMEIDA, M.; LIRIO, V. S. Eficiência técnica agropecuária e desmatamento: análise espacial para a Amazônia legal brasileira. *Estudos Econômicos*, V.37. n.77, p 119-146, 2021.

PEÑA, C. R. Um modelo de avaliação da eficiência da administração pública através do método Análise Envoltória de Dados (DEA). *Revista de Administração Contemporânea (RAC)*. Curitiba, v. 12, n. 1, p. 83-106, jan./mar. 2008.

PEREIRA, C. N.; CASTRO, C. N. O Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária: histórico, estrutura e financiamento. Texto para Discussão, n. 2338. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Brasília, 2017.

PINTO, N.G.M; CORONEL, D. A. Eficiência e eficácia na agropecuária: um levantamento sobre a produção científica na base do Scopus. *Revista ESPACIOS* | Vol. 37 (Nº 16), 2016.

POZO, D. T. Análisis económico y eficiencia del sector público. In: CONGRESO INTERNACIONAL DEL CLAD SOBRE LA REFORMA DEL ESTADO Y DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA, 7, 2002, Lisboa. Anais... Lisboa: CLAD, 2002. p. 1- 19.

REIS, L. D. R.; ARAÚJO, R. C. P; ARAÚJO, J. A.; LIMA, J. R. F. Eficiência técnica da produção agrícola dos países da América Latina e do Caribe. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, V. 58 n.4, p1-15, 2020.

RODRIGUES, L.N. Agricultura irrigada e sua importância na produção de alimento: nexo água-alimento, 2022. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/71510678/artigo-agricultura-irrigada-e-sua-importancia-na-producao-de-alimento-nexo-agua-alimento>>. Acesso em: 09 fev. 2023.

SANTOS, F.A. A. Condicionantes da eficiência na agropecuária do Nordeste. 2002. 167p. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade Federal de Viçosa-MG.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). Orientações sobre a formalização rural. / SEBRAE. – Brasília: Sebrae, 2016. 32 p.

SILVA, F. P.; ARAÚJO, J.A; COSTA, E. M; VIEIRA FILHO, J. E. R. Eficiência técnica e heterogeneidade tecnológica na agropecuária das regiões semiárida e não semiárida do Nordeste brasileiro. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, V. 57 n. 3, p. 379-395, 2019.

SOARES, P; SPOLADOR, H.F.S. Eficiência técnica da produção de milho no estado de São Paulo: uma abordagem por metafronteira estocástica. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 57, n.4, p. 545-558, 2019.

SOBREIRA, D.B; MADEIRA, S.A; FREITAS, C.O; LIMA, J.E. eficiência técnica agropecuária no estado da Bahia e seus fatores condicionantes no curto e longo prazo. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 47, n. 2, p. 59-76, 2016.

SOUSA, E. P.; JUSTO, W. R.; CAMPOS, A. C. Eficiência Técnica da Fruticultura Irrigada no Ceará. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 44, n. 4 p. 851-866, out./dez. 2013.

SOUSA, M. C. S.; CRIBARI NETO, F.; STOSIC, B. D. *Explaining DEA technical efficiency scores in an outlier corrected environment: the case of public services in Brazilian municipalities. Brazilian Review of Econometrics*, v. 25, n. 2, p. 287-313, 2005.

SOUSA, M.C.S; SOUZA, J.C.F. escores robustos de eficiência e seus determinantes: o caso das agências do banco do brasil. *Pesquisa e Planejamento Econômico (PPE)*, v. 44, n.1, p.34. 2014.

SOUSA, M; SCHWENGBER, S. *Efficiency Estimates for Judicial Services in Brazil: Nonparametric FDH and the Expected Ordem-M Efficiency Scores* for Rio Grande do Sul Court. XXXIII Encontro Nacional de Economia da ANPEC, 2005.

SOUZA FILHO, H. M; BUAINAIN, A.M; GUANZIROLI, C. Agricultura familiar e tecnologia no Brasil: características, desafios e obstáculos. In: *Anais do XLII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural*, 2004.

SOUZA, H.G; CAMPOS, K.C; CHAVES, F.A.H. Análise de eficiência na produtividade agrícola nas mesorregiões do estado do Ceará. *Revista Expressão Católica*, v.9, n.2, p.14. 2020.

SOUZA, U. R; BRAGA, M. J; FERREIRA, M. A. M. Fatores associados à eficiência técnica e de escala das cooperativas agropecuárias paranaenses. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 49, p. 573-597, 2011.

TOBIN, J. *Estimation of relationships for limited dependent variables*. *Econometrica* v. 26, n. 1, 1958, p. 24-36.

TUPY, O; ALVES, E; FERREIRA, R. P. Avaliação da eficiência técnica e de escala de empresas do agronegócio brasileiro. *Revista de Política Agrícola*, v. 28, n. 4, p. 68, 2020.