

---

# FUNÇÃO DE PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA TÉCNICA DA AGROPECUÁRIA CEARENSE

*Production function and technical efficiency of agropecuary in Ceará*

## **Alana Teles Luna**

Engenheira agrônoma. Bacharel em Agronomia. Mestranda em Zootecnia (UFC). [alanaufc@outlook.com](mailto:alanaufc@outlook.com)

## **Edward Martins Costa**

Economista. Doutor em Economia. Professor do CCA/UFC. Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Economia Rural - PPGER/UFC. R. 5, 100 - Pres. Kennedy, Fortaleza - CE, 60355-636. [edwardcosta@ufc.br](mailto:edwardcosta@ufc.br)

## **Robério Telmo Campos**

Engenheiro agrônomo. Doutor em Economia. Professor do CCA/UFC. R. 5, 100 - Pres. Kennedy, Fortaleza - CE, 60355-636. [roberiotcampos@gmail.com](mailto:roberiotcampos@gmail.com)

## **Helson Gomes de Souza**

Economista. Mestre em Economia Rural. Doutorando em Economia Aplicada (UFPB). [helson.g.souza@gmail.com](mailto:helson.g.souza@gmail.com)

## **Thyena Karen Magalhães Dias**

Economista. Mestra em Economia Rural. Doutoranda em Economia Rural (UFC). [thyena.karen@hotmail.com](mailto:thyena.karen@hotmail.com)

---

**Resumo:** Existe o entendimento entre os pesquisadores da importância de incrementar a produtividade da agropecuária no Ceará e de como o aumento dessa produtividade está diretamente associado à alocação dos fatores de produção. Para tanto, é necessário a realização de mais estudos sobre os efeitos dos fatores de produção sobre os retornos produtivos, a fim de identificar em quais municípios são mais significativos. Nesse sentido, este trabalho objetiva realizar a análise dos fatores de produção quanto à eficiência técnica e a heterogeneidade tecnológica da agropecuária de 115 dos estabelecimentos rurais dos municípios cearenses. Os dados são secundários e compilados do Censo Agropecuário de 2017. Como instrumento de análise utiliza-se o modelo de fronteira de produção estocástica em sua forma funcional Cobb-Douglas, admitindo ineficiência técnica. Com base nos resultados, conclui-se que os municípios cearenses apresentaram baixa eficiência técnica e forte heterogeneidade tecnológica, enquanto os fatores de produção mais importantes para o aumento produtivo foram a tecnologia poupadora de terra, pessoal ocupado e capital. Em conclusão final, constata-se que a agropecuária do Ceará é mais intensiva em insumos de produção e mão de obra e que a adoção de tecnologias de irrigação atuou na diminuição da ineficiência técnica.

**Palavras-chave:** Agricultura; Eficiência; Fronteira de produção estocástica.

**Abstract:** There is an understanding among researchers on the importance of increasing agricultural productivity in Ceará and, therefore, it is necessary the realization of additional studies about the effects of production factors in relation to productive returns to identify in which municipalities are most significant. In this sense, this work aims to realize the analysis of the production factors, regarding the technical efficiency and the technological heterogeneity of agriculture in 115 municipalities in Ceará. The data are secondary, compiled from the 2017 Brazilian Agropecuary Census. As an analysis instrument, it is used the model of stochastic production frontier in a Cobb-Douglas functional form admitting technical inefficiency. Based on the results, it is concluded that the municipalities of Ceará presented low technical efficiency and strong technological heterogeneity, while the most important production factors for the increase productive were the technology of saving land, labor and capital. With main conclusion, it appears that agriculture in Ceará is more intensive in production inputs and labor and the use of irrigation technologies has acted in reducing technical inefficiency.

**Keywords:** Agriculture; Efficiency; Stochastic production frontier.

## 1 INTRODUÇÃO

A agropecuária tem atuado como um importante setor da economia brasileira, gerando capital, emprego e renda. De acordo com Gasques *et al.* (2010), cada vez mais esse setor contou com a adoção de tecnologias, como máquinas e implementos, que contribuíram para o aumento de produtividade, observado pelo aumento da atividade pecuária nas áreas de pastagens. O crescimento desse setor é corroborado pela Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2020), que relatou o aumento da participação do agronegócio brasileiro, considerando os setores de insumos, agroindústria, agrosserviços e segmento primário, no valor do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, sendo sua contribuição de 21,4% em 2019. No ano de 2017, no qual ocorreu o Censo Agropecuário adotado como base de dados do presente trabalho, as atividades agrícolas contribuíram com 23,5% do Produto Interno Bruto (PIB) segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2018).

Com a ampliação do uso de mecanização, defensivos agrícolas, fertilizantes químicos e outros insumos na década de 1960 – oriundos da modernização e da adoção de políticas públicas que colaboraram para o desenvolvimento da agropecuária –, a região Nordeste, composta em sua maioria por pequenos produtores, passou a apresentar uma proporção mais significativa na produção nacional, fato que pode estar associado com a aplicação de políticas, como o crédito rural, a política de preço mínimo e a assistência técnica. Considerando a assimetria de oportunidades, que ocorreu na região, os resultados observados no setor agropecuário sofreram grandes variabilidades.

De acordo com Oliveira *et al.* (2005), o estado do Ceará apresenta grande variabilidade entre a eficiência de utilização dos fatores de produção e os níveis tecnológicos empregados por grandes e pequenos produtores. O sistema que predomina na grande maioria dos pequenos produtores baseia-se na agricultura de subsistência ou familiar, com sérios entraves de assistência técnica e dificuldades para o transporte dos produtos até os consumidores.

No entanto, a agropecuária cearense possui forte influência na economia do Estado. Em 2017, ano do presente estudo, a taxa de crescimento do PIB cearense fechou em 1,87% e dos três setores que compõem o PIB – Agropecuária, Indústria e Serviços – a produção agropecuária representou cerca de 4,49% do valor do PIB estadual no referido ano (IPECE, 2018). Ademais, de acordo com o Censo Agropecuário de 2017, o valor bruto da produção do Ceará foi o 4º maior do Nordeste, mesmo o estado contendo a maior parte de seus municípios na região semiárida.

Diante do exposto e considerando-se a importância da contribuição do setor agropecuário para a economia cearense, conjectura-se ser uma questão importante realizar a análise de eficiência como forma de identificar os atuais níveis de eficiência da agropecuária do referido estado. Nesse contexto, o presente artigo busca, a partir dos dados do Censo Agropecuário de 2017, mensurar a eficiência por meio da estimação das funções de produção dos estabelecimentos rurais, contidos nos municípios do estado do Ceará, tendo por base a metodologia de Fronteira de Produção Estocástica. Desse modo, será possível inferir informações sobre a Produtividade Total dos Fatores (PTF) e a eficiência técnica dos municípios da amostra.

Especificamente, objetiva-se medir o índice de eficiência técnica para observar se houve eficiência ou ineficiência na utilização dos fatores pelos municípios. Esta análise permite indicar o atual nível tecnológico da agropecuária cearense e quais fatores devem ser mais explorados.

Portanto, este artigo procura contribuir com a literatura por utilizar uma base de dados completa e recente da agropecuária cearense, considerando a produção, os fatores produtivos, o nível tecnológico empregado na agropecuária, bem como envolver a análise dos fatores de produção exógenos, que tratam da ineficiência técnica produtiva. Ademais, na literatura é possível encontrar um extenso material sobre a heterogeneidade tecnológica e a baixa eficiência técnica presente no Ceará. Todavia, são escassas as referências que procuram mensurar e se aprofundar quanto

ao uso dos fatores produtivos, que determinam essa baixa eficiência, assim como no campo da heterogeneidade a análise da eficiência técnica de cada município em particular.

A partir dessa proposta, em sequência, apresenta-se uma seção de revisão de literatura sobre fronteira estocástica e sobre a agricultura no Brasil, Nordeste e Ceará. Em seguida, é apresentada a metodologia, com a base de dados e o método de análise; seguem-se os resultados com os testes de hipóteses, a estatística descritiva e a estimação da eficiência técnica. Por fim, serão dispostas as conclusões resultantes do trabalho.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção serão abordados os estudos iniciais, que formaram a base teórica e metodológica para a criação do modelo de fronteira estocástica, bem como as produções internacionais e nacionais, que utilizaram esse método de obtenção da função de produção na agricultura e as suas características e, ainda, as transformações do setor agropecuário no Brasil e no Nordeste, especificamente, no estado do Ceará.

### 2.1 Fronteira Estocástica

De acordo com Coelli e Battese (1996), a eficiência produtiva vem sendo utilizada como uma ferramenta também no setor primário, com o objetivo de comparar a produção de uma fazenda em relação as outras. Logo, a aplicação das fronteiras de produção é algo presente na agropecuária.

Ainda segundo Coelli, Rao e Battese (1998), a metodologia de fronteira estocástica se mostra a mais adequada ao setor agrícola, pois, além dos erros de manejo e medições comumente relacionados ao meio agrícola, o setor também sofre com condições de alta incidência de pragas, doenças e condições climáticas adversas, características estas que induzem ao erro.

Bravo-Ureta e Pinheiro (1993) buscaram avaliar a eficiência técnica no setor agrícola em países em desenvolvimento, utilizando uma ampla gama de modelos de fronteira. Porém, através da identificação das variáveis que impactavam negativamente a cadeia produtiva, tinham como objetivo mensurar a ineficiência técnica. Segundo os resultados obtidos observou-se que aumentos significativos de produção poderiam ser obtidos caso houvesse melhor utilização dos insumos e tecnologia já disponíveis, isto é, melhorias no processo seriam mais urgentes do que a utilização de novas tecnologias.

Araújo e Araujo (2016) objetivavam utilizar a fronteira de produção estocástica para avaliar a importância de fatores de produção como insumos, valor da produção, área colhida, pessoal ocupado, número de tratores e investimento na eficiência técnica observada nos municípios cearenses. A conclusão foi que as variáveis investimento e valor total de bens influenciaram positivamente a atividade agrícola e podem contribuir para a redução das ineficiências técnicas. Já as variáveis trabalho e terra não apresentaram influência no aumento de produção. No referido estudo ainda foi constatado que todas as regiões obtiveram incremento de produtividade, além do fato de que em comparação com as variações tecnológicas, os ganhos de produtividade provocam maiores mudanças na eficiência.

Já Silva (2017) utilizou o modelo de meta-fronteira para avaliar as diferenças tecnológicas presentes na agropecuária nos municípios de distintas regiões brasileiras, distinguindo também na avaliação as zonas semiáridas e não semiáridas da região Nordeste, resultando em assertiva a hipótese assumida de que as regiões brasileiras, com o Nordeste semiárido e não semiárido, não compartilham do mesmo nível tecnológico de produção. Por isso, é mister a ocorrência de investigações futuras, que busquem as razões das disparidades regionais encontradas.

## 2.2 Agricultura no Brasil, Nordeste e Ceará

Segundo Schuh (1997), economicamente a agricultura pode contribuir de modo eficaz para o desenvolvimento de um país, principalmente, se esta passa por um constante processo de modernização, que torne sua produção competitiva em relação a outros mercados.

Para Vieira Filho e Fishlow (2017), a agricultura brasileira passa por mudanças desde a década de 1960. Mudanças essas influenciadas principalmente pela Revolução Verde, criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), instauração de políticas de crédito rural, investimento público e expansão da fronteira agrícola mediante novas tecnologias de produção adaptadas aos climas tropical e semiárido. Todos os fatores apresentados culminam no apoio financeiro aos produtores e na geração de inovações, que proporcionam aumento de produtividade, melhor uso dos recursos produtivos, menor custo de produção e maior lucratividade ao produtor.

Considerando o incentivo público para o setor agrícola – através do crédito rural durante a década de 1970 e início dos anos 1980 – e a crise de estado, que reduziu drasticamente esse incentivo durante a década de 1980, é importante salientar os resultados obtidos por trabalhos, que estudaram o setor agrícola nesse período em questão.

De Barros (1999) buscou analisar o crescimento do capital brasileiro relacionado ao meio agrário entre 1970 e 1995, constatando que: a taxa de crescimento do produto se manteve estável ao longo dos anos avaliados; a utilização de insumos modernos contribuiu significativamente no aumento da produção, tendo em vista que a mão de obra teve aumento nulo; a produtividade de trabalho e terra também aumentou anualmente. Significa dizer que, independente do capital investido pelo governo, a tecnologia e a produtividade tiveram ação positiva no crescimento do produto.

Gasques (2014), por sua vez, buscou estudar a produtividade brasileira, com enfoque no período de 2000 a 2012. Conforme os resultados obtidos, a taxa média anual de Produtividade Total dos Fatores (PTF) no período analisado foi de 3,52%, o que é considerada uma taxa elevada. As razões que o autor atribuiu a esse resultado foram: a retomada de investimentos públicos no setor a partir da década de 2000; pesquisas na área e desenvolvimento tecnológico; baixas taxas de juros de financiamento; aumento das exportações.

Já Costa e Filho (2018) verificaram o impacto regional da política de crédito rural sobre a produção agropecuária brasileira, no período entre 2007 e 2016, e obtiveram resultados positivos em relação ao impacto causado na agropecuária pelo crédito rural. Concluíram que essa política de financiamento é uma boa ferramenta para o desenvolvimento rural do País e atua como um dos principais instrumentos de política agrícola no Brasil desde a sua institucionalização em 1960.

Araújo (1997) retratou dentre as regiões brasileiras o Nordeste, tradicionalmente rotulado como “problemático” e como uma região que apresenta crescente heterogeneidade em suas estruturas econômicas. Foi destacado, ainda, que, ao se tratar do setor agrícola, a região conta cada vez mais soluções assertivas quanto aos entraves comumente enfrentados, como a seca, de modo que a sua produtividade vem crescendo.

Em se tratando da região Nordeste, Oliveira *et al.* (2005) destacaram o Ceará como um estado fortemente ligado ao setor agrícola, porém, que ainda sofre com entraves como: baixa produtividade dos fatores relacionados à produção; grande heterogeneidade no nível tecnológico adotado por pequenos e grandes produtores; falta de assistência técnica e de suporte para os produtores menores e menos tecnificados.

Fato é que, historicamente, a economia cearense sempre esteve vinculada à agropecuária, inicialmente com sua ocupação territorial marcada pela criação de gado e produção de carnes charqueadas e, posteriormente, com a produção de algodão. Segundo Silva (2007), a produção de algodão e de cana-de-açúcar, conjuntamente com a atividade agropecuária, foi importante na conformação do Estado, tendo em vista que a criação de gado passou a ocorrer essencialmente em

fazendas interioranas e cidades costeiras, que representavam vias de passagem para o comércio de produtos agrícolas; sendo assim, foram povoadas e se desenvolveram.

Com o início da exportação e processo de globalização, de acordo com Elias e Pequeno (2013) a construção do território cearense ocorria de forma dinâmica e se somava a modernização do setor agrícola, com a construção de perímetros irrigados e gestão dos recursos hídricos, aprimoramento da conservação de produtos pecuários, exportação de *commodities* e instalação de agroindústrias.

Como retratado por Magalhães (2014), a produção cearense ocorre em boa parte no sertão e em regiões semiáridas. Logo, pode-se atribuir sua baixa produtividade a fatores como a inconsistência das chuvas e a baixa tecnificação, principalmente, de pequenos produtores dotados de resistência a renunciar a técnicas tradicionais poucos eficazes adotadas por seus antepassados. Por isso, nos últimos anos, observa-se cada vez mais o aumento de programas para a construção de cisternas e perímetros irrigados, bem como o incentivo a boa gestão de recursos hídricos. Contudo, o segundo fator apontado tem se mostrado o mais difícil de remediar, tendo em vista a dificuldade de se realizar um acompanhamento desses pequenos produtores e transpassar a barreira do que já é culturalmente aceito para propor mudanças.

Apesar dos entraves, o estado do Ceará é um produtor significativo no cultivo de cana-de-açúcar, banana, mandioca, milho, feijão e mamão. Além das culturas já citadas, o estado possui a segunda maior produção do país de coco-da-baía, maracujá e melão, e se posiciona como líder nacional na produção de castanha de caju. No setor pecuário a produção de galináceos, bovinos e suínos é significativa. Além disso, o estado é líder na produção de camarões, detém a terceira maior criação de ovinos do país e possui a quarta maior criação de caprinos do Brasil (IBGE, 2018).

Rosa *et al.* (2006) basearam seu estudo na análise do crescimento da agropecuária no Ceará, considerando suas sete mesorregiões, a partir da produtividade obtida no período de 1975 a 1995. Os resultados apontaram pequenas variações na produtividade total dos fatores e individualmente na produtividade dos fatores terra, trabalho e capital. Quanto à tecnologia não foi possível notar mudanças significativas, como uso de insumos modernos, mão de obra capacitada e políticas públicas efetivas. Por esse motivo, é possível compreender a pouca variação relacionada à produtividade. Os autores indicaram ainda a importância de investimentos maciços na agropecuária, incentivo de adoção de tecnologias mais modernas na produção e formação de associações ou cooperativas que fortaleçam o setor.

Souza *et al.* (2010), analisaram pelo modelo Cobb-Douglas, os fatores de eficiência da produção agropecuária brasileira para dados estaduais de produção dos Censos Agropecuários de 1995-96 e 2006, e obtiveram, para o Ceará, uma elasticidade média de investimento de 11% e eficiência técnica orientada a produção acima de 89%.

Araújo e Araújo (2016), por sua vez, avaliaram a importância dos fatores de produção e investimento em relação à eficiência técnica dos municípios cearenses, nos anos de 1970 a 2006, utilizando como base de dados os Censos Agropecuários, que abrangem o período de 1970 a 2006 e o modelo de fronteira de produção estocástica e índice de produtividade total de Malmquist. Desse modo, a partir do analisado, concluíram que maiores investimentos podem contribuir para a redução das ineficiências técnicas observadas e que as variáveis trabalho e terra não aumentaram o valor da produção. Compreende-se, desse modo, que a produtividade total cearense apresentou ganhos médios ao longo dos anos.

Ainda abordando a agricultura cearense, Albuquerque (2020) realizou uma análise comportamental da produtividade agrícola das microrregiões nordestinas e de todos os municípios cearenses no período de 1996 a 2017, considerado um período de baixa produtividade. Foi constatada no Ceará a existência de microrregiões de alta e baixa produtividade, porém, os dados obtidos se mostraram positivos à ocorrência de convergência da produtividade nos municípios cearenses ao longo dos anos. Pode-se observar, assim, que as diferenças encontradas nas microrregiões do estado estão diminuindo. O autor ressalta ainda a importância de considerar polos agrícolas no

investimento de recursos públicos para a agricultura, tendo em vista heterogeneidade observada no estado, e salienta a importância do setor agropecuário na geração de emprego e renda.

### 3 METODOLOGIA

Nesta seção apresentam-se os instrumentos que compõem a condução da pesquisa, como a base de dados utilizada no trabalho, as variáveis empregadas, o modelo de fronteira de produção utilizado e os seus pressupostos teóricos detalhadamente descritos.

#### 3.1 Base de Dados

Os dados utilizados neste artigo para a mensuração da eficiência técnica foram obtidos do Censo Agropecuário de 2017, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018) e disponibilizado pelo Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) e do Banco Central do Brasil (BACEN). As variáveis utilizadas pela pesquisa estão expostas na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição das variáveis e suas fontes para o Ceará (2017)

Variáveis	Fonte
Valor Bruto da produção – R\$ (em mil reais)	IBGE/CENSO 2017
Área Total do Agricultor – (ha)	IBGE/CENSO 2017
Capital – Total de Tratores e Implementos Agropecuários (quantidade)	IBGE/CENSO 2017
Trabalho – PESSOAL ocupado (quantidade)	IBGE/CENSO 2017
Dispêndio Poupa Terra (tecnologia utilizada para obter maior produção em menores áreas) – Gastos com insumos R\$	IBGE/CENSO 2017
Variáveis relacionadas a ineficiência	Fonte
Área Irrigada – (ha)	IBGE/CENSO 2017
Valor do financiamento de Crédito Rural – Agropecuária (R\$)	BACEN

Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados da pesquisa.

#### 3.2 Método de Análise: Fronteira Estocástica

A produtividade é uma medida de eficiência fortemente estudada na Economia e indica a ocorrência de uma boa ou má gestão dos fatores de produção em relação aos produtos ou serviços gerados. A produtividade total dos fatores (PTF) é uma forma de medição na qual se considera todos os fatores utilizados na produção para indicar a eficiência da combinação destes fatores na geração do produto.

Solow (1957) ao utilizar do conceito de PTF, quantificado pela função de produção Cobb-Douglas, estimou a função de produção na economia americana e identificou a formação de um resíduo referente a diferença entre a taxa de crescimento do produto e a taxa de crescimento dos fatores de produção. Esse trabalho serviu como descoberta sobre a importância do fator de medida “progresso tecnológico” no crescimento do produto.

Em seus estudos Farrel (1957) destacou a eficiência de uma empresa como um requisito importante, especialmente a eficiência relativa, ou seja, a eficiência dessa empresa em relação à concorrência.

A diferença entre as linhas metodológicas de Solow (1957) e Farrel (1957) estão fundamentadas na cadeia de produção. Enquanto Sollow (1957) reforça a importância do progresso tecnológico na produção, Farrel (1957) aborda a importância da eficiência durante o processo produtivo. Conforme Carvalho e Silva (2009), a relação de fronteira entre insumos e produtos é estabelecida pela tecnologia e os recursos que são desperdiçados e mal alocados são integrados pela eficiência.

Os estudos iniciais anteriormente citados constituíram a base metodológica para que trabalhos como os de Aigner, Lovell e Schmidt (1977) e Meeusen e van den Broeck (1977) surgissem, abordando outras formas de estimar a função de produção. A fronteira estocástica é utilizada para avaliar se a transformação dos componentes produtivos em produto é eficiente e designar a eficiência relativa.

No modelo de fronteira estocástica a fronteira não assume caráter determinístico. Ao contrário do observado em métodos não paramétricos, a sua estimação ocorre considerando a repartição do termo de erro em duas partes: a primeira parte responsável por medir a ineficiência técnica, restrita a fatores endógenos; a segunda parte responsável por mensurar os erros aleatórios ou exógenos, como: secas, êxodo rural, pragas, mudança na legislação, entre outros. Logo, essa abordagem objetiva se aproximar da realidade, na qual erros aleatórios são mais frequentemente observados. Desse modo, a função de produção utilizada será:

$$y_i = f(x_k; \beta_k) + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$\varepsilon_i = v_i + u_i \quad (2)$$

Em que:  $y_i$  representa o vetor de produto (ou logaritmo do produto) da  $i$ -ésima firma;  $x_k$  representa o vetor de insumos  $1 \times k$ , cujo primeiro elemento é igual a 1 e os demais são as quantidades (ou logaritmos) dos  $k$  insumos utilizados pela  $i$ -ésima firma;  $\beta_k$  representa o vetor de parâmetros  $k \times 1$ , associados às variáveis independentes;  $\varepsilon_i$  representa o termo de erro composto pelos vetores  $v_i$  e  $u_i$ , sendo o primeiro vetor referente aos choques aleatórios, fora do controle das firmas, que se distribui normalmente com média zero e variância  $\sigma_v^2$ , e o segundo vetor referente a representação da ineficiência técnica (ou seja, diferença entre o produto observado e o produto na fronteira), que assume ser uma variável aleatória não positiva, independentemente e identicamente distribuída, truncada em zero com distribuição  $N(\mu, \sigma_v^2)$ .

A eficiência técnica desse modelo é obtida da mesma forma que na fronteira determinista, ou seja, pela razão entre a produção observada e a produção correspondente à fronteira de produção.

A estimação da fronteira pode ser feita por meio de dois métodos clássicos: Máxima Verossimilhança e de Mínimos Quadrados Corrigidos (*Corrected Ordinary Least Square*, COLS). No entanto, o método de Mínimos Quadrados Corrigidos apresenta baixa funcionalidade em algumas amostras, impossibilitando a realização do cálculo do desvio padrão da distribuição *half-normal*,  $\sigma_u$  e, o desvio padrão da distribuição do ruído,  $\sigma_v$ .

Devido ao que foi apresentado, neste trabalho será utilizado o método de Máxima Verossimilhança, que apresenta maior amplitude na análise. Dessa forma, opta-se pela distribuição meio-normal, que foi sugerida por Aigner, Lovell e Schmidt (1977), já que a maioria dos trabalhos empíricos aplicados à agropecuária utilizou essa distribuição.

Greene (2018) afirma que a distribuição normal e *half-normal* foram utilizadas com frequência nos estudos empíricos. A função distribuição do erro composto é dada por:

$$f(\varepsilon_i) = \frac{\sqrt{2}}{\sigma_u} \sqrt{\pi} [1 - F(\varepsilon_i \lambda \sigma^{-1})] \exp\left(\frac{-s_i^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

$\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$ ,  $\lambda = \sigma_u / \sigma_v$ ,  $F(*)$  é uma função distribuição acumulada normal padrão. Portanto a função logarítmica de máxima verossimilhança será:

$$\ln L(y/\beta, \lambda, \sigma^2) = N \ln \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} + N \ln \sigma^{-1} + \sum_{i=1}^N \ln [1 - F(\varepsilon_i \lambda \sigma^{-1})] - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 \quad (4)$$

De acordo com Jondrow *et al.* (1982) o termo de erro no modelo de fronteira estocástica pode ser particionado. Assim, podemos encontrar o valor da esperança de  $u_i$  condicionada a  $\varepsilon_i$ , onde  $v_i$  é distribuído normalmente e  $u_i$  possui distribuição *half-normal*, ou seja:

$$E(u_i/\varepsilon_i) = \mu_* + \sigma_* \frac{f(-\mu_*/\sigma_*)}{1 - F(-\mu_*/\sigma_*)} \quad (5)$$

em que:  $f$  e  $F$  são respectivamente, a função densidade e sua função distribuição acumulada da normal padronizada. Sendo  $-\mu_*/\sigma_* = \varepsilon \lambda/\sigma$ ,  $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$ ,  $\sigma_*^2 = \sigma_u^2 \sigma_v^2 / \sigma^2$  e  $\lambda = \sigma_u/\sigma_v$ . Desse modo, obtêm-se os valores da distribuição de  $u_i$ , tomando-se o exponencial,  $\exp(-E(u_i/\varepsilon_i))$ , estimando a eficiência técnica de cada município, implicando no intervalo  $[1,0]$ , onde 0 indica total ineficiência e 1 em eficiência máxima.

Para a aplicação empírica é necessário definir a forma funcional da fronteira estocástica, conforme apontado por Coelli e Battese (1996). Chambers (1988) mostrou que a função Cobb-Douglas tem algumas vantagens, como simplicidade, a outros tipos de função como por exemplo a Função Transcendental Logarítmica (Translog). Assim, a função Cobb-Douglas é apresentada, da seguinte maneira:

$$\ln Q = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \ln X_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

em que:  $\ln Q$  é o logaritmo da quantidade produzida;  $\beta_0$  é igual ao valor de  $\ln(\beta_0)$ ;  $\beta_i$  são as derivadas parciais de primeira ordem da função com relação à variável  $X_i$ ; e o índice  $i$  representa os fatores de produção. O  $\varepsilon_i = v_i + u_i$ , em que  $v_i$  é o distúbio aleatório, que tem distribuição normal (*iid*), truncada, com média zero e variância  $\sigma_u^2$ , captando os efeitos estocásticos que não são controlados no processo produtivo; e  $u_i$  é o resíduos que capta a ineficiência técnica da produção obtida no processo produtivo e tem distribuição normal truncada, com média,  $\delta_z$  e variância,  $\sigma_u^2$ .

Na análise de fronteira estocástica, é importante que além de se estimar os níveis de ineficiência de cada produtor, conhecer os fatores que podem explicar a ineficiência. Nesse sentido, Kumbhakar, Ghosh e McGuckin (1991) e Reifschneider e Stevenson (1991), utilizaram o modelo da função normal truncada para estimar os efeitos exógenos da ineficiência. Assim, a função de produção pode ser estimada considerando um vetor de variáveis exógenas, que podem explicar o resíduo relativo à ineficiência técnica, ( $\mu_i$ ). Assim:

$$\mu_i = \alpha_0 + \alpha_1 Z_i \quad (7)$$

em que  $\mu_i$  expressa a ineficiência técnica das unidades produtivas;  $Z_i$  representa o vetor de variáveis exógenas, que representam a ineficiência da unidade produtiva.

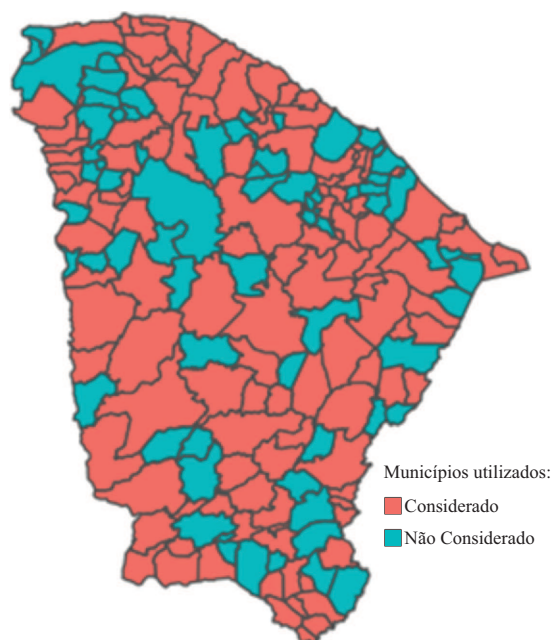
### 3.3 Área de estudo

Os municípios cearenses utilizados neste artigo foram selecionados de acordo com a disponibilidade dos dados presentes no Censo Agropecuário de 2017. O Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), fonte dos dados aqui utilizados, não atribui valores a municípios que, para um determinado fator, possuem zero absoluto não resultante de um cálculo ou arredondamento ou zero resultante de um cálculo ou arredondamento realizado, com o intuito de inibir valores em localidades com poucas ou uma propriedade representante, de forma que os valores apresentados seriam facilmente associados a propriedade representativa daquela localidade. Desse modo, esses municípios não podem ser avaliados quanto a sua performance num fator que apresenta valor nulo.



Dadas essas considerações, no presente artigo foi necessário retirar municípios que apresentassem valor nulo em pelo menos um dos fatores aqui avaliados, resultando numa área de estudo de 115 municípios dos 184 existentes no estado do Ceará. Todavia, os 115 municípios estudados estão inseridos nas 15 macrorregiões cearenses, como observado na Figura 1, tornando este trabalho representativo em relação as diferenças observadas dentro do próprio estado.

Figura 1 – Distribuição dos municípios avaliados dentro do estado do Ceará



Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados da pesquisa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção apresentam-se detalhadamente todos os testes de hipóteses realizados para a especificação do modelo de fronteira estocástica de produção adotada. Posteriormente, efetua-se a análise dos resultados obtidos por meio da estatística descritiva e da estimação da eficiência técnica, quando são discutidos os resultados e suas implicações.

### 4.1 Testes de Hipóteses

Dado a relevância da econometria na especificação das funções de produção utilizadas para responder as questões levantadas neste artigo, faz-se necessário a apresentação dos testes de hipóteses para a estimação da fronteira estocástica.

Como citado, a estimação paramétrica da fronteira demanda uma forma funcional da função de produção, que pode ser determinada por meio do Teste da Razão de Verossimilhança Generalizado.<sup>1</sup> O primeiro teste realizado permite verificar a adequação da forma funcional da função de produção. Assim, a função de produção, com especificação Cobb-Douglas, se mostra a mais adequada para a representação dos dados, dadas as especificações da Translog.

Após o teste da forma funcional, testou-se o efeito da ineficiência técnica na função de produção, constatando-se que tanto o crédito rural quanto a área irrigada são importantes para captar a ineficiência técnica no modelo. Ademais, foi realizado o teste para verificar a influência dos erros

<sup>1</sup> Para maiores detalhes sobre os testes realizados ver Kodde e Palm (1986).

e outros distúrbios sobre a fronteira, indicando que o modelo Cobb-Douglas, com ineficiência técnica, é o melhor modelo para a amostra utilizada neste estudo<sup>2</sup>.

## 4.2 Estatística Descritiva

As estatísticas descritivas utilizadas para o modelo estão dispostas na Tabela 2. Por meio da análise das estatísticas apresentadas, notam-se altos valores de desvio padrão, indicando heterogeneidade entre os municípios, corroborando o estudo apresentado por Silva (2017), que realizou estatísticas descritivas para os municípios do Nordeste semiárido e não semiárido, bem como para os municípios do Norte, Sul, Sudeste e Centro-Oeste, obtendo para o Nordeste semiárido<sup>3</sup>, altos valores de desvio padrão, porém, menores do que os encontrados no presente trabalho.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas das variáveis, observações, médias e desvios padrões para o Ceará (2017)

Variáveis	Observações	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Valor bruto da produção	115	33862,62	49727,92	2188,00	458722,00
Terra	115	29305,61	36340,88	796,00	242275,00
Capital	115	49,00	61,81	3,00	373,00
Pessoal ocupado	115	5779,74	4277,83	435,00	24340,00
Poupa terra	115	7103,30	9627,67	307,00	60692,00
Área irrigada	115	1093,66	2675,65	1,00	15800,00
Crédito rural	115	5447,37	8992,73	91,42	64168,61

Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados da pesquisa.

Nota. Valor bruto da produção – 1000,00 reais (R\$); poupa terra e crédito rural - real (R\$); capital – número de máquinas e implementos agrícolas; terra e área irrigada - hectare; pessoal ocupado - homens/dia.

Em se tratando da variável área irrigada, Madeira (2012) realizou um estudo entre os anos de 1996 a 2006, abrangendo 184 municípios cearenses e constatou apenas 29 mil estabelecimentos do Ceará (8,5% do total) usando técnicas de irrigação. A área irrigada média totalizou 592,39 hectares, proporção reduzida para um dos estados do Nordeste mais vulnerável à seca.

Considerando que o valor obtido no presente trabalho foi praticamente o dobro apresentado por Madeira (2012), a área irrigada cearense expandiu ao longo dos anos, porém, ainda não é considerada ideal. Em relação ao crédito rural, Madeira (2012) constatou que em torno de 2% dos estabelecimentos presentes nos municípios verificados declararam a tomada de recursos emprestados. Resultado esse que não pode ser comparado com o obtido neste estudo, pois não foi estimado o número de contratos realizados, e sim o valor adquirido. Todavia, ao se considerar essa informação no presente trabalho, observou-se altos valores de crédito rural disponibilizados a uma pequena porção de produtores, o que pode explicar o alto valor do desvio padrão.

Barbosa e Sousa (2012) realizaram também uma análise semelhante para 167 municípios cearenses, por meio da utilização do censo agropecuário de 2006, e constataram de igual modo uma elevada heterogeneidade entre os municípios cearenses, com desvios padrão de 19779,43 e 42879,57 para os fatores valor da produção e área dos estabelecimentos (terra), respectivamente.

Quanto aos valores médios, o presente trabalho mostra melhor resultado para a variável valor da produção e um pior resultado para a variável terra do que os referidos por Barbosa e Sousa (2012), que encontraram valores médios de 17524,78 e 41451,19, respectivamente. Para Barbosa e Sousa (2012) os municípios cearenses apresentaram baixos investimentos em fatores que elevaram a eficiência técnica.

<sup>2</sup> Os testes são apresentados no apêndice.

<sup>3</sup> Dado que a maior parte dos municípios do Ceará estão localizados na região semiárida do Nordeste.

### 4.3 Estimação da Eficiência Técnica

A Tabela 3 apresenta os resultados da fronteira de produção para a agropecuária do Estado do Ceará. As estimativas das variáveis capital, pessoal ocupado e poupa terra foram estatisticamente significantes a 5%.

Percebe-se, por meio da análise dos resultados, que a variável relacionada ao dispêndio com insumos poupa terra apresentou maior influência em relação ao valor bruto da produção. Significa que gastos relacionados aos insumos de produção agregam maior produtividade em uma mesma porção de área e são responsáveis pela elevação da eficiência técnica dos municípios contidos na amostra.

Tabela 3 – Estimativas da fronteira de produção do Estado do Ceará

Variáveis	Coefficientes	Erro Padrão	Z	P-Valor	Intervalo Confiança (95%)	
Lnterra	-0,0353	0,0386	-0,92	0,360	-0,1110	0,0403
Lncapital	0,1536	0,0366	4,19	0,000	0,0818	0,2253
Lnpessoalocupado	0,2077	0,0580	3,58	0,000	0,0940	0,3214
Lnpterra	0,4995	0,0429	11,63	0,000	0,4153	0,5837
Constante	4,5624	0,6227	7,33	0,000	3,3419	5,7829
Ineficiência Técnica						
Variáveis	Coefficientes	Erro Padrão	Z	P-Valor	Intervalo Confiança (95%)	
Lnaireairrigada	-0,06245	0,0219	-2,84	0,000	-0,1055	-0,0194
Lncreditototal	-0,0440	0,0461	-0,96	0,339	-0,1344	0,04631
Constante	1,3855	0,4745	2,92	0,004	0,4554	2,3156
Usigma						
Variáveis	Coefficientes	Erro Padrão	Z	P-Valor	Intervalo Confiança (95%)	
Constante	-2,8875	0,2723	-10,6	0,000	-3,4214	-2,3536
Vsigma						
Variáveis	Coefficientes	Erro Padrão	Z	P-Valor	Intervalo Confiança (95%)	
Lnterra	-1,6680	0,7653	-2,18	0,029	-3,1681	-0,1680
Lncapital	1,2819	0,6540	1,96	0,050	-0,0000	2,5639
Lnpessoalocupado	-1,6243	0,8721	-1,86	0,063	-3,3335	0,0849
Lnpterra	0,5648	0,2426	1,66	0,072	0,0893	1,0404
Constante	21,0237	8,1403	2,58	0,010	5,0698	36,9775
Variáveis	Coefficientes	Erro Padrão	Z	P-Valor	Intervalo Confiança (95%)	
E(sigma_u)	0,2062				0,1348	0,2777
E(sigma_v)	0,2360	0,0321	7,34	0,000	0,1805	0,3082

Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados da pesquisa.

Nota. O Usigma e o Vsigma corrigem a heterocedasticidade negligenciada em u e v, melhorando significativamente as estimativas considerando as duas fontes de heterocedasticidade ao usar Usigma e Vsigma. Usigma especifica o componente de ineficiência técnica heterocedástico; Vsigma verifica o componente idiossincrático da heterocedacidade.

A variável terra não apresentou significância estatística a 5% para os municípios avaliados, indicando que em nível municipal não existem impactos dessa variável no valor bruto da produção agropecuária e que aumentar ou reduzir a quantidade de terra utilizada, mantendo os demais fatores constantes, não irá alterar a distância entre a posição atual de um município específico e a fronteira de possibilidades de produção<sup>4</sup>. Entretanto, esta pode apresentar significância em algumas propriedades agrícolas ou municípios individuais que representam uma minoria.

Analisando os trabalhos de Souza *et al.* (2010) e Araújo e Araújo (2016), já supracitados anteriormente, Souza *et al.* (2010) não obtiveram efeito para a variável terra, mas encontraram para as variáveis trabalho, capital e outros insumos (poupa terra), sendo confirmados no presente traba-

4 Como a função de produção foi estimada com dados de cortes transversal e, além disso, grande parte do estado está localizado no semiárido, pode haver uma potencial correlação entre os insumos e os dados devem ser interpretados de maneira geral como uma correlação e não como uma análise de causalidade.

lho. Por outro lado, no estudo de Araújo e Araújo (2016), a variável terra teve efeito sobre o valor bruto da produção, porém, esta não impactou positivamente. Para os referidos autores o resultado obtido foi consequência de uma colheita abaixo da esperada em relação aos insumos utilizados. A variável trabalho também foi significativa, porém, de modo negativo.

Quando a estimação do modelo Cobb-Douglas leva em consideração a análise da variável terra para municípios do semiárido é esperado que esta seja insignificante, como no presente trabalho, ou apresente significância negativa. O motivo se dá, talvez, pela sensibilidade agrícola às intempéries, como pragas, doenças, déficit hídrico e a baixa produtividade do solo, que impede essa variável de exercer maior influência positiva na produção.

As variáveis caracterizadas no modelo que captam a ineficiência técnica foram a área irrigada e o crédito rural. Analisando os resultados, somente a área irrigada mostrou-se estatisticamente significativa na equação da média do termo de ineficiência. Seu sinal negativo implica que essa variável atua na diminuição da ineficiência técnica e na melhora do desempenho da agropecuária cearense.

As estimações quanto aos parâmetros das variáveis de ineficiência técnica indicam que tecnologias de irrigação são importantes na busca de uma melhor atuação na agropecuária, sendo este um resultado já esperado devido ao constante *déficit* hídrico no semiárido, tornando a adoção dessa tecnologia importante para os produtores do Estado. Em razão disso, surge a necessidade de um melhor direcionamento das políticas públicas voltadas ao meio rural, principalmente, para os pequenos e médios produtores, dada a necessidade de investimentos direcionados para tecnologias de recursos hídricos.

Prosseguindo com a análise das variáveis de ineficiência técnica, a obtenção do crédito rural não resulta como fator atuante na diminuição da ineficiência técnica, o que não é o esperado, já que grande parte da produção agrícola cearense provém da agricultura familiar. Segmento esse que majoritariamente aprova e se beneficia da política pública do crédito rural do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf).

Pode ser que as políticas de crédito rural nos municípios cearenses sejam formuladas de maneira a buscar ganhos de produção em vez de ganhos de produtividade por parte dos produtores do estado. Se tal fato se verifica, então é necessário que haja um redirecionamento no que diz respeito aos objetivos das políticas de concessão do crédito rural, a fim de que essas medidas busquem extrair ganhos de produtividade da agropecuária cearense.

Pela Tabela 4 observa-se que, de acordo com a eficiência técnica captada pelo modelo, foi possível obter o *ranking* dos municípios mais próximos e mais distantes da fronteira de eficiência técnica, ou seja, os municípios que utilizaram com maior e menor eficácia os fatores de produção na obtenção do valor bruto de produção.

Tabela 4 – Ranking dos municípios cearenses mais próximos e mais distantes da fronteira de eficiência técnica (2017)

Municípios Próximos da Fronteira		Municípios Distantes da Fronteira	
Beberibe	0,6718	Maracanaú	0,2090
Quixadá	0,5858	Icapuí	0,2218
Mombaça	0,5760	Senador Sá	0,2364
Independência	0,5297	Miraíma	0,2628
Brejo Santo	0,5030	Ibicuitinga	0,2685
Itapipoca	0,5022	Campos Sales	0,2745
Paraipaba	0,4983	Umari	0,2777
Acaraú	0,4979	Solonópole	0,2797
Pacatuba	0,4919	Antonina do Norte	0,2817
Aracati	0,4883	Ibaretama	0,2828
<b>Média:</b>	<b>0,5345</b>	<b>Média:</b>	<b>0,2595</b>
<b>Mediana:</b>	<b>0,5026</b>	<b>Mediana:</b>	<b>0,2715</b>

Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados da pesquisa.

Tanto nos 10 municípios mais eficientes quanto nos 10 menos eficientes, os valores de média e mediana são próximos. Portanto, observa-se uma distribuição simétrica dos valores, sem valores de eficiência muito grandes ou muito baixos, considerando os respectivos grupos mais próximos e mais distantes da fronteira. Logo, as medidas estatísticas obtidas são representativas. Entretanto, uma vez que o máximo valor de eficiência é igual a 1, somente os 6 primeiros municípios mais eficientes apresentaram valores ligeiramente maiores que 50% do valor de máxima eficiência, demonstrando que o Estado do Ceará possui uma baixa eficiência técnica e que ainda precisa avançar bastante em relação ao melhor uso dos fatores de produção.

Considerando a baixa eficiência observada nos municípios cearenses, é importante um maior acompanhamento dos órgãos públicos, que fornecem assistência técnica, a fim de melhorar a adoção de tecnologias adaptadas a cada propriedade, como é o caso do Programa Agronordeste<sup>5</sup>. Ademais, a participação das cooperativas nesse processo pode gerar o acesso a essas tecnologias, bem como fortalecer a comercialização de produtos.

Apesar de o crédito rural configurar um importante instrumento de política pública para o meio rural, no presente trabalho não apresentou efeito em mitigar a ineficiência técnica. Esse resultado pode apontar uma má distribuição ou mau aproveitamento dessa política pública no Ceará. Assim, pode-se pensar nas seguintes hipóteses: a primeira é que o agricultor familiar não está preocupado com eficiência técnica, mas sim com a segurança alimentar de sua família; a segunda é a evidência do mau uso desse recurso por parte dos agricultores.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As conclusões que se apresentam consistem com os resultados da utilização da base de dados adotada, bem como com o método de fronteira estocástica, denotando as medidas e possibilidades, que devem e podem ser tomadas a partir da estimação.

Sendo assim, a partir da análise obteve-se as estimativas da função de produção, indicando que os investimentos em capital, pessoal ocupado e poupa terra são positivos e apresentam importante influência na atividade agrícola dos municípios cearenses, tendo em vista que estas variáveis atuaram no sentido de aumentar a eficiência técnica da produção. Os investimentos em tecnologias de irrigação também são recomendados, pois essa variável apresentou efeitos positivos na diminuição da ineficiência técnica. A partir dos desvios padrões dos fatores observados é possível constatar a heterogeneidade dos municípios, resultado esperado quando se analisa os municípios no Nordeste, região na qual o Ceará está inserido.

Em relação à eficiência técnica o município que apresentou a melhor eficiência técnica foi Beberibe, com 67,18% de eficiência. O município que apresentou pior eficiência foi Maracanaú, com 20,90%. Em geral os municípios apresentaram baixa eficiência, sendo necessário rever a forma de utilização dos recursos disponíveis, assim como direcionar e potencializar os investimentos em fatores de produção que demonstraram ter efeito positivo no aumento da produção.

Um grande entrave que os produtores cearenses enfrentam é a falta de capitalização para investir em novas tecnologias. A oferta de crédito rural surge como política pública para sanar esse problema, contudo, no presente trabalho a variável crédito rural não apresentou significância na redução da ineficiência técnica.

Porém, convém registrar que a perda de produtividade de trabalho pode não se relacionar a redução de mão de obra, e sim a baixa capacitação técnica dos empregados. A pouca instrução que atinge os agricultores influi também na capacidade administrativa, comprometendo o bom uso de

---

5 O AgroNordeste é um plano de ação do Governo Federal, que busca impulsionar a agropecuária do Nordeste do Brasil. Esse plano foi lançado em 2019, com o objetivo de apoiar as cadeias agropecuárias com maior relevância na região, buscando aumentar o nível de eficiência produtiva, atuando sobre os canais de comercialização, bem como no âmbito social e ambiental dos pequenos e médios produtores rurais associados a cooperativas rurais.

investimentos por más escolhas relacionadas à falta de informação. Aliados a esses problemas o setor agropecuário cearense é fortemente dependente das chuvas para o sucesso da produção agropecuária e os investimentos em irrigação são escassos, pois essa tecnologia é dispendiosa para os pequenos agricultores.

Portanto, é essencial que ocorra a inserção de tecnologias mecânicas, melhores métodos de produção e adoção de insumos modernos nas propriedades e, para a melhor utilização destes, é necessário também mais conhecimento e informação a respeito de uso de tecnologias adequadas e de menor custo pelos agricultores. É preciso também que exista a legalização da mão de obra utilizada, a fim de que não ocorra a constante perda de trabalhadores quando estes já estão familiarizados com os processos precedentes a produção. Ademais, como agenda futura, pretende-se estimar a Meta Fronteira para o Nordeste e mensurar a posição da fronteira agropecuária do Ceará, bem como dos outros estados, em relação à Meta Fronteira nordestina.

## REFERÊNCIAS

- AIGNER, D.J.; LOVELL, C.A.K.; SCHMIDT, P. Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. In: **Journal of Econometrics**, 21-37, 1977.
- ALBUQUERQUE, W. M. Análise de convergência espacial de produtividade agrícola aplicada à região Nordeste do Brasil e nos municípios do Estado do Ceará. In: **DEA – Dissertações defendidas na UFC**, 2020.
- ARAÚJO, W. B. C.; ARAUJO, J. A. Produtividade, variação da eficiência técnica e tecnológica na agricultura dos municípios cearenses. In: **Interações (Campo Grande)**, v. 17, n. 2, p. 223-233, 2016.
- BACEN – BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Crédito Rural - 2017**. 2018. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/>. Acesso em: 20 mar. 2020
- BARBOSA, W. F.; SOUSA, E. P. Eficiência técnica e de escala da agropecuária no estado do Ceará. In: **Semana de Economia da URCA-SECON, XIV**, 2012.
- BRAVO-URETA, B. E.; PINHEIRO, A. E. Efficiency analysis of developing country agriculture: a review of the frontier function literature. In: **Agricultural and Resource Economics Review**, v. 22, n. 1, p. 88-101, 1993.
- CARVALHO, M. A.; SILVA, C. R. L. Intensidade do comércio agrícola no Mercosul. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL - SOBER, 47, 2009, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SOBER, Jul. 2009. p. 1-13.
- CHAMBERS, R. G. et al. **Applied production analysis: a dual approach**. Cambridge University Press, 1988.
- COELLI, T. J.; BATTESE, G. E. Identification of factors which influence the technical inefficiency of Indian farmers. In: **Australian Journal of Agricultural Economics**, v. 40, n. 2, p. 103-128, 1996.
- COELLI, T.J.; RAO, D.S.P.; BATTESE, G.E. An introduction to efficiency and productivity analysis. In: **Boston**: Kluwer Academic Publishers, 1998. 275p.
- CONFEDERAÇÃO DE AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **PIB do Agronegócio cresce 3,81% em 2019**, 2020.

CONFEDERAÇÃO DE AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **PIB do Agronegócio: balanço 2017, 2018.**

COSTA, E. M.; FILHO, J. E. R. V. Choque de oferta no crédito rural e seu impacto produtivo na agricultura brasileira. In: **Políticas públicas avaliando mais de meio trilhão de reais em gastos públicos**, p. 207, 2018.

DE BARROS, A. L. M. **Capital, produtividade e crescimento da agricultura: o Brasil de 1970 a 1995.** Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo. 1999

ELIAS, D.; PEQUENO, R. Reestruturação econômica e nova economia política da urbanização no Ceará. In: **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, v. 12, n. 28, p. 95 – 112, 2013.

FARREL, M. J. A measurement of productive efficiency. In: **Journal of the Royal Statistical Society. Séries A (General)**. United Kingdom, [S.l.], v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957.

GASQUES, J. G. et al. Produtividade da agricultura: resultados para o Brasil e estados selecionados. In: **Revista de Política Agrícola**, v. 23, n. 3, p. 87-98, 2014.

GASQUES, J. G.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; NAVARRO, Z. **A agricultura brasileira: desempenho, desafios e perspectivas.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Brasília. 2010.

GREENE, W. H. The econometric approach to efficiency analysis. In: **The measurement of productive efficiency and productivity growth**, v. 1, n. 1, p. 92-250, 2008.

GREENE, W. H. **Econometric Analysis.** 8th ed. Stern School of Business, New York University, 2018

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017.** 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 12 mar. 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal (PAM) – 2017.** 2018. Disponível em: <http://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 26 mar. 2020.

IPECE – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **PIB – Tabelas Especiais.** 2018. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/>. Acesso em: 16 jul. 2020.

JONDROW, J. et al. On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model. In: **Journal of econometrics**, v. 19, n. 2-3, p. 233-238, 1982.

KODDE, D. A.; PALM, F. C. Wald criteria for jointly testing equality and inequality restrictions. In: **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p. 1243-1248, 1986.

KUMBHAKAR, S. C.; GHOSH, S.; MCGUCKIN, J. T. A generalized production frontier approach for estimating determinants of inefficiency in US dairy farms. In: **Journal of Business & Economic Statistics**, v. 9, n. 3, p. 279-286, 1991.

MADEIRA, S. A. Análise da modernização agrícola cearense no período de 1996 e 2006. **DEA – Dissertações defendidas na UFC**, 2012

MAGALHÃES, K. A. Algumas reflexões sobre a agropecuária do Ceará. In: **Enfoque Econômico**. Fortaleza: IPECE, n. 105, 2014. (Relatório Técnico, n. 105).

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

OLIVEIRA, M. A. S.; SILVA, R. G.; BAPTISTA, A. J. M. Determinantes da estratificação da eficiência técnica no Ceará: uma abordagem multinomial. In: **Revista RV Economia**. Rio Verde, GO, v. 6, p. 36-44, 2005.

REIFSCHNEIDER, D.; STEVENSON, R. Systematic departures from the frontier: a framework for the analysis of firm inefficiency. In: **International Economic Review**, p. 715-723, 1991.

ROSA, A. L. T.; FERREIRA, M. O.; RAMOS, L. M. Crescimento da agropecuária cearense: comparação entre as produtividades parciais e total. In: **Revista de Economia e Sociologia Rural**. 2006.

SCHUH, G. E. A agricultura no Brasil: política, modernização e desenvolvimento econômico. In: **Revista de Política Agrícola**, 6(2), 15-21, 1997.

SILVA, J. B. da. A cidade contemporânea no Ceará. In: SOUZA, S. (org.). **Uma nova história do Ceará**. 4. Ed. Fortaleza: Fundação Demócrito Rocha, 2007.

SILVA, F. P. da. Eficiência técnica e heterogeneidade tecnológica na agropecuária brasileira. **DEA – Dissertações defendidas na UFC**, 2017.

SOLOW, R. M. Technical change and the aggregate production function. In: **The review of Economics and Statistics**, p. 312-320, 1957.

SOUZA, G. da S.; GOMES, E. G.; GAZZOLA, R. Eficiência técnica na agricultura brasileira: uma abordagem via fronteira estocástica. In: Área de Informação da Sede-Artigo em anais de congresso (ALICE). SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA. Anais..., 13., 2010, Rio de Janeiro. **Anais...**, 2010.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; FISHLOW, A. Agricultura e indústria no Brasil: inovação e competitividade. In: **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)**. Brasília. 2017