



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

**KARINE DISRAELLY PAULO MARQUES**

**EFEITOS DO CAPITAL HUMANO NA EFICIÊNCIA TÉCNICA E NA  
PRODUTIVIDADE TOTAL DOS FATORES DA FRUTICULTURA NOS POLOS DE  
IRRIGAÇÃO CEARENSE**

**FORTALEZA**

**2023**

KARINE DISRAELLY PAULO MARQUES

EFEITOS DO CAPITAL HUMANO NA EFICIÊNCIA TÉCNICA E NA PRODUTIVIDADE  
TOTAL DOS FATORES DA FRUTICULTURA NOS POLOS DE IRRIGAÇÃO CEARENSE

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Economia Rural. Área de concentração: Políticas Públicas e Desenvolvimento Rural.

Orientador: Prof. Ph.D. Rogério César Pereira de Araújo

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

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

---

- M318e Marques, Karine Disraelly Paulo.  
Efeitos do capital humano na eficiência técnica e na produtividade total dos fatores da fruticultura nos polos de irrigação cearense / Karine Disraelly Paulo Marques. – 2023.  
43 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Rogério César Pereira de Araújo.
1. Fruticultura. 2. Polos de irrigação. 3. Capital humano. 4. Produtividade. 5. Eficiência técnica. I.  
Titulo.

CDD 338.1

---

KARINE DISRAELLY PAULO MARQUES

EFEITOS DO CAPITAL HUMANO NA EFICIÊNCIA TÉCNICA E NA PRODUTIVIDADE  
TOTAL DOS FATORES DA FRUTICULTURA NOS POLOS DE IRRIGAÇÃO CEARENSE

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Economia Rural. Área de concentração: Políticas Públicas e Desenvolvimento Rural.

Aprovada em 30/06/2023

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Ph.D. Rogério César Pereira de Araújo (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Kilmer Coelho Campos  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Robério Telmo Campos  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Francisco Laércio Pereira Braga  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

A Deus.

Ao meu pequenino e amado filho, Saulo, e ao  
meu querido esposo, Eliel Ribeiro.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE Campus Sobral, pelo apoio com a liberação para afastamento integral das minhas atividades laborais na instituição.

Ao meu querido chefe e amigo, Luiz Hernesto Araújo Dias, pelo seu grande incentivo, o qual foi muito importante para que eu desse início a essa jornada.

Ao Prof. Ph.D. Rogério César Pereira Araújo, pela excelente orientação.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Kilmer Coelho Campos, Prof. Dr. Roberio Telmo Campos e Prof. Dr. Francisco Laércio Pereira Braga por todas as observações, correções e sugestões apresentadas.

Aos colegas de trabalho do Departamento de Administração e Planejamento do IFCE – DAP Sobral, Lurdinha, Flávio, Socorrinha, Renata, Rayanne e Diego, pelo incentivo e apoio.

Ao meu esposo, Eliel, pelo incentivo, apoio e compreensão durante todo o curso.

Ao colega Helson, pela sua valorosa ajuda e pelas sugestões importantíssimas.

Finalmente, a todos aqueles que fizeram parte desse projeto, que torceram por mim e me incentivaram de forma direta e indireta.

“Inteligência é a habilidade das espécies para viver em harmonia com o meio ambiente”  
(Paul Watson, Worldfest 2006, Los Angeles).

## RESUMO

A expansão da produção frutícola no Ceará é vista como uma importante estratégia para incentivar o desenvolvimento econômico do estado. Nesse contexto, o presente estudo visa analisar os efeitos do capital humano na Produtividade Total dos Fatores (PTF) e na eficiência técnica dos municípios produtores de frutas situados no polo de irrigação do Ceará no período de 2011 e 2020. Para isso, estimou-se uma fronteira de produção estocástica e em seguida calculou-se o índice de Malmquist, que capta a decomposição da produtividade total dos fatores em dois componentes. Os resultados mostraram que as variações tecnológicas determinam a produtividade dos municípios estudados, ou seja, foram verificadas perdas tecnológicas e perdas de produtividade. Assim, mesmo ocorrendo o crescimento da variação da eficiência técnica, a PTF não se elevou, uma vez que a redução da variação tecnológica foi mais acentuada que o aumento da variação da eficiência técnica. Dentre as variáveis que representam o capital humano, a variável mão de obra qualificada não exerceu influência sobre o nível de eficiência técnica, enquanto a variável experiência apresentou significância estatística, e, portanto, é importante na explicação dos níveis de eficiência técnica no setor frutícola.

**Palavras-chave:** fruticultura; polos de irrigação; capital humano; produtividade; eficiência técnica.



## ABSTRACT

The expansion of fruit production in Ceará is seen as an important strategy to encourage the economic development of the state. In this context, the present study aims to analyze the effects of human capital on the Total Factor Productivity (TFP) and on the technical efficiency of the fruit producing municipalities located in the irrigation pole of Ceará in the period of 2011 and 2020. For this, it was estimated a stochastic production frontier and then the Malmquist index was calculated, which captures the decomposition of total factor productivity into two components. The results showed that technological variations determine the productivity of the municipalities studied, that is, technological losses and productivity losses were verified. Thus, even with an increase in the variation in technical efficiency, TFP did not rise, since the reduction in technological variation was more pronounced than the increase in variation in technical efficiency. Among the variables that represent human capital, the qualified labor variable did not influence the level of technical efficiency, while the experience variable was statistically significant and, therefore, is important in explaining the levels of technical efficiency in the fruit sector.

**Keywords:** fruit growing; irrigation poles; human capital; productivity; technical efficiency.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Eficiência técnica, alocativa e econômica.....	19
Figura 2 – Função distância orientada pelo produto e conjunto de possibilidade de produção .....	29
Quadro 1 – Variáveis utilizadas no cálculo do índice de produtividade total dos fatores.....	32
Gráfico 1 – Decomposição da produtividade total dos municípios produtores de frutas situados nos polos de irrigação do Ceará .....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Polos de irrigação do Ceará e suas características .....	25
Tabela 2 – Sumário estatístico das variáveis .....	34
Tabela 3 – Estimação da fronteira estocástica de produção .....	35
Tabela 4 – Mudanças na eficiência técnica, tecnológica e na produtividade total dos fatores nos municípios produtores de frutas, situados nos polos de irrigação do Ceará, de 2011 a 2020 .....	37

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>Estrutura da dissertação.....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Capital humano e produtividade agrícola.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Eficiência: aspectos teóricos .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>Métodos de mensuração da eficiência .....</b>	<b>20</b>
<b>3.4</b>	<b>Produtividade: conceitos básicos .....</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Área de estudo.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2</b>	<b>Análise de Fronteira Estocástica – Stochastic Frontier Analysis (SFA) .....</b>	<b>26</b>
<b>4.3</b>	<b>Índice de Malmquist .....</b>	<b>27</b>
<b>4.4</b>	<b>Estimação dos modelos de SFA .....</b>	<b>30</b>
<b>4.5</b>	<b>Dados e variáveis do modelo.....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>5.1</b>	<b>Estatísticas descritivas das variáveis .....</b>	<b>34</b>
<b>5.2</b>	<b>Estimação da fronteira.....</b>	<b>35</b>
<b>5.3</b>	<b>Índices de produtividade.....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira sofreu transformações marcantes ao longo das últimas cinco décadas (1970-2020), ganhando destaque no cenário agrícola internacional. De acordo com os dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2019), o Brasil é o principal produtor e exportador de produtos agrícolas como açúcar, café e soja, e posicionando-se entre os cinco líderes mundiais na produção de algodão, milho, frutas e carnes bovina, suína e de aves. Historicamente, o setor agropecuário tem dado uma relevante contribuição ao crescimento da economia do país, impulsionando a geração de emprego, renda e divisas.

O Brasil é detentor de uma vasta extensão territorial e climas que variam entre regiões, o que confere potencial de expansão e desenvolvimento da agricultura. Nesse sentido, cada região tem explorado a sua vocação agrícola. Em particular, a região Nordeste desenvolveu uma agricultura com cultivares que possuem maior capacidade de adaptação ao clima semiárido com temperaturas predominantemente altas, acima dos 20° C de médias anuais, e escassez de precipitações que se concentram em período curto de tempo (Araújo, 2011). Silva Filho, Santos e Silva (2016) destacam que as tecnologias de irrigação têm ampliado a possibilidade de desenvolvimento da região.

O estado do Ceará, que possui a maior parte do seu território inserido no semiárido nordestino, encontrou na fruticultura uma de suas vocações agrícolas, destacando-se com elevada produção de frutas, obtidas por meio tanto da produção de sequeiro quanto da produção irrigada. A fruticultura irrigada vem se expandido significativamente nos últimos dez anos, tornando o Ceará um importante produtor nacional de caju, coco da baía, maracujá, melão e mamão, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020).

O marco inicial da agricultura irrigada no Ceará deu-se na década de 1970, com a criação dos primeiros perímetros públicos irrigados, como o de Morada Nova, que abrange os municípios de Morada Nova e Limoeiro do Norte, o Quixabinha no município de Mauriti, o Icó - Lima Campos, no município de Icó e o Ema, no município de Iracema. Entretanto, os incentivos governamentais mais expressivos ocorreram no final da década de 1990, por ocasião da criação da Secretaria de Agricultura Irrigada (SEAGRI), como parte da política de reestruturação da agricultura, que tinha como fundamento a modernização da agricultura (Freitas, 2010).

No ano de 2002, com a criação do Instituto Agropolos do Ceará, a agricultura

irrigada foi objeto de ações estratégicas de fortalecimento do setor, por exemplo, o zoneamento agrícola, que permitiu identificar áreas com maior potencial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no estado.

No ano seguinte, em 2003, a economia cearense foi beneficiada com a inauguração do Porto do Pecém, um dos principais portos de exportação do país. O Porto do Pecém assumiu um papel importante para a agricultura da região, pois impulsionou a exportação dos produtos agrícolas do Ceará e de outros estados do Nordeste, em particular os produtos frutícolas (Amaral Filho; Melo; Braga, 2018). Desse modo, a fruticultura cearense foi favorecida pela política governamental direcionada ao fortalecimento das vantagens comparativas do estado no comércio internacional (ADECE, 2018).

No estado do Ceará, a fruticultura tem um papel importante para a economia cearense e nacional. A partir de 2011, a fruticultura cearense tornou-se o primeiro exportador e o quarto produtor de castanhas, e o terceiro exportador de frutas no Brasil (Nascimento *et al.*, 2022). Em 2017, o Ceará assumiu o quarto maior produtor de frutas do Brasil e o segundo maior produtor de melão e melancia (ADECE, 2018).

Em 2020, a produção agrícola do Ceará atingiu aproximadamente 3,8 milhões de toneladas, somando um valor total de R\$ 3,7 bilhões, com 1,4 milhão de hectares cultivados (PAM, 2020). Ainda de acordo com a Pesquisa Agrícola Municipal (2020), o valor da produção de frutas no estado, no mesmo ano, foi de R\$ 1,6 bilhão, utilizando uma área de 365.398 hectares.

Nos últimos dez anos (2010-2020), a participação da produção de frutas no valor da produção agrícola total do estado do Ceará tem se mantido acima de 50% do valor da produção agrícola total, chegando a alcançar participação de 60% em 2015. A taxa de crescimento médio do valor da produção de frutas durante o período de 2011 a 2020 foi de 5,5%, tendo o maior valor ocorrido no ano de 2020 (IBGE, 2023).

Do ponto de vista econômico, segundo Ferreira e Vieira Filho (2020), a fruticultura irrigada realizada em perímetros irrigados no semiárido nordestino permite retornos financeiros significativos, já que para cada real investido se obteve o retorno de doze reais. Além disso, de acordo com Rodrigues, Domingues e Christofidis (2017), a irrigação permite aumentar a produtividade das culturas, além de proporcionar benefícios sociais e econômicos (renda, emprego e valor bruto da produção).

A agricultura irrigada representa uma tecnologia de produção agrícola que requer fatores típicos de produção tais como máquina e equipamento, solo, semente, fertilizante, defensivo agrícola, água, clima favorável, mão de obra e gerenciamento. De modo geral, esses

fatores de produção têm sido amplamente analisados como fatores determinantes da eficiência técnica de produção e produtividade na agricultura. Entretanto, ainda é insuficiente a investigação do efeito do capital humano no desempenho técnico e econômico da agricultura, particularmente da agricultura irrigada.

O presente estudo tem como foco o capital humano na agricultura irrigada e seu efeito na eficiência técnica e na produtividade da fruticultura cearense pelo fato de a fruticultura adotar tecnologia moderna (irrigação) e seu escoamento, em parte, ser direcionado à exportação. Isso poderia remunerar melhor o fator trabalho e atribuir mão de obra com maior nível de escolaridade, o que resultaria em maior nível de eficiência técnica e produtividade. Entretanto, de acordo com dados do Censo Agropecuário de 2017, apenas 19,6% do pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação, no Ceará, concluiu o ensino fundamental e 9,7% o ensino médio, o que demonstra baixo nível de escolaridade da mão de obra.

Dessa forma, a relação entre o capital humano e desempenho da fruticultura em termos de eficiência técnica e produtividade pode não se diferenciar daquela observada na produção de outras culturas agrícolas, por exemplo, produtos básicos de subsistência (e.g., feijão, milho e mandioca), cujo nível de escolaridade da mão de obra empregada é baixo.

Assim, este estudo tem como foco investigar a relação existente entre o capital humano empregado na fruticultura irrigada e a eficiência técnica e produtividade desta atividade no estado do Ceará. Para isso, utilizando a Análise de Fronteira Estocástica e da produtividade total dos fatores de produção, os municípios cearenses que constituem polos de fruticultura irrigada são tratados como unidades de tomada de decisão na alocação de fatores de produção, considerados de forma agregadas, tendo como fontes de ineficiência o capital humano empregado nessa atividade.

Adicionalmente, utilizando o índice de Malmquist, investigam-se as variações na produtividade da fruticultura irrigada nos polos de irrigação, de modo que são avaliadas quanto às mudanças que podem ocorrer na eficiência técnica ou na tecnologia da fruticultura irrigada no horizonte temporal. Esta responsável pela expansão da fronteira de possibilidade de produção. A relevância desta dissertação dá-se pela necessidade de ampliar a discussão sobre o papel do capital humano na agricultura, em particular na agricultura irrigada, já que são poucos os trabalhos na área. A qualidade do capital humano na agricultura tem assumido papel importante na melhoria da eficiência técnica da produção, já que a informação e a comunidade são componentes essenciais para a tomada de decisão, o que requer nível satisfatório de escolaridade para o gerenciamento da unidade produtiva.

Assim, espera-se que os resultados possam contribuir tanto para a formulação de políticas públicas quanto para os investimentos privados, em aumentos de capital humano, direcionados ao setor frutícola cearense, contribuindo com o desenvolvimento econômico e maior participação do estado no comércio internacional.



## **2 OBJETIVOS**

Este capítulo apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho, bem como, a sua estruturação.

### **2.1 Objetivo geral**

Mensurar os efeitos do capital humano na eficiência técnica e na produtividade total dos fatores da fruticultura praticada nos municípios integrantes dos polos de irrigação cearenses.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Mensurar a eficiência técnica dos municípios integrantes dos polos de irrigação cearense, identificando as fontes de ineficiência;
- Mensurar a mudança na produtividade total dos fatores dos municípios;
- Decompor e analisar as variações da produtividade em mudanças técnicas e tecnológicas.

### **2.3 Estrutura da dissertação**

A dissertação está estruturada em cinco capítulos. O capítulo 1 apresenta a importância da fruticultura irrigada no Ceará e define o problema dos objetivos do estudo: investigar a relação entre o capital humano e a eficiência técnica e produtividade da fruticultura. O capítulo 2 apresenta uma breve revisão da literatura sobre a análise de eficiência técnica e índice de Malmquist, que norteiam o estudo. O capítulo 3, acerca da metodologia, delimita a área de estudo, define a base de dados e variáveis dos modelos e descreve os métodos de análise. O capítulo 4 mostra os resultados obtidos e discussão, na sequência dos objetivos propostos. Finalmente, o capítulo 5 está direcionado para as principais conclusões, assim como as limitações do estudo e sugestões de futuras pesquisas na área.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os conceitos fundamentais pertinentes à análise da eficiência e da produtividade, particularmente o que se entende por capital humano, eficiência e produtividade.

#### 3.1 Capital humano e produtividade agrícola

Romer (1986, 1990) e Lucas (1988), entre outros economistas contemporâneos, promoveram, com seus estudos, um profundo debate sobre as causas do crescimento econômico, o que resultou na melhor compreensão do mesmo, atribuindo caráter endógeno ao progresso tecnológico e reforçando o papel do conhecimento, inserindo na função de produção o capital humano. Essa abordagem, denominada como teoria do crescimento endógeno, desencadeou o desenvolvimento de novas práticas nos processos produtivos de vários setores econômicos.

No setor agrícola brasileiro, o crescimento tem ocorrido em função de ganhos de produtividade desde os anos 1980 (Gasques; Villa Verde, 1990). Esses ganhos têm sido correlacionados aos avanços tecnológicos. Santos (2014) afirma que progresso tecnológico é o motor do crescimento, visto que atua diretamente sobre a produtividade, isto é, o trabalho do homem ou de uma máquina se torna mais produtivo quando o nível de tecnologia aumenta.

Por sua vez, o avanço tecnológico das lavouras está fortemente relacionado ao nível de capital humano empregado, pois é necessário que haja força de trabalho capacitada tecnicamente para o manejo de novas tecnologias.

Assim, a relação entre tecnologia e capital humano na agricultura tem sido apontada, em diversos estudos, como uma relação que possui relevante contribuição nos ganhos de produtividade. Carvalho, Pires e Gomes (2017), por exemplo, demonstraram em uma pesquisa direcionada para o setor agrícola do estado da Bahia, que as variáveis tecnologia e capital humano influenciam fortemente na produtividade total dos fatores.

Vieira Filho e Fishlow (2017) afirmam que não é a distribuição de terra que aumentará a produtividade, mas, sim, o uso de tecnologia, o qual depende da capacidade de absorção de novos conhecimentos. Paula Júnior (2019) analisou no período de 2001 a 2015, pessoas que residiam e trabalhavam na área rural da região Sul do Brasil, com a hipótese de que havia um efeito positivo entre escolaridade e produção agrícola. Tal hipótese foi validada, demonstrando a necessidade da formação de capital humano para controlar a sequência de

avanços tecnológicos que têm ocorrido.

Por outro lado, Lutzemberger (2001) defende que o capital humano está positivamente relacionado à produtividade quando afirma que os métodos agrícolas tradicionais poderiam ser aperfeiçoados com conhecimento científico sobre processos produtivos, envolvendo o crescimento das plantas, a estrutura do solo, a química e a vida do mesmo, o metabolismo das plantas e assim por diante.

O capital humano, por sua vez, envolve componentes de qualidade como habilidade, conhecimento e atributos semelhantes, que afetam as capacidades humanas específicas para realizar um trabalho produtivo (Schultz, 1961). A educação e a formação dos trabalhadores são um meio de aumentar a produtividade e a renda agrícola.

Vicente (2004), em um estudo que mensurou os níveis de eficiências técnica, alocativa e econômica na produção agrícola das lavouras do Brasil, demonstrou que a educação estava correlacionada com a melhor eficiência alocativa nas áreas rurais. Mendes e Pereira (2009), em um estudo direcionado ao Mato Grosso, abordaram, entre outros modelos conceituais, um já bastante refutado, mas ainda muito utilizado, que considera o setor rural tradicional como, essencialmente, fora do mercado, de baixa produtividade e capitalização, e, baixa educação, apontando para a introdução da educação em áreas rurais como ferramenta para introduzir conhecimentos e habilidades que permitem a transformação de uma economia de subsistência em uma economia moderna.

O interesse dos pesquisadores brasileiros no estudo empírico acerca dos investimentos em capital humano e seus efeitos sobre o crescimento econômico é crescente. Araújo *et al.* (2018) ao analisarem o impacto dos investimentos públicos em capital humano sobre a Produtividade Total dos Fatores (PTF) na agricultura paulista, no período 1981-2014, atestaram a relevância desse tipo de investimento na agropecuária como indutor do crescimento econômico de São Paulo, já que cada real investido em capital humano resultou no aumento do valor da produção, que variou entre R\$ 10 reais e R\$ 12 reais.

Castro, Barros e Menezes-Filho (2021) ao investigarem o efeito do capital humano na produtividade da soja, milho e gado, e na expansão da área agrícola brasileira, constataram que o capital humano impactou positivamente na produtividade da soja, milho e pecuária, embora com intensidades diferentes, e na expansão da área agrícola. É, nesse contexto, que Ndour (2017), ciente da dificuldade alimentar da população africana, realizou um estudo acerca dos efeitos do capital humano na eficiência e produtividade dos agricultores de três comunidades da África. Os resultados demonstraram que o capital humano afeta positiva e significativamente a produtividade, melhorando o nível de educação o que implica

em aumentos de eficiência e rendimentos, corroborando com a ideia de que uma agricultura forte, capaz de combater a insegurança alimentar requer o aumento do nível dos componentes do capital humano, como educação, formação e experiência.

Assim, com base nos trabalhos acima apresentados, as evidências empíricas estão em consonância com a literatura que afirma que o capital humano é um insumo relevante na função de produção agrícola, ou seja, o capital humano tem um impacto positivo na produção agrícola.

### **3.2 Eficiência: aspectos teóricos**

A combinação ótima dos insumos (*inputs*) e de métodos necessários no processo produtivo de modo que gerem o máximo de produto (*output*) é o que se conceitua como eficiência (Peña, 2008). Isso significa que, no processo produtivo, a eficiência visa assegurar a otimização da utilização dos recursos.

Os estudos sobre eficiência em economia remontam ao trabalho de Farrell (1957), que focou na mensuração da eficiência quanto à utilização dos insumos. Para Farrell (1957), a eficiência de uma firma apresenta duas medidas: a eficiência técnica e a eficiência de alocação, que combinadas resultam na eficiência econômica.

Conforme Kalirajan e Shand (1999), a eficiência técnica é definida como a capacidade e disposição de uma unidade econômica para produzir o máximo possível de um dado pacote de insumos e uma tecnologia. Pode ser entendida também como a habilidade da firma em utilizar a quantidade mínima de insumos para obter uma dada produção. Dessa forma, a análise da eficiência técnica de uma firma pode ser orientada para a maximização de produtos (eficiência técnica produto-orientada) ou para a minimização de insumos (eficiência técnica insumo-orientada).

Ainda de acordo com Kalirajan e Shand (1999), a eficiência alocativa é definida como a capacidade de uma unidade econômica igualar o seu valor de produto marginal específico com o seu custo marginal, o que é a própria condição de maximização de lucro da firma. A eficiência econômica envolve, além dos aspectos físicos, os monetários. A produção para ser, economicamente eficiente, requer a máxima eficiência técnica. Entretanto, uma organização tecnicamente eficiente pode ser ineficiente em termos econômicos, se ela não usa a melhor combinação dos insumos que minimiza os custos (Peña, 2008).

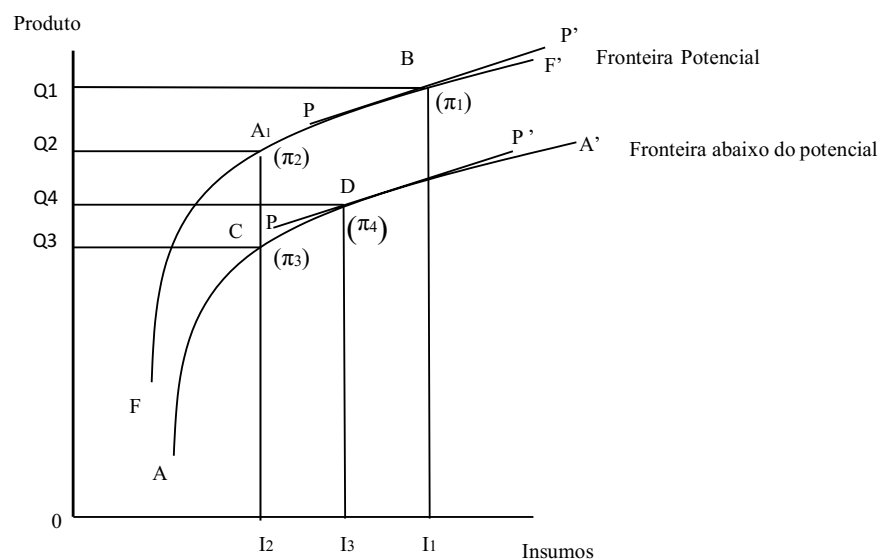
A mensuração da eficiência é importante para os tomadores de decisão, por auxiliar a comparação entre unidades econômicas semelhantes levando em consideração as

dimensões importantes para a tomada de decisão, tais como a eficiência relativa vinculada à alocação dos insumos, ao aumento da produtividade, à redução de custos e à introdução de novas tecnologias.

Segundo Kalirajan e Shand (1999), o conceito básico que sustenta a medição da eficiência técnica começa com a descrição da tecnologia de produção. As tecnologias de produção podem ser representadas usando isoquantas, funções de produção e funções de custo ou de lucro. Esses quatro modelos fornecem quatro modelos diferentes para medir a eficiência técnica, que se fundamentam sob os mesmos princípios econômicos e, teoricamente, os seus resultados devem convergir.

As medidas de eficiência podem ser melhor compreendidas na Figura 1.

Figura 1 – Eficiência técnica, alocativa e econômica



Nota: Os números entre parênteses referem-se aos lucros líquidos associados aos insumos e à tecnologia.  
Fonte: Kalirajan e Shand (1999).

Considerando que uma unidade econômica opera na fronteira FF', com eficiência técnica potencial, seu ponto de eficiência alocativa estará em B, o ponto de tangência com sua linha de preço. No ponto B, com a quantidade de insumo  $I_1$  e produto  $Q_1$ , haverá lucros máximos de  $\pi_1$  e nenhuma ineficiência alocativa ou econômica. Com uma nova tecnologia, as empresas operam com eficiência técnica inferior ao potencial em razão do conhecimento incompleto das melhores práticas técnicas ou por outros fatores organizacionais que a impedem de operar em sua fronteira técnica (Kalirajan; Shand, 1999). Assim, uma empresa

operará em uma função de produção real ou percebida que está abaixo da fronteira potencial, como, por exemplo, em AA' na Figura 1.

Com a quantidade de insumo  $I_2$ , ela opera no ponto C, produz  $Q_3$  e obtém  $\pi_3$ . Nessa função de produção, o ponto C é ineficiente sob perspectiva alocativa. Para maximizar seus lucros, ela teria que operar no ponto D, usar a quantidade de insumo  $I_3$  e produzir  $Q_4$ . Em D, no entanto, não atingiria a eficiência econômica potencial, pois, por definição, a eficiência econômica é alcançada com a combinação das eficiências técnica e alocativa.

Tupy e Yamaguchi (1998) sintetizam que uma firma pode ser considerada eficiente na utilização dos insumos, do produto, ou em ambos. A eficiência no produto poderá ser analisada a partir dos conceitos de eficiência de escala (um único produto) e de escopo (mais de um produto). Uma firma eficiente no produto opera onde existem retornos constantes de escala, ou seja, onde uma mudança no produto resulta em mudança proporcional nos custos. Se o custo de produzir conjuntamente for menor do que o custo resultante do processo de produção individual, então a firma será eficiente no produto operando em economia de escopo.

A eficiência orientada nos insumos é analisada por meio das quantidades dos insumos que podem ser proporcionalmente reduzidas sem mudar as quantidades do produto gerado. Ou seja, a firma mais eficiente será a que utiliza menor quantidade de insumos por unidade de produto.

### **3.3 Métodos de mensuração da eficiência**

Em relação aos insumos, a eficiência de uma unidade econômica pode ser obtida a partir da estimativa de uma função de fronteira, que poderá ser, por exemplo, uma função de produção, a qual dá o produto máximo possível, dado algum nível de insumos. Uma função custo dá o nível mínimo de custo com o qual é possível produzir algum nível de produto, dados os preços dos insumos. Ou, uma função lucro dá o lucro máximo possível, dado o preço do produto e os preços dos insumos. Na análise de eficiência, os desvios de tais fronteiras podem ser interpretados como ineficiência.

Para a mensuração da eficiência, duas abordagens podem ser utilizadas: a abordagem não-paramétrica, que utiliza técnicas de programação matemática e a abordagem paramétrica, que utiliza modelos econométricos. Essas abordagens diferem, portanto, quanto

ao modo de especificação e à construção da fronteira, sendo os desvios da fronteira interpretados como ineficiência ou uma mistura de ineficiência e ruído.

De acordo com Lovell e Schmidt (1988), a abordagem não-paramétrica se baseia na técnica de programação pura. Na abordagem não-paramétrica, é utilizada a técnica de programação pura, conhecida por Data Envelopment Analysis (DEA), que utiliza uma sequência de programas lineares para construir uma fronteira de transformação e medir sua eficiência relativa, sem a imposição de uma forma funcional explícita sobre os dados (Tupy; Yamaguchi, 1998).

O maior problema dessa técnica é o fato de que a amostra de dados é envolvida por uma fronteira determinística, de maneira que o desvio de uma observação em relação à fronteira é atribuído exclusivamente à ineficiência. Assim, nenhum ajuste é feito para variações ambientais, choques aleatórios externos, ruídos nos dados, erros de medição, variáveis omitidas, etc. Por ser um método não estocástico, não há meio de se elaborar probabilidades sobre a forma e o local da fronteira, ou sobre as suas ineficiências relativas estimadas.

A abordagem paramétrica utiliza a técnica de programação modificada, de fronteira determinística e de fronteira estocástica (não determinística). A técnica de fronteira determinística permite isolar apenas os ruídos presentes nos dados por meio de uma variável aleatória, a qual se atribui uma distribuição de probabilidade. Esse método tem a desvantagem de impor uma forma funcional explícita e, possivelmente, restritiva para a tecnologia (Tupy; Yamaguchi, 1998).

A técnica de programação modificada, também, utiliza uma sequência de programação linear para construir fronteiras e computar a sua eficiência relativa, diferindo da programação pura apenas por ser a fronteira construída parametricamente. A desvantagem do método é, inclusive, a fronteira determinística, como na programação pura. A fronteira estatística determinística, que utiliza técnicas estatísticas para estimar a fronteira e computar a sua eficiência relativa, atribui os desvios à ineficiência da firma. Nesse caso, nenhuma concessão é feita aos ruídos, erros de medição, etc.

A Análise de Fronteira Estocástica, ou Stochastic Frontier Analysis (SFA), utiliza técnicas estatísticas para estimar a fronteira e computar a sua eficiência relativa. Tem como vantagem, ao contrário dos outros métodos, a introdução de um componente de erro para representar ruído, erros de medição, etc. Isso permite a decomposição do desvio de uma observação da parte determinística da fronteira em dois componentes, ineficiência e ruídos.

Até o presente momento, a Análise de Fronteira Estocástica é o único método que trata o fenômeno de ineficiência, que afeta todas as relações econômicas.

### 3.4 Produtividade: conceitos básicos

A produtividade tem sido apontada como condição fundamental para a viabilização do crescimento de uma economia ao longo do tempo. Trabalhos como os de Mankiw (1998), por exemplo, destacam os ganhos de produtividade como determinantes no processo de crescimento econômico. Essa teoria tem sido corroborada por meio de evidências empíricas que reafirmaram a importância da produtividade como o fator fundamental para melhorar o crescimento econômico de um segmento, estado ou país.

A produtividade, conforme apontado por Coelli *et al.* (2005), pode ser definida como a razão entre produto e insumo, ou seja, o quanto é produzido de um determinado bem com uma determinada quantidade de insumo. Dependendo das variáveis que são tomadas como referências, pode-se determinar os conceitos de medidas de produtividade que são claramente distintos e amplamente tratados na literatura, quais sejam: a produtividade parcial, que mede a relação entre um único insumo e um único produto e a produtividade total dos fatores, usada quando se tem múltiplos produtos e múltiplos insumos, sendo necessário o cálculo por meio de um índice, utilizando métodos de agregação (Coelli *et al.*, 2005).

A produtividade total dos fatores tem por finalidade mensurar a contribuição de todos os insumos na produção, e, portanto, pode ser usada para medir compreensivamente as mudanças na produtividade geral ao longo do tempo. Entre os diversos índices propostos para tal finalidade, o índice de Malmquist tem se popularizado na literatura pelo fato de ser estimado por funções distância e derivado a partir dos métodos de análise de eficiência, a saber: Fronteira Estocástica de Produção (SFA) pela Análise por Envoltória de Dados (DEA).

De acordo com Coelli *et al.* (2005), os fatores que determinam as mudanças na produtividade podem ser: melhoria na eficiência técnica, quando se usa uma combinação ótima dos fatores para se obter o máximo produto; mudança tecnológica; operação na escala ótima de produção, possibilitando a obtenção máxima da produtividade; ou ainda, a combinação desses três fatores. Carvalho (2003) define o crescimento da produtividade como a mudança líquida no produto devido às variações na eficiência técnica e tecnológica, em que a variação na eficiência é a variação do produto em relação a sua fronteira de produção, e a mudança tecnológica representa o deslocamento da fronteira de produção.

Vale ressaltar que, além dos ganhos de eficiência, o aumento de produtividade dos



fatores de produção na agricultura, e em outros setores da economia, pode ter impactos sociais significativos, em termos de geração de emprego, da redução da pobreza e da desigualdade, que resulta na preservação dos recursos e do meio ambiente e, por último, no aumento do bem estar social.

## 4 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a delimitação da área de estudo, a descrição dos métodos de análise de eficiência, a produtividade e definição das variáveis, e a base de dados utilizada na pesquisa.

### 4.1 Área de estudo

A área de estudo é delimitada por seis polos de irrigação, localizados no estado do Ceará, a saber: Baixo Acaraú, Baixo Jaguaribe, Cariri, Centro-sul, Ibiapaba e Metropolitano. De acordo com a Agência de Desenvolvimento do Ceará (2018), esses polos são abrangem 64 municípios, correspondendo a 34,8% dos 184 municípios cearenses.

Os polos de irrigação e seus respectivos municípios integrantes são:

- Baixo Acaraú (14): Acaraú, Bela Cruz, Cariré, Cruz, Forquilha, Groaíras, Marco, Massapê, Meruoca, Morrinhos, Reriutaba, Santana do Acaraú, Sobral e Varjota;
- Baixo Jaguaribe (15): Alto Santo, Aracati, Ibicuitinga, Icapuí, Itaiçaba, Jaguaretama, Jaguaribara, Jaguaruana, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Palhano, Quixeré, Russas, São João do Jaguaribe e Tabuleiro do Norte.
- Cariri (8): Abaiara, Barbalha, Brejo Santo, Crato, Juazeiro do Norte, Mauriti, Milagres e Missão Velha;
- Centro Sul (4): Icó, Iguatu, Orós e Quixelô;
- Ibiapaba (9): Carnaubal, Croatá, Guaraciaba do Norte, Ibiapina, Ipu, São Benedito, Tianguá, Ubajara e Viçosa do Ceará;
- Metropolitano (14): Aquiraz, Casavel, Caucaia, Chorozinho, Eusébio, Horizonte, Itaitinga, Maracanaú, Maranguape, Pacatuba, Pentecoste, Pindoretama, São Gonçalo do Amarante e São Luís do Curu;

A Tabela 1 descreve os polos de irrigação com base no número de município, área irrigável e produtos cultivados.

Tabela 1 – Polos de irrigação do Ceará e suas características

Polos de Irrigação	Municípios		Área irrigável		Área irrigada		Taxa de	Produtos Frutícolas
	N.	%	há	%	há	%	Aproveitamento da área irrigável (%)	
Baixo Acaraú	14	21,9	30.000	16,7	3.717	5,0	12,4	Abacaxi, Banana, Coco, Citros, Goiaba, Mamão, Manga, Maracujá, Melão, Uva
Baixo Jaguaribe	15	23,4	65.000	36,1	28.598	38,7	44,0	Abacaxi, Ata, Banana, Citros, Figo, Goiaba, Graviola, Mamão, Manga, Melão, Melancia, Uva
Cariri	8	12,5	20.000	11,1	6.010	8,1	30,1	Banana, Goiaba, Manga, Uva
Centro Sul	4	6,3	30.000	16,7	8.709	11,8	29,0	Banana Nanica, Goiaba
Ibiapaba	9	14,1	15.000	8,3	12.069	16,3	80,5	Acerola, Banana, Goiaba, Manga, Maracujá
Metropolitano	14	21,9	20.000	11,1	14.796	20,0	74,0	Ata, Banana, Coco, Graviola, Mamão
Total	64	100,0	180.000	100,0	73.899	100,0	41,1	

Fonte: ADECE, 2012. Elaboração própria.

A área total irrigável soma 180.000 hectares, embora apenas 73.899 ha (ou 41,1%) seja irrigada. O polo do Baixo Jaguaribe possui a maior área irrigável (65.000 há) e maior área irrigada (28.598 há), tendo uma taxa de aproveitamento de 44%. Embora possua a menor área irrigável, o polo de Ibiapaba, com área irrigada de 12.069 ha, tem a maior taxa de aproveitamento da área irrigável (80,5%). Com exceção dos polos de Ibiapaba e Metropolitano, os demais possuem taxa de aproveitamento da área irrigável abaixo de 50%, representando baixo nível de aproveitamento desse recurso.

A produção de frutas ocorre em todos os seis polos de irrigação do Ceará, com destaque para a banana, que é produzida em todos os polos, seguido da goiaba, manga e mamão, embora não sejam produzidas em todos os polos.

## 4.2 Análise de Fronteira Estocástica - Stochastic Frontier Analysis (SFA)

A Análise de Fronteira Estocástica é o método adotado neste estudo para mensurar a eficiência técnica da fruticultura e verificar se o capital humano tem efeito significativo sobre a eficiência técnica dessa atividade. Tal método também é utilizado para estimar o índice de Malmquist, o qual permite avaliar as mudanças na produtividade e seus fatores determinantes.

A Análise de Fronteira Estocástica requer a definição de uma função de produção específica para dados de corte transversal (*cross-section*), com a estimação da distribuição estatística de um termo de erro com dois componentes, um para contabilizar os efeitos aleatórios e outro para contabilizar a ineficiência tecnológica. O modelo de fronteira estocástica é um modelo de regressão estimado por máxima verossimilhança com um distúrbio que é assimétrico e não-normal (Greene, 2002). Para a estimação do modelo, a partir da orientação-produto, são necessárias informações das quantidades empregadas de insumos (*input*) e da quantidade produzida do produto (*output*), já que o modelo consiste, essencialmente, em estimar uma regressão em que a variável dependente é a produção, as variáveis independentes e os insumos empregados pela unidade econômica.

Uma extensão desse modelo, proposta por Battese e Coelli (1995), pressupõe o uso de dados em painel, em que um número N de firmas sejam observadas ao longo de um número de períodos de tempo T. Coelli *et al.* (2005) argumentam que dados em painel permitem a investigação simultânea de uma mudança tecnológica e uma mudança na eficiência técnica ao longo do tempo, dado que a mudança tecnológica é definida por um modelo paramétrico apropriado e os efeitos da ineficiência técnica no modelo de fronteira estocástica são estocásticos com uma distribuição específica.

A função de produção de fronteira estocástica para dados em painel, proposta por Battese e Coelli (1995), pode ser escrita como:

$$Y_t = \exp(x_t\beta + V_t - U_t) \quad (1)$$

em que:  $Y_t$  denota a produção na t-ésima observação ( $t = 1, 2, \dots, T$ ) para a i-ésima firma ( $i = 1, 2, \dots, N$ );  $x_t$  é um vetor ( $1 \times k$ ) de valores de funções conhecidas de insumos de produção e outras variáveis explicativas associadas à i-ésima firma na t-ésima observação.  $\beta$  é um vetor ( $k \times 1$ ) de parâmetros desconhecidos a serem estimados. Os  $V_t$  são considerados erros aleatórios, com  $N(0, \sigma^2)$ , distribuídos independentes de  $U_t$ . Já os  $U_t$  são variáveis aleatórias

não negativas, associadas à ineficiência técnica de produção, que se supõe serem distribuídas independentemente, tal que  $U_t$  possui distribuição truncada em zero (assimétrica), com média  $z_t$  e variância  $\sigma^2$ ;  $z_t$  é um vetor (1 x m) de variáveis explicativas associadas à ineficiência técnica da produção da firma ao longo do tempo; e  $\delta$  é um vetor (m x 1) de coeficientes desconhecidos.

O efeito de ineficiência técnica,  $U_t$ , no modelo de fronteira estocástica (1) pode ser especificado na equação (2):

$$U_t = z_t + w_t \quad (2)$$

em que a variável aleatória  $w_t$  é definida pelo truncamento da distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ , tal que o ponto de truncamento é  $-z_t$ , ou seja,  $w_t \geq -z_t$ .

O método de máxima verossimilhança é proposto para a estimação simultânea dos parâmetros da fronteira estocástica e do modelo para os efeitos de ineficiência técnica. A função de verossimilhança. A função de verossimilhança é expressa em termos dos parâmetros de variância,  $\sigma_s^2 \equiv \sigma_v^2 + \sigma^2$  e  $\gamma \equiv \sigma^2/\sigma_s^2$ .

A eficiência técnica de produção para a  $i$ -ésima firma na  $t$ -ésima observação é definida pela equação (3):

$$ET_t = \exp(-U_t) = \exp(-z_t - w_t) \quad (3)$$

A previsão das eficiências técnicas é baseada em sua expectativa condicional, dadas as premissas do modelo.

### 4.3 Índice de Malmquist

Para se compreender as mudanças na produtividade, ao longo do tempo, de uma unidade econômica que produz múltiplos produtos e utiliza múltiplos insumos, é necessário o cálculo por meio de um índice, que é obtido por meio de métodos de agregação. Entre o grupo de indicadores de produtividade, destacam-se dois: o índice de Tornqvist, que para inferência, é necessário o conhecimento do preço e da quantidade para todos os produtos e insumos utilizados; e o índice de Malmquist, que utiliza apenas as quantidades físicas dos produtos e dos fatores de produção.

O índice de Malmquist consiste na média geométrica de dois índices de produtividade total dos fatores, sendo um analisado em relação à tecnologia do período  $t$  e o

outro analisado em relação à tecnologia do período  $t+1$ . Algumas características desse índice tornam o seu uso vantajoso em relação a outros índices, a saber: (i) dispensa a definição prévia de comportamento da função de produção; (ii) não requer valores monetários (preços) dos insumos e produtos; e (iii) permite sua decomposição em um índice de mudança na eficiência técnica e um índice de mudança tecnológica. O primeiro reflete as alterações na produção de acordo com a utilização dos insumos, enquanto o segundo é a consequência da utilização de novas tecnologias no processo produtivo.

Para definição do índice de variação da produtividade de Malmquist, faz-se necessária a apresentação dos conceitos de conjunto de possibilidade de produção (tecnologias) e de função distância. O conjunto de tecnologias é definido pelo conjunto de todas as combinações de insumos e produtos factíveis, ou seja, são todos os pontos ao longo da fronteira de produção. Já a função distância, proposto inicialmente por Malmquist e Shepard (1953), está intimamente ligado às funções de produção, e permite descrever a tecnologia de uma forma que a torna possível medir eficiência e produtividade por meio de distâncias.

De acordo com Coelli *et al.* (2005), as funções distâncias permitem descrever uma tecnologia de produção de múltiplos insumos e múltiplos produtos sem a necessidade de especificar um objetivo comportamental (como minimização de custos ou maximização de lucros). Tais funções podem ser especificadas como função de distância orientada aos insumos e função de distância orientada ao produto.

Uma função de distância orientada pelo insumo caracteriza a tecnologia de produção observando uma contração proporcional mínima do vetor de insumo, dado um vetor de produto. Uma função de distância orientada pelo produto considera uma expansão proporcional máxima do vetor de produto, dado um vetor de insumo. A função distância orientada pelo produto pode ser definida em função do conjunto de possibilidade de produção, como:

$$D_0(x, y) = \min\{(y/) \in P(x)\} \quad (4)$$

E satisfaz a seguinte condição:

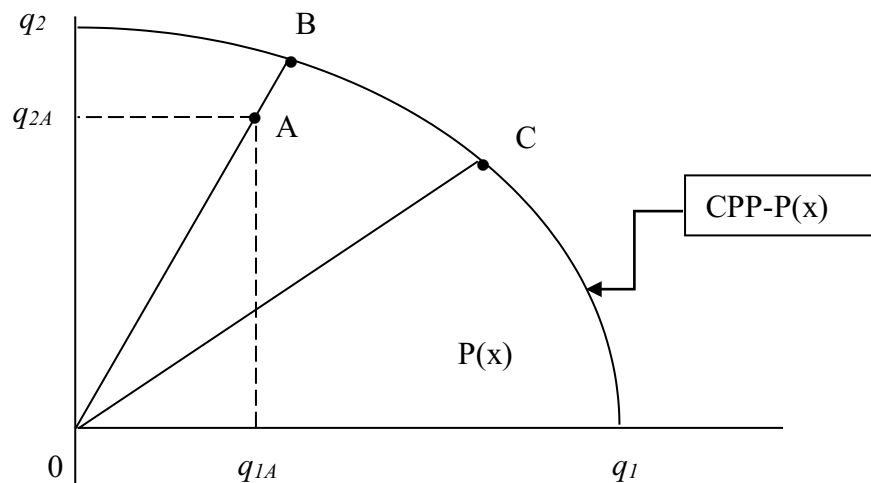
$$D_0(x, y) \leq 1 \quad (5)$$

Dessa condição, pode-se inferir que  $D_0(x, y) < 1$  significa ineficiência na produção, ou seja, a unidade está produzindo abaixo da isoquanta do conjunto de produção.

No caso de  $D_0(x, y) = 1$ , a unidade produtiva estaria produzindo de forma eficiente, isto é, na linha do conjunto de possibilidade de produção.

O conceito de função distância orientada pelo produto está ilustrado na Figura 2 por meio de um exemplo em que dois produtos,  $q_1$  e  $q_2$  são produzidos usando o vetor de insumo  $x$ . O conjunto de possibilidades de produção,  $P(x)$ , é a área limitada pela fronteira de possibilidades de produção CPP- $P(x)$  e os eixos  $q_1$  e  $q_2$ . O valor da função distância para a firma que usa o nível de insumo  $x$  para produzir os produtos, definido pelo ponto A, é igual à razão  $\delta = OA/OB$ .

Figura 2 – Função distância orientada pelo produto e conjunto de possibilidade de produção



Fonte: Marinho, Barreto e Lima (2001).

A medida de distância,  $\delta = OA/OB$ , é o fator pelo qual a produção de todas as quantidades de produto pode ser aumentada, mantendo-se ainda dentro da possibilidade de produção viável definida para o nível de insumo dado. Observa-se também que os pontos B e C estão na superfície de possibilidade de produção, denotada por CPP- $P(x)$ , e, portanto, teriam valores da função distância iguais a 1.

O cálculo do índice de Malmquist de produtividade total orientado pelo produto é baseado em funções distâncias com respeito a dois períodos de tempo diferentes:  $D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})$  que relaciona dados de  $t+1$  com a tecnologia existente no período  $t$ , ou seja, mede a variação proporcional do vetor produto necessária para fazer  $(x^{t+1}, y^{t+1})$  factível em relação à tecnologia em  $t$ ; e  $D_0^{t+1}(x^t, y^t)$  que de maneira análoga mede a máxima variação proporcional do vetor produto necessária para fazer  $(x^t, y^t)$  factível agora em relação à tecnologia em  $t+1$ . Dessa forma, o índice de Malmquist é definido pela média geométrica de duas razões de funções

distâncias, que utilizam como base tecnologias em diferentes momentos do tempo, como mostra a equação 6:

$$M_0^{t,t+1}(x_t, y_t, x_{t+1}, y_{t+1}) = \left[ \frac{d_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{d_0^t(x, y)} \right] x \left[ \frac{d_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{d_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} x \frac{d_0^t(x, y)}{d_0^{t+1}(x, y)} \right]^{1/2} \quad (6)$$

O primeiro termo do lado direito da equação representa o índice de mudança de eficiência técnica, isto é, expressa a mudança no indicador de eficiência de uma determinada unidade, entre os períodos  $t$  e  $t+1$ . Assim, pode-se perceber como está se comportando a eficiência técnica em relação à mudança de fronteira de produção com o decorrer do tempo. O segundo termo é a expressão índice de mudança tecnológica, e seus valores variam de acordo com a ocorrência de progresso ou regresso técnico, e a alteração de tecnologia.

A possibilidade de decomposição do índice permite entender a origem das alterações de produtividade. Ou seja, um aumento de produtividade tem origem no progresso técnico ou na melhoria no indicador de eficiência, ou em ambos. O índice permite, ainda, observar a manutenção ou queda na produtividade, frente a um estado de progresso técnico, quando existe uma queda mais que proporcional no indicador de eficiência produtiva.

#### 4.4 Estimação dos modelos de SFA

A fronteira de produção pode ser estimada com funções de produção do tipo Cobb-Douglas e Translog. A forma funcional da fronteira de produção estocástica, Cobb-Douglas, geralmente, é empregada em virtude da simplicidade de sua estimação, tornando-se mais viável para uma fronteira estocástica. A função Translog é mais complexa, e oferece maior flexibilidade ao modelo. É uma forma funcional de manipulação matemática mais difícil e, por envolver um número maior de variáveis explicativas, reduz o número de graus de liberdade.

A função de produção foi estimada na forma Cobb-Douglas, e em seguida, na forma Translog, de forma que foi possível comparar as duas funções por meio do Teste de Funcionalidade, para assim identificar qual a melhor forma funcional a ser usada no modelo. O teste de funcionalidade verificou que a Cobb-Douglas é a forma funcional mais adequada para representação dos dados, dada as especificações da Função Translog. Desse modo, a forma funcional da fronteira de produção estocástica adotada neste estudo foi a função Cobb-Douglas, especificada da seguinte maneira:



$$\ln(y_t) = \beta_0 + \beta_1 K_t + \beta_2 L_t + \beta_3 T + u_t \quad (7)$$

$$u_t = \alpha + \gamma z_t + w_t \quad (8)$$

Em que:

$y_t$  é a produção frutícola municipal;

$K_t$  é a terra;

$L_t$  é o pessoal ocupado no setor frutícola;

$T$  é a tendência;

$u_t$  é o índice de mão de obra qualificada + experiência, para modelar a ineficiência;

$i = 1, 2, \dots, m$  (número de unidades a serem avaliadas);

$t = 1, 2, \dots, T$  (número de períodos de tempo que compõem a análise).

#### 4.5 Dados e variáveis do modelo

Os municípios que compõem os polos de irrigação no estado do Ceará formam a população de observações. O período de análise foi de dez anos, de 2011 a 2020, durante o qual ocorreu um crescimento anual da fruticultura de 5,5% (IBGE, 2023). Inicialmente, pretendia-se analisar a eficiência da fruticultura com a população, porém se tornou inviável devido à indisponibilidade de dados completos para toda a população durante o período de análise, de 2011 a 2020 (período de 10 anos).

Por essa razão, os municípios com dados incompletos foram excluídos da população. De um total de 64 municípios, apenas 12 municípios apresentaram dados completos, os quais estão distribuídos entre quatro polos de irrigação, a saber:

- Baixo Acaraú (2): Acaraú e Marco;
- Metropolitano (2): Cascavel e Pentecoste;
- Cariri (3): Barbalha, Mauriti e Missão Velha; e
- Baixo Jaguaribe (5): Aracati, Icapuí, Limoeiro do Norte, Quixeré e Russas.

Portanto, os municípios com dados incompletos, num total de 13 municípios, inviabilizaram a análise da eficiência da fruticultura em dois polos de irrigação: Centro Sul (4) e Ibiapaba (9). Também foram excluídos os municípios dos polos que foram mantidos na análise, a saber: 13 municípios do Polo do Baixo Acaraú; 12 municípios do Polo Metropolitano; 5 municípios do Polo do Cariri; e 9 municípios do Polo do Baixo Jaguaribe.

Ao todo, foram excluídos 52 municípios, representando 81,2% do universo das observações. Embora o conjunto de municípios com dados completos não seja representativo do universo, os municípios analisados podem oferecer evidências relevantes sobre a relação entre o capital humano e a eficiência técnica da fruticultura, mesmo sendo de caráter exploratório. A estimativa do índice de produtividade de Malmquist é feita por meio de uma base de dados na forma de painel, que possui 12 observações (municípios tomados como unidades de tomada de decisão) e 10 anos para cada unidade de tomada de decisão, os quais estão distribuídos em quatro polos de irrigação do Ceará.

As variáveis incorporadas na análise de eficiência técnica e de produtividade total dos fatores mais relevantes no processo da produção de frutas no Ceará foram selecionadas com base em recomendações da literatura. Porém, a escolha efetiva da variável foi fortemente influenciada pela disponibilidade de dados úteis para os municípios considerados na análise.

O Quadro 1 mostra a lista de variáveis utilizadas nos modelos, acompanhadas de sua descrição.

Quadro 1 – Variáveis utilizadas no cálculo do índice de produtividade total dos fatores

<b>Variável</b>	<b>Descrição</b>
<b>Valor da produção –</b> (Produção frutícola municipal)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valor da produção, expressa em reais, compreendida no período de um ano, obtida através da soma do valor da produção total de frutas, das lavouras temporárias e permanentes para cada município situado nos polos de irrigação cearenses.</li> </ul>
<b>Insumo – (Terra)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Área plantada, obtida através da soma das áreas (em hectares) plantadas dos cultivos frutícolas, em cada município situado nos polos de irrigação cearenses. Devido à ausência de dados contínuos relativos à qualidade do solo, máquinas e equipamentos, benfeitorias, fertilizantes, tecnologia, estrutura fundiária, geralmente utilizadas como componentes de capital físico, adotou-se como proxy de insumo apenas a área plantada.</li> </ul>

Continua

## Conclusão

Variável	Descrição
(Pessoal ocupado no setor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de trabalhadores registrados pelo Ministério do Trabalho nos municípios situados nos polos de irrigação cearenses ligados ao setor frutícola.</li> </ul>
(Mão de obra qualificada)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mão de obra qualificada ligada à fruticultura, obtida através da divisão do número de trabalhadores com mais de seis anos de escolaridade pelo número total de trabalhadores ligados ao setor, segundo a RAIS. De acordo com estudos da Cepal, o mínimo requerido para aquisição de habilidades necessárias à utilização eficaz das novas tecnologias é de seis anos de educação básica;</li> </ul>
(Experiência)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Experiência no setor frutícola: número de trabalhadores registrados pelo Ministério do Trabalho nos municípios situados nos polos de irrigação cearenses ligados ao setor frutícola, empregados há mais de 5 anos no setor.</li> </ul>

Fonte: elaboração própria.

Os dados utilizados neste trabalho, referentes à produção frutícola, foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) através da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), e os dados referentes ao capital humano junto ao Ministério do Trabalho por meio da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). As estimativas serão realizadas no software R.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados do estudo. Primeiramente, mostra as estimativas do modelo de fronteira estocástica. Em seguida, são apresentadas as estimativas dos índices de Malmquist e sua decomposição em fatores determinantes da mudança da produtividade no período analisado.

### 5.1 Estatísticas descritivas das variáveis

A Tabela 2 apresenta o sumário estatístico das variáveis contidas no modelo de fronteira estocástica de produção, calculado de forma agregada para os 12 municípios estudados, no período de análise (todos os 12 municípios de 2011 a 2020).

Tabela 2 - Sumário estatístico das variáveis

Variáveis	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	CV%
Produção (ton)	68.365	62.769	528	311.376	92
Área (ha)	7.703	6.998	170	26.137	91
Pessoal ocupado (pessoas)	682	898	2	3.574	132
Mão de obra qualificada (%)	0,6	0,2	0,1	1	33
Experiência (pessoas)	4069	7.196	0	36.880	177

Fonte: elaboração própria.

De acordo com a Tabela 2, a média da produção frutícola foi de 68,37 mil toneladas, oscilando entre 528 toneladas, observada em Pentecostes no ano de 2015, e 311,4 mil toneladas, em Quixeré no ano de 2013. Pentecostes obteve ainda os menores valores para as variáveis pessoal ocupado (2 pessoas) e área plantada (170 hectares), observado nos anos de 2017 e 2018, respectivamente. No entanto, esse município obteve a maior porcentagem de mão de obra qualificada, tanto em 2017, quanto em 2018, chegando a 100% dos trabalhadores ocupados com mais de seis anos de estudos.

O município de Cascavel despontou com a maior área agrícola no ano de 2015, com 26,1 mil hectares. O total de pessoas ocupadas no setor frutícola nos municípios situados nos polos de irrigação cearense, em média, foi de 682 pessoas, sendo Icapuí o que apresentou o maior contingente de pessoas ocupadas, 3,5 mil pessoas no ano de 2015.

O menor nível de mão de obra qualificada foi encontrado em Missão Velha, apenas 10% do pessoal ocupado na fruticultura desse município possui mais de seis anos de

estudos. Já em relação à experiência profissional, o valor máximo para essa variável refere-se ao melhor desempenho de Limoeiro do Norte, que chegou a registrar 36.880 pessoas exercendo funções no setor frutícola com mais de cinco anos de experiência. Em geral, as variáveis apresentaram amplitudes totais elevadas, as quais são obtidas pela diferença entre o valor máximo e o valor mínimo de cada variável. Da mesma forma, as variáveis apresentaram elevadas variabilidades, tendo o pessoal ocupado e experiência mostrando os maiores coeficientes de variação (CV), de 132% e 100%, respectivamente.

## 5.2 Estimação da fronteira

A estimação paramétrica da fronteira exige que a função de produção assuma uma forma funcional, que foi determinada por meio do Teste da Razão de Verossimilhança Generalizada. Inicialmente, estimou-se a função de produção na forma Cobb-Douglas e em seguida na forma Translog, de forma que foi possível comparar as duas funções por meio do Teste de Funcionalidade, para assim identificar qual a melhor forma funcional a ser usada no modelo. O teste de funcionalidade verificou que a Cobb-Douglas é a forma funcional mais adequada para representação dos dados, dada as especificações da Função Translog.

A construção da fronteira estocástica, neste estudo, tem como objetivo verificar a ineficiência técnica na produção de frutas em municípios abrangidos pelos polos de irrigação do Ceará. As estimativas da fronteira estocástica de produção são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Estimação da fronteira estocástica de produção

Variáveis	Estimativas	Desvio padrão	Valor Z	Pr >  z
Intercepto	4,8083	1,3403	3,5874	0,0003
Ln(K)	0,6496	0,1693	3,8364	0,0001
Ln(L)	0,2066	0,0790	2,6144	0,0089
T	0,3073	0,1344	2,2855	0,0222
<b>Ineficiência</b>				
Intercepto	6,7718	2,0196	3,3531	0,0007
Mdoquali	-0,6427	0,8263	-0,7778	0,4366
Experiência	-1,2923	0,6317	-2,0457	0,0407
<b>Variância</b>				
$\sigma^2$	1,9899	1,1279	1,7643	0,0776
$\gamma$	0,9132	0,0549	16,6189	2,2e-16
Log-likelihood	-121,9447	-	-	-
LR	20,663	-	-	-

Fonte: elaboração própria.

Na primeira parte da tabela, os resultados significantes das estimativas das variáveis terra (K) e mão de obra (L) indicam as relações positivas com a produção. A variação percentual na área colhida sugere que o efeito produzido pela adoção de um hectare a mais afetará o valor da produção de frutas de maneira mais expressiva que a variável mão de obra.

Quanto aos coeficientes do modelo de ineficiência técnica, representados pelas variáveis, mão de obra qualificada e experiência, embora os sinais sejam os esperados (negativo), apenas a variável experiência apresentou significância estatística. Isto é, a variável mão de obra qualificada não consegue explicar a ineficiência técnica. O teste da Razão de Verossimilhança Generalizada mostra a existência da influência dos efeitos da ineficiência no modelo. A estatística LR é dada por  $LR = -2 [\ln[L(H_0)] - \ln[L(H_1)]]$ . Onde  $\ln[L(H_0)]$  e  $\ln[L(H_1)]$  são valores das funções de logverossimilhança sob as hipóteses nula e alternativa, respectivamente (Coelli; Rao; Battese, 1998).

Com base nesse teste, considerando as seguintes hipóteses: ( $H_0$ : ausência de ineficiência) e ( $H_1$ : presença de ineficiência), o valor calculado da estatística do teste ( $LR = 20,66$ ) foi maior que o valor crítico da Tabela Kodde & Palm (1986), rejeitando-se a hipótese nula, ou seja, as unidades produtoras possuem ineficiência técnica. Esse resultado mostra que as variações no nível de produção não são explicadas apenas pela área plantada e pessoal empregado, mas também pelos efeitos da ineficiência técnica.

Como pode ser constatado por meio do valor de  $\gamma$ , as ineficiências técnicas no modelo têm influência na produção de frutícola. Ainda em relação ao valor dessa estatística, nota-se que 91,32% das variações residuais são explicadas pelos efeitos da ineficiência técnica. Assim, pode-se afirmar que a variância total na produção se deve, em sua maior parte, à ineficiência técnica e não a fatores aleatórios.

### 5.3 Índices de produtividade

As taxas de crescimento da produtividade total dos fatores e a decomposição do índice de produtividade de Malmquist dos municípios produtores de frutas, situados nos polos de irrigação do Ceará no período de 2011 a 2020 serão analisadas a seguir. Na Tabela 4, são apresentados os resultados do acumulado dos municípios produtores de frutas situados nos polos de irrigação do Ceará, no período estudado, em termos médios (trata-se da média geométrica simples, sem ponderação alguma), no que se refere aos componentes da variação

da PTF. Ou seja, a variação de eficiência técnica e variação tecnológica, e a própria PTF.

Tabela 4 – Mudanças na eficiência técnica, tecnológica e na produtividade total dos fatores nos municípios produtores de frutas, situados nos polos de irrigação do Ceará, de 2011 a 2020

<b>Unidade Produtora – Município</b>	<b>Varição na Produtividade Total dos Fatores (PTF)</b>	<b>Varição Tecnológica</b>	<b>Varição na Eficiência Técnica</b>
Acaraú	1,153722	1,153722	1,000000
Aracati	1,111124	1,100975	1,009218
Icapuí	1,168823	1,129276	1,035019
Limoeiro do Norte	0,910582	0,910582	1,000000
Missão Velha	0,907586	0,916991	0,989743
Quixeré	1,085832	1,085832	1,000000
Russas	1,327299	1,250290	1,061592

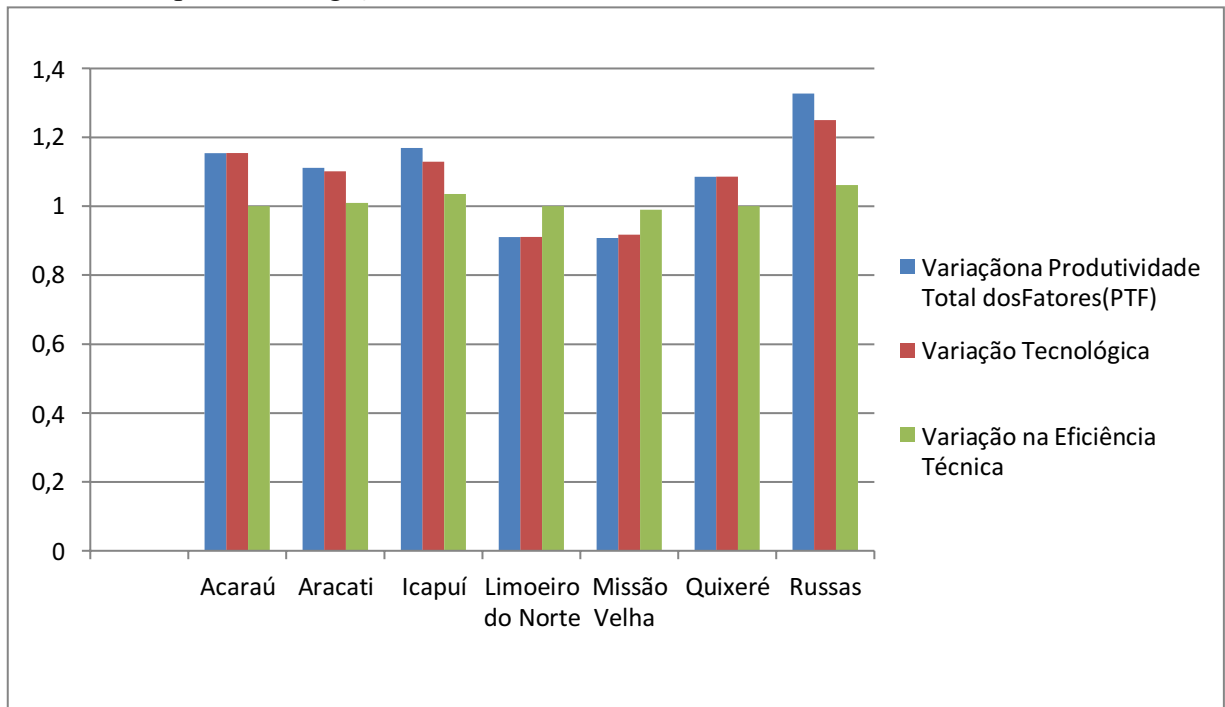
Fonte: elaboração própria.

Os municípios de Barbalha, Cascavel, Marco, Mauriti e Pentecostes não tinham registros de trabalhadores empregados no setor frutícola, com mais de 5 anos, o que inviabilizou o cálculo do índice de Malmquist. Dessa forma, foram obtidos resultados apenas para os municípios da Tabela 4. Os resultados demonstraram que, em média, os municípios produtores de frutas situados nos polos de irrigação cearense apresentaram ganhos de produtividade total dos fatores no período de 2011 a 2020, apenas os municípios de Limoeiro do Norte e Missão Velha tiveram perdas de produtividade.

Em relação ao componente de variação na eficiência técnica, observa-se que a maioria dos municípios teve pequenos avanços, exceto o município de Missão Velha que teve perda de eficiência técnica. Esse resultado mostra que houve melhorias na alocação dos insumos de produção. Ou seja, houve avanços dos municípios em direção à fronteira de produção.

No Gráfico 1, pode-se verificar que, em quase todos os municípios, a variação tecnológica foi superior à variação na eficiência. Isto é, as perdas de produtividade dos municípios produtores de frutas situados nos polos de irrigação cearenses se deram muito mais em função dos índices de variação tecnológica do que em relação aos índices de variação da eficiência técnica.

Gráfico 1 – Decomposição da produtividade total dos municípios produtores de frutas situados nos polos de irrigação do Ceará



Fonte: elaboração própria, de acordo com os dados do trabalho



## 6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo não foram inteiramente satisfatórios para interpretar a ineficiência técnica, já que a variável mão de obra qualificada não possui significância estatística. Uma possível explicação seria a limitação dos dados. Alguns municípios não apresentaram dados para mão de obra qualificada, ou apresentam um número muito pequeno, interferindo nos resultados.

Por outro lado, a variável experiência foi estatisticamente significativa, indicando que a eficiência técnica pode ser explicada pelo conhecimento acumulado através da experiência na produção frutícola. Como o termo capital humano refere-se ao conjunto de habilidades, conhecimentos, experiências e atributos pessoais que os indivíduos possuem, a variável experiência mostra a relação positiva entre capital humano e eficiência, indicando que pode contribuir para produtividade e desenvolvimento econômico do setor frutícola.

Com relação ao índice de Malmquist foram obtidos resultados esclarecedores. A principal conclusão é que a taxa de crescimento da produtividade total de fatores teve o seu comportamento influenciado mais pela variação tecnológica do que pela taxa de crescimento da eficiência técnica, o que implica em avanços na tecnologia que faz a fronteira de produção se deslocar para cima. A adoção da irrigação pode ocasionar mudança tecnológica.

Considerando a literatura acerca da relação entre capital humano e produtividade, esta aponta para o capital humano como uma variável de grande impacto na eficiência da produção, e por conseguinte na produtividade. Além disso, são poucos os trabalhos voltados ao estudo da fruticultura praticada nos municípios integrantes dos polos de irrigação cearense. Logo, aponta-se para a necessidade do aprofundamento da investigação sobre esse tema.

Por fim, a partir deste estudo, considera-se que a decomposição da produtividade total dos fatores mostrou que as variações técnicas ou tecnológicas determinam a produtividade dos municípios produtores de frutas situados nos polos de irrigação do Ceará e que anos de experiência do trabalhador no setor é uma variável-chave para a melhoria da eficiência técnica. Como limitação, há a indisponibilidade de dados para mais anos, impossibilitando a análise em séries temporais, resultando ainda em poucas observações para a condução de testes estatísticos. Sugere-se às pesquisas futuras a inserção de outras variáveis explicativas.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ. **Investe Ceará**. 2018. Agronegócios. Disponível em: <http://investeceara.adece.ce.gov.br/agronegocios-novo/>. Acesso em: 24 ago. 2021.
- AMARAL FILHO, J. do; MELO, M. C. P. de; BRAGA, F. L. P. **Ceará 2050 diagnóstico qualitativo tomo III: diagnóstico da inserção internacional**. 2018. Disponível em: <http://www.ceara2050.ce.gov.br/artigos-e-publicacoes/categorias/64/diagnostico>. Acesso em: 21 out. 2021.
- ARAÚJO, P. F. C. de *et al.* Produtividade total dos fatores de produção na agricultura paulista e os investimentos públicos em capital humano. *In: ARAÚJO, P. F. C. de; NICOLELLA, A. C. (org.). Contribuição da FAPESP ao desenvolvimento da agricultura do estado de São Paulo*. São Paulo: Fapesp, 2018.
- BATTESE, G. E.; COELLI, T. J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. **Empirical Economics**, [s.l.], v. 20, n. 2, p. 325-332, jun. 1995.
- CARVALHO, N. B.; PIRES, M. M.; GOMES, A. S. Capital humano e tecnologia: análise da produtividade agrícola da Bahia. **Revista Campo-Território: revista de geografia agrária, Uberlândia**, v. 11, n. 24, p. 265-288, abr. 2017.
- CARVALHO, R. M. **Três ensaios sobre produtividade agrícola**. 2003. 133 f. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.
- CASTRO, G. H. L. de; BARROS, P. H. B. de; MENEZES-FILHO, N. A. **The human capital effect on productivity and the agricultural frontier expansion: evidence from Brazil**. 2021. Disponível em: [https://www.anpec.org.br/encontro/2021/submissao/files\\_I/i11-5203bc0a85e62c3a27abf3ed80ccd419.pdf](https://www.anpec.org.br/encontro/2021/submissao/files_I/i11-5203bc0a85e62c3a27abf3ed80ccd419.pdf). Acesso em: 27 jul. 2022.
- CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Enfoque econômico nº 224: resultados da pesquisa municipal agrícola 2019**. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/enfoque-economico/>. Acesso em: 30 set. 2021.
- COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE (ed.). **Juventud rural, modernidad y democracia en América Latina**. Santiago de Chile:Cepal, 1996.
- COELLI, T. J. *et al.* **An introduction to efficiency and productivity analysis**. 2. ed. Nova York: Springer, 2005.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food and agriculture data**.Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 16 jul. 2021.
- FARRELL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of The Royal Statistical Society. Series A (General)**, [s.l.], v. 120, n. 3, p. 253. 1957.

FERREIRA, Z. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Avaliação da presença institucional da política pública de irrigação no semiárido brasileiro**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2020. Texto 41 para discussão, 2589. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td\\_2589.pdf](https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2589.pdf). Acesso em: 15 dez. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/td2589>.

FREITAS, B. M. C. **Marcas da modernização da agricultura no território do perímetro irrigado Jaguaribe-apodi: uma face da atual reestruturação socioespacial do Ceará**. 2010. 181 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2010.

GASQUES, J. G.; VILA VERDE, C. M. **Crescimento da agricultura brasileira e política agrícola nos anos oitenta**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 1990. Texto para discussão, 204.

GREENE, W. H. **Econometric analysis**. 15 th. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal**. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 06 set. 2021.

KALIRAJAN, K. P.; SHAND, R. T. Frontier production functions and technical efficiency measures. **Journal of Economic Surveys**, [s.l.], v. 13, n. 2, p. 149-172. abr. 1999.

KODDE, D. A.; PALM, F. C. Wald criteria for jointly testing equality and inequality restrictions. **Econométrica**, [s.l.], v. 54, n. 5, set., p. 1243–1248.1986.

LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. A comparison of alternative approaches to the measurement of productive efficiency. *In*: Dogramaci, A.; Färe, R. (eds.). **Applications of modern production theory: efficiency and productivity**. Studies in Productivity Analysis, vol. 9. Dordrecht: Springer, 1988.

LUCAS, R. E. On the mechanics of economic development. **Journal of Monetary Economics**. North-Holland, n. 22, p. 3-42. feb. 1988.

LUTZENBERGER, J. A. **O absurdo da agricultura moderna**. Disponível em: <https://www.unicamp.br/fea/ortega/plan-disc/lutzenberger.htm>. Acesso em: 20 dez. 2021.

MANKIW, N. G. **Principios de Economía**. Madrid: McGraw-Hill, 1998.

MENDES, C. M.; PEREIRA, R. S. Educação e produtividade rural: reflexões conceituais para uma agenda de pesquisa. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 42, 2004, Cuiabá. **Anais [...]**. Cuiabá: Sober, 2004. p. 1-19.

MORAIS, G. A. de S. **Three essays on irrigated agriculture in Brazil**. 2019. 114 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Departamento de Economia Rural, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

NASCIMENTO, R. L. X. *et al.* (org.). **Caderno de caracterização estado do Ceará**. Brasília: Codevasf, 2022.

NDOUR, C. T. **Effects of human capital on agricultural productivity in Senegal**. 2017. Disponível em: <http://www.worldscientificnews.com/>. Acesso em: 02 ago. 2022.

PAULA JUNIOR, A. de. Escolaridade nas zonas rurais da região sul. **Espaço e Economia**, [s.l.], v. 8, n. 16, p. 1-11. dez. 2019.

PEÑA, C. R. Um modelo de avaliação da eficiência da administração pública através do método análise envoltória de dados (DEA). **Revista de Administração Contemporânea**, [s.l.], v. 12, n. 1, p. 83-106. mar. 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-65552008000100005>. Acesso em: 2 ago. 2022.

RODRIGUES, L. N.; DOMINGUES, A. F.; CHRISTOFIDIS, D. Agricultura Irrigada e Produção Sustentável de Alimento. *In*: Embrapa Cerrados (ed.). **Agricultura Irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável**. Brasília: Embrapa, 2017. Disponível em: <http://www.cpac.embrapa.br>. Acesso em: 16 ago. 2021.

ROMER, P. M. Endogenous technological change, the problem of development: a conference of the institute for the study of free enterprise systems. **The Journal of Political Economy**. Chicago, v. 98, n. 5, p.71-102, out. 1990. Disponível em: <http://links.jstor.org/sici?sici=0022-3808%28199010%2998%3A5%3CS71%3AETC%3E2.0.CO%3B2-8>. Acesso em: 13 dez. 2021.

ROMER, P. M. Increasing returns and long-run growth. **The Journal of Political Economy**. Chicago, v.94, n. 5, p. 102-103, out. 1986. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/1833190>. Acesso em: 13 dez. 2021.

SANTOS, L. A. C. dos. **Pesquisa de inovação na Agricultura - PINAGRO**: levantamento estatístico do perfil da inovação no setor agrícola. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado em Economia Agrícola) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SCHULTZ, T. W. Investment in Human Capita. **The American Economic Review**. v. 51, n. 1, p. 1-17, mar. 1961. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/1818907>. Acesso em: 02 ago. 2022.

SILVA FILHO, L. A. da; SANTOS, P. L.; SILVA, P. de S. Vantagens comparativas e competitividade, reveladas no comércio de castanha de caju, estado do Ceará, 1997-2016. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 63, p. 5-20, jun. 2016.

TUPY, O.; YAMAGUCHI, L. C. T. Eficiência e produtividade: conceitos e medição. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 45, n. 02, p. 39-51, set. 1998.

VICENTE, José R. Economic Efficiency of Agricultural Production In Brazil. **Rer**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 02, p. 201-222, jun. 2004.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; FISHLOW, A. **Agricultura e indústria no Brasil**: inovação e

competitividade. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2017.