



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

ALANA KEDYLLA MONTEIRO NORÕES

**EFICIÊNCIA PRODUTIVA DA CARCINICULTURA NOS ESTADOS DO CEARÁ E
RIO GRANDE DO NORTE**

FORTALEZA

2017

ALANA KEDYLLA MONTEIRO NORÕES

EFICIÊNCIA PRODUTIVA DA CARCINICULTURA NOS ESTADOS DO CEARÁ E RIO
GRANDE DO NORTE

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

Orientador: Prof. Dr. Rogério César Pereira de Araújo

FORTALEZA

2017

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

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

- N749e Norões, Alana Kedylla Monteiro.
Eficiência produtiva da carcinicultura nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte / Alana Kedylla Monteiro Norões. – 2017.
75 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Rogério César Pereira de Araújo .
1. Camarão. 2. Eficiência produtiva. 3. Agronegócio. I. Título.

CDD 338.1

ALANA KEDYLLA MONTEIRO NORÕES

EFICIÊNCIA PRODUTIVA DA CARCINICULTURA NOS ESTADOS DO CEARÁ E RIO
GRANDE DO NORTE

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia rural do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Economia rural.

Área de concentração: Economia Aplicada.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rogério César Pereira de Araújo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Jair Andrade Araújo
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Luiz Artur Clemente da Silva
Universidade Federal do Ceará - UFC

À Deus, à minha família
e ao meu amor, Jonathas Viana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ser a minha força em momentos de dificuldades e por ser sempre o meu socorro, bem presente em momentos de angústia. A Ti toda honra e toda glória, Senhor.

À minha mãe Tânia Norões, por sempre me incentivar, por acreditar na minha capacidade e me apoiar em todos os momentos da minha vida. Agradeço, acima de tudo, pelo imenso amor, cuidado e carinho que sempre me foi dado.

Aos meus irmãos, Fernando e Amanda, pelo amor, apoio e por toda amizade sempre demonstrada.

Ao meu namorado e futuro esposo, Jonathas Viana, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos desse mestrado, me incentivando e me apoiando; por toda demonstração de amor, paciência, motivação e por me fazer acreditar que seríamos capazes de vencer, se juntos permanecêssemos. Saiba que, sem você ao meu lado, não teria chegado até aqui, te amo.

À minha sobrinha, Ana Luísa, pois, mesmo sem entender, me passava força pra continuar.

Aos meus familiares, em especial a minha avó Silvia e minha tia Vânia, por sempre torcerem pelo meu sucesso, me dando suporte, amor e apoio ao longo de todos os anos de estudo e da minha vida.

Ao Prof. Dr. Rogério César Pereira de Araújo, pela orientação, paciência, incentivo e, principalmente, pelos conhecimentos que me foram passados.

Aos membros da Banca Examinadora, Prof. Dr. Jair Andrade Araújo e Prof. Dr. Luiz Artur Clemente da Silva, pelas valiosas contribuições.

Aos professores do corpo docente do Mestrado Acadêmico em Economia Rural (MAER), pela contribuição na minha formação profissional.

Aos amigos da turma de 2015, por todo apoio e incentivo ao longo dessa jornada, em especial ao Felipe Silva, pela amizade e ajuda sempre que foi preciso.

Ao meu amigo, Jerônimo Marcelino Dias, pelo incentivo de ingressar no MAER e por toda amizade e apoio ao longo do mestrado.

À secretária do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, Carlene Matias, por sua simpatia, disposição e atenção sempre que foi solicitada.

“Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”

(Josué 1:9).

RESUMO

Esta dissertação é constituída por dois capítulos. O primeiro, intitulado “Eficiência produtiva das fazendas de carcinicultura no estado do Ceará”, investigou o grau e os fatores determinantes da eficiência técnica na produção de camarão no estado do Ceará. Com base nos dados do Censo da Carcinicultura de 2011, coletados pela Associação Brasileira de Criadores de Camarão (ABCC), 100 fazendas foram caracterizadas por um conjunto de variáveis explicativas que descreveram os insumos empregados na produção e a forma de gerenciamento das fazendas. Para analisar os dados foram estimados modelos de fronteira de eficiência de produção estocástica. Os resultados mostraram que quase a totalidade das fazendas (99%) pode ser considerada ineficiente, do ponto de vista técnico. O fator que determinou a ineficiência das fazendas da amostra foi a densidade média de estocagem, pois as outras variáveis testadas como causadoras de ineficiência, ou seja, potência de aeradores por área, recebimento de assistência técnica e uso de bandejas de alimentação, não foram significantes, com um nível de significância de 5%. Com isso conclui-se que estas não geram ineficiência no modelo. O segundo capítulo, intitulado “Função de metafronteira de produção e eficiência técnica da carcinicultura nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte” analisou as diferenças tecnológicas da produção de camarão entre os dois maiores produtores nacionais de camarão, Ceará e Rio Grande do Norte, atuantes no ano de 2011, por meio do modelo de metafronteira tecnológica. Os resultados indicaram que, quando comparados os dois estados, o Ceará possui a maior eficiência técnica (ET) média com relação à metafronteira.

Palavras-chave: Camarão. Eficiência produtiva. Agronegócio.

ABSTRACT

This dissertation consists of two articles, which are arranged in chapters. The first, entitled "Productive efficiency of shrimp farms in the state of Ceará", aims to investigate the degree and determinants of technical efficiency in shrimp production in the state of Ceará. Based on data from the 2011 Carcinulture Census, collected by the Brazilian Association of Shrimp Breeders (ABCC), 100 farms were characterized by a set of explanatory variables that describe the inputs used in the production and the way of managing the farms. To analyze the data, we estimated frontier models of stochastic production efficiency. The results showed that almost all farms (99%) can be considered technically inefficient. The factor that determined the inefficiency of the sample farms was the average storage density, since the other variables tested as inefficiency, which were: power of aerators per area, receipt of technical assistance and use of feed trays were not significant at a significance level of 5%, with this it is concluded that these do not generate inefficiency in the model. The second chapter, titled "Meta-frontier function of production and technical efficiency of shrimp farming in the states of Ceará and Rio Grande do Norte", aims to analyze the technological differences in shrimp production between the two largest national shrimp producers, Ceará and Rio Grande do Norte, operating in 2011 through the technological meta-frontier model. The results indicated that, when comparing the two states, Ceará has the highest average technical efficiency (ET) in relation to the meta-frontier.

Keywords: Shrimp. Production efficiency. Agribusiness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuições de frequência absoluta e acumulada dos escores de eficiência técnica da produção da amostra.....	34
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas na estimação da fronteira de produção.	24
Tabela 2 - Testes de Inexistência de eficiência técnica e forma funcional.....	31
Tabela 3 - Estimativas de máxima verossimilhança dos parâmetros da fronteira de produção e do modelo de ineficiência técnica das fazendas de camarão do estado do Ceará, 2011.	33
Tabela 4 - Estatística descritiva dos escores de eficiência técnica das fazendas da amostra.	34
Tabela 5 - Estatística descritiva da eficiência técnica dos quartis da amostra.	36
Tabela 6 - Comparação dos cinco produtores mais eficientes com os cinco menos eficientes.....	36
Tabela 7 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas na estimação da metafronteira de produção da carcinicultura.	51
Tabela 8 - Fronteiras estocásticas estimadas.	54
Tabela 9 - Testes de razão verossimilhança dos parâmetros das fronteiras de produção.....	58
Tabela 10 - Estatística descritiva das ETs e RMTs estimadas.	59
Tabela 11 - Distribuição de frequência absoluta e relativa das ETs e RMTs estimadas.....	60
Tabela 12 - Comparação dos cinco produtores mais eficientes com os cinco menos eficientes dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte.	61

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	12
CAPÍTULO 1: EFICIÊNCIA PRODUTIVA DAS FAZENDAS DE CARCINICULTURA NO ESTADO DO CEARÁ.....	14
1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Eficiência técnica e fronteira de produção	17
2.2 Fronteira de produção estocástica na carcinicultura.....	19
3 METODOLOGIA.....	23
3.1 Área de estudo.....	23
3.2 Natureza e fonte dos dados	23
3.3 Método de análise	25
3.4 Testes realizados	29
<i>3.4.1 Teste da forma funcional.....</i>	<i>29</i>
<i>3.4.2 Efeito da ineficiência técnica na função de produção</i>	<i>29</i>
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Escolha da forma funcional	30
4.2 Estimação da fronteira de produção e do modelo de ineficiência técnica.....	30
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
CAPÍTULO 2: FUNÇÃO DE METAFRONTIEIRA DE PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA TÉCNICA DA CARCINICULTURA NOS ESTADOS DO CEARÁ E RIO GRANDE DO NORTE	39
1 INTRODUÇÃO	39
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	42
2.1 Análise de eficiência técnica	42
2.2 Modelo de metafronteira estocástica	43
2.3 Eficiência técnica da carcinicultura.....	46
3 METODOLOGIA.....	49
3.1 Fonte de dados	49
3.2 Modelo empírico	49
3.3 Testes realizados	52
<i>3.3.1 Efeito da ineficiência técnica na função de produção</i>	<i>52</i>

3.3.2 <i>Existência de duas fronteiras regionais</i>	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1 Análise das fronteiras estocásticas	54
4.2 Análise dos testes de hipóteses	57
4.3 Análise das eficiências técnicas e razão de metafronteira	58
5 CONCLUSÕES	62
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS	65
APÊNDICE	70

INTRODUÇÃO GERAL

A carcinicultura é uma atividade econômica que se encontra em expansão nas últimas décadas, principalmente nos países em desenvolvimento. O agronegócio do camarão assumiu uma crescente importância econômica no Brasil, particularmente, na região Nordeste que, no ano de 2015, respondeu por 99,7% da produção nacional. Contando com 2.500 fazendas que exploravam 25.000 hectares de viveiros, a produção naquele ano foi de 76.000 toneladas, o que gerou 50.000 empregos, diretos e indiretos, com a obtenção de uma receita de R\$ 2 bilhões em sua cadeia produtiva. (LISBOA FILHO *et al.*, 2016).

O camarão tem se tornado uma das mais valorizadas *commodities* aquícolas no mercado mundial, cujo comércio está cada vez mais crescente e dinâmico. No ano de 2014, o camarão foi a *commodity* que gerou as maiores transações financeiras no mercado mundial do pescado, ou seja, US\$ 25 bilhões. Nesse contexto, os estados litorâneos do Nordeste brasileiro apresentam condições edafoclimáticas vantajosas para participar ativamente desse mercado (LISBOA FILHO *et al.*, 2016).

A eficiência produtiva da carcinicultura tem sido apontada na literatura como um fator importante para a consolidação desta atividade no Nordeste do Brasil. (SOUSA JÚNIOR, 2003; OLIVEIRA, 2008; SILVA; SAMPAIO, 2009). A análise da eficiência produtiva de unidades de produção, além de estabelecer instrumento de *benchmarking* para os produtores, fornece subsídios importantes para pesquisa e extensão, na proporção em que revelam as possibilidades de expansão da produção por meio de melhoramento da eficiência e marcam as principais fontes de ineficiência. Portanto, quando se almeja estratégias, planejamentos e tomadas de decisões na produção para a melhoria de seu desempenho, realiza-se avaliação da eficiência da unidade produtiva. (TORESAN, 1998).

Esta dissertação se estrutura no estudo da eficiência técnica da carcinicultura. É composta por dois capítulos que buscaram abordar as questões relacionadas à eficiência técnica do setor de carcinicultura no estado do Ceará, bem como realizar um comparativo de eficiência entre a carcinicultura cearense e a carcinicultura potiguar.

No primeiro capítulo, a eficiência técnica da carcinicultura marinha de 100 fazendas produtoras de camarão atuantes no estado do Ceará no ano de 2011 foi analisada a partir do modelo de fronteira de eficiência de produção estocástica proposto por Battese e Coelli (1995) e Coelli, Rao e Battese (1998). Segundo Sousa Júnior (2003), para a constatação de um processo de produção eficiente deve-se comparar a situação atual a uma

situação ótima que poderia ser atingida, dada as combinações de insumos ou de produtos. Desta forma, as fazendas foram caracterizadas por um conjunto de variáveis explicativas que descreveram os insumos empregados na produção e a forma de gerenciamento das fazendas.

O segundo capítulo teve como objetivo principal a análise das diferenças tecnológicas da produção de camarão entre os estados do Ceará e Rio Grande do Norte. Para tanto, foi proposta a utilização do método utilizado por Battese, Rao e O'Donnell (2004) e O'Donnell, Rao e Battese (2008), para estimação da metafronteira de produção. Assim seria possível observar em que proporção as diferenças regionais próprias de cada estado, no que tange aos fatores de produção, impactam na eficiência das fazendas de camarão situadas nos dois grupos regionais.

Devido à importância da carcinicultura para a economia do setor aquícola e a geração de emprego e renda no Nordeste brasileiro, são necessários maiores esforços para verificar se as fazendas de carcinicultura do estado do Ceará e do Rio Grande do Norte, os maiores produtores do Brasil têm atuado de forma tecnicamente eficiente, desde o início da atividade, e como poderiam alocar seus recursos para alcançar maiores níveis de eficiência.

CAPÍTULO 1

EFICIÊNCIA PRODUTIVA DAS FAZENDAS DE CARCINICULTURA NO ESTADO DO CEARÁ

1 INTRODUÇÃO

A carcinicultura é um dos ramos da aquicultura que mais tem crescido no mundo. Em 2012, o Brasil contribuiu com 55% do total da produção mundial de camarões e 15% do valor total de produtos aquícolas comercializados mundialmente. (FAO, 2014).

No Brasil, a carcinicultura marinha, que consiste na criação de camarões, teve início na década de 70, mas somente passou a ter investimentos privados a partir da década seguinte, com a produção de camarões peneídeos (*Marsupenaeus japonicus*, *Litopenaeus schmitti*, *Farfantepenaeus subtilis*, *F. brasiliensis* e *F. paulensis*). A partir dos anos 90, a atividade experimentou crescimento significativo por meio da introdução da espécie exótica *Litopenaeus vannamei*, conhecido como camarão branco do Pacífico. (MAGALHÃES, 2004).

Em 2011, a produção nacional foi de 65.671 t, o que representa 80% da produção total aquícola marinha naquele ano. (FAO, 2014). Segundo Araújo (2001), a espécie *Litopenaeus vannamei* tem produtividade elevada, podendo alcançar mais de 6.000 kg/ha/ciclo. No ano de 2002, a produtividade média brasileira foi de 5.458 kg/ha/ano, sendo a maior registrada no mundo naquele ano. (ROCHA; RODRIGUES, 2003).

A cadeia produtiva de camarão cultivado no Brasil já é bastante consolidada e tem se expandido cada vez mais, à medida que o número de fornecedores de insumos vem crescendo no país, como é o caso das indústrias de insumos (ração, medicamentos, entre outras), laboratórios de pós-larvas e centros de processamento. (BRASIL, 2013).

A carcinicultura tem gerado benefícios econômicos e sociais no Brasil, principalmente na região Nordeste. Em 2011, a cadeia produtiva do camarão cultivado - constituída de laboratórios de pós-larvas, fazendas de engorda e centros de processamento - gerou R\$ 1 bilhão. (BRASIL, 2013). Sabe-se que esta atividade gera 1,89 empregos diretos e 1,86 empregos indiretos por hectare de viveiro em produção, totalizando 3,75 empregos por hectare. Este valor de empregos supera setores primários tradicionais da Zona da Mata, como as cadeias produtivas da cana-de-açúcar e do coco, e também setores de destaque regional, como a fruticultura dos polos irrigados. A carcinicultura tem se colocado como uma

alternativa econômica promissora para os municípios, que se encontram estagnados ou em declínio econômico. (SAMPAIO; COUTO, 2008).

O maior número de fazendas de carcinicultura no Brasil encontra-se na região Nordeste, particularmente nos estados de Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí, os quais concentraram, em 2011, mais de 99% (ou 69.088 t) da produção de camarão cultivado. (RODRIGUES; BORBA, 2013).

Neste mesmo ano, o estado do Ceará se destacou como o maior produtor, apresentando uma produção de 31.982 t e área em operação de 6.580 ha. (BRASIL, 2013). Segundo o censo realizado pela Associação Brasileira de Criadores de Camarão, o Ceará experimentou crescimento em número de fazendas e produção, entre os anos de 2004 e 2011 de 41,24% e 61%, respectivamente. (BRASIL, 2013)

Este aumento da produção e produtividade da carcinicultura no Brasil tem sido atribuído à própria capacidade da espécie cultivada de se adaptar às condições edafoclimáticas (BRASIL, 2013), expansão da área cultivada (Rodrigues; Borba, 2013), uso de produtos biotecnológicos (Jones; Dourado, 2003), a alta densidade de estocagem dos viveiros (Fonseca, 2005) e melhoria da gestão da propriedade (Santos; Santos; Mendes, 2015). Porém, qualidade inferior dos insumos pode ser um fator limitante para o crescimento da produtividade do cultivo de camarão. (OSTRENSKY; PESTANA, 2000).

Além disso, o cenário da carcinicultura no estado do Ceará sofreu mudança na primeira década do século XXI, principalmente pelo aumento do número de fazendas, crise financeira internacional e o embargo das importações para os EUA. Estes fatos podem ter ocasionado mudanças significativas no desempenho produtivo da carcinicultura, em virtude do aumento da competição por insumos entre as fazendas e a necessidade de combinar e/ou substituir insumos para alcançar a eficiência técnica. (BRASIL, 2013).

Desta forma, este estudo tem como objetivo avaliar a eficiência técnica da carcinicultura marinha cearense, com base nos dados do Censo Brasileiro da Carcinicultura de 2011. Busca, especificamente, estimar a função de produção e realizar uma comparação entre os produtores mais eficientes e menos eficientes. Espera-se, com isto, capturar as mudanças ocorridas no setor nas últimas duas décadas na produção de camarão marinho, cultivado no estado do Ceará. Para isto, foi utilizado o método de fronteira estocástica, o qual permite estimar o nível de eficiência técnica da unidade produtiva. No Brasil, são escassos os estudos realizados com aplicação deste método em atividades agrícolas sendo praticamente inexistentes para o setor aquícola cearense.

Além desta introdução, este capítulo é composto por mais quatro seções. Na segunda seção foi apresentado o nível de produtividade do camarão e os aspectos teóricos e metodológicos da eficiência técnica e fronteira de produção. Foi feita também uma revisão de literatura sobre a aplicação da fronteira de produção estocástica na carcinicultura. Na terceira seção apresentou-se a metodologia da pesquisa, com destaque para a área de estudo, natureza e fonte dos dados e o modelo econométrico da fronteira de eficiência estocástica. Na quarta seção foram apresentados e discutidos os resultados e, finalmente, na quinta seção, foram expostas as considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção, inicialmente, descreve aspectos e as principais formas de mensurar a eficiência técnica e fronteira de produção em uma unidade produtiva. Em seguida, são apresentadas pesquisas que fizeram uso da abordagem metodológica de fronteira de produção estocástica na carcinicultura.

2.1 Eficiência técnica e fronteira de produção

A análise da eficiência em uma unidade de produção pode auxiliar a tomada de decisão na propriedade visando a melhoria de seu desempenho. Um processo de produção é constatado eficiente por meio da comparação da sua situação atual, com uma situação ótima que poderia ser atingida, dadas as combinações de insumos ou de produtos. (SOUSA JÚNIOR, 2003).

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

Sabe-se que nem todos os produtores são tecnicamente eficientes, ou seja, nem todos conseguem utilizar a quantidade mínima de insumos necessária para produzir a quantidade de produto desejada, dada à tecnologia disponível. (RIVERA; CONSTANTIN, 2007).

Segundo Tupy e Yamagucho (1998), ainda que muitos autores considerem o crescimento da produtividade e a eficiência como sinônimos, existe um pequeno, porém crescente, grupo que difere os dois conceitos. O crescimento da produtividade pode ser definido como o aumento e/ou não no produto devido às mudanças na eficiência e mudanças tecnológicas, em que a primeira é a variação do produto observado em relação à sua fronteira, e a segunda representa o deslocamento da fronteira de produção.

Conforme Conceição e Conceição (2005), a literatura recente apresenta avanços na obtenção das estimativas de eficiência, a partir da estimação de funções de produção, utilizando, principalmente, a função de fronteira de produção estocástica. A modelagem econométrica de funções de fronteira de produção fornece a produção máxima, que pode ser obtida a partir de um determinado conjunto de insumos, dada a tecnologia existente para as firmas envolvidas no processo produtivo.

As principais abordagens metodológicas utilizadas para a estimação da fronteira são três, a saber: a programação pura e modificada; a fronteira determinística e; a fronteira estocástica. (LOVELL; SCHIMIDT, 1988).

O método de programação pura, também conhecido como *Data Envelopment Analysis* (DEA), utiliza uma sequência de programas lineares para construir uma fronteira de produção e, assim, mensurar a eficiência relativa. Já o método de programação modificada constrói uma fronteira paramétrica, utilizando também uma sequência de programação linear para construir fronteiras e medir a sua eficiência relativa. (SILVA; CARVALHO; CAMPOS, 2007).

A abordagem determinística faz uso de técnicas para estimar a fronteira e computar a sua ineficiência. Neste método, desconsidera-se a possibilidade de a estimação ser afetada por erros de medição e outros ruídos, de forma que qualquer desvio em relação à curva de produção é atribuído à ineficiência técnica do produtor. (REIS; RICHETTI; LIMA, 2005; SILVA; CARVALHO; CAMPOS, 2007).

A metodologia de fronteira estocástica admite desvios da fronteira e, para isso, adiciona um componente de erro para capturar influências causadas por ruído e erros de medição. Tal artifício possibilita a divisão do desvio de uma observação da parte determinística da fronteira em dois constituintes: um associado à ineficiência técnica da produção e outro relacionado aos ruídos aleatórios. (REIS; RICHETTI; LIMA, 2005). Desta forma, esta metodologia elimina a principal limitação existente nos métodos determinísticos, que é considerar qualquer afastamento em relação à fronteira como ineficiência.

Este método de fronteira estocástica (FE) utiliza técnicas econométricas para estimar a fronteira de produção que, por sua vez, caracteriza uma transformação eficiente de insumos e produtos, além de computar a sua eficiência relativa. Para isto, define-se uma forma funcional específica para a tecnologia em questão e as hipóteses distribucionais sobre os componentes do erro, de modo a permitir a sua decomposição. (REIS; RICHETTI; LIMA, 2005).

O método de FE apresenta algumas limitações referentes à má especificação da distribuição assumida para o termo da ineficiência, especialmente na utilização da distribuição half-normal (LIU; LAPORTE; FERGUSON, 2008) e à violação ocasional das propriedades da função de produção¹, principalmente a monotonicidade, diferente do que ocorre no modelo de DEA, em que essas condições são satisfeitas pela construção do problema de programação linear. (REINHARD; LOVELL; THIJSSSEN, 2000). Outra limitação apontada por Tannuri-Pianto, Sousa e Arcoverde (2009) é a imposição de uma forma funcional, além de não possibilitar a mensuração de escores de eficiência na existência de firmas com múltiplos e multiprodutos.

Essa metodologia, entretanto, é mais apropriada ao setor agrícola do que as abordagens determinísticas que geram fronteiras não paramétricas, especialmente quando se trata de países como o Brasil, que estão em desenvolvimento, onde as informações são fortemente influenciadas por erros de medição, condições climáticas, doenças e pragas. (COELLI; RAO; BATTESE, 1998). Desta forma, muitos estudos relacionados à estimação da eficiência técnica têm sido realizados com utilização da metodologia paramétrica da estimativa da função fronteira estocástica, sendo bastante utilizado nos trabalhos empíricos e, principalmente, naqueles aplicados à agropecuária. (DEY *et al.*, 2010; ALMEIDA, 2012).

2.2 Fronteira de produção estocástica na carcinicultura

Os estudos que têm como enfoque determinar a eficiência técnica no setor aquícola são escassos, particularmente no que diz respeito à eficiência técnica da carcinicultura, o mesmo ocorrendo no Brasil.

No mundo, destacam-se as estimativas de eficiência técnica para a carcinicultura em Bangladesh (Rashid; Chen, 2002; Begum; Hossain; Papnagioto, 2013), na Malásia (Islam; Yew; Noh, 2014) e em Andhra Pradesh, realizado por Sivaraman *et al.* (2015).

Begum, Hossain e Papnagioto (2013) determinaram a eficiência técnica dos carcinicultores de Bangladesh usando a função de fronteira de produção estocástica, que envolve um modelo com determinantes de ineficiência técnica. Os fatores estudados como causadores de ineficiência na produção das fazendas de camarão e seus respectivos coeficientes foram: nível de escolaridade do aquícultor (-0,166); participação em associações de aquícultura (0,561); qualidade da água (0,216); treinamento (-0,755) e idade (-0,016). A

¹ As principais propriedades associadas a função de produção são apresentadas detalhadamente em Coelli, Rao, O'Donnell, e Battese (2005).

pesquisa foi realizada com uma amostra de 90 fazendas de camarão de água salobra, localizadas na região de Shyamnagar Upazila, em Bangladesh. A partir dos resultados dos coeficientes foi visto que o nível de escolaridade do aqüicultor, o treinamento e a idade, reduzem a ineficiência do modelo, ou seja, o aumento nessas variáveis irá gerar um ganho de eficiência para o produtor, porém, a participação em associações e a qualidade da água apresenta-se como causador de ineficiência no modelo. O nível de eficiência técnica média dos carcinicultores foi estimada em 82%, portanto, fazendo o setor operar 18% abaixo da fronteira de produção.

Rashid e Chen (2002) também estudaram a eficiência técnica de três sistemas de cultivo de camarão marinho (extensivo, semi-intensivo e intensivo) de uma amostra de 155 fazendas localizados nas regiões sudeste e sul ocidental de Bangladesh. As variáveis utilizadas para verificação como determinantes de ineficiência foram: área da fazenda, nível de escolaridade e experiência dos funcionários. Por meio do modelo de fronteira estocástica, as médias de eficiência para os três sistemas de cultivos investigados foram 0,82, 0,85 e 0,93, respectivamente. Foi verificado que em todos os sistemas de cultivo, todas as variáveis testadas como determinantes de ineficiência obtiveram coeficientes negativos, com exceção da variável área da fazenda no sistema de cultivo semi-intensivo, demonstrando que o aumento destas ocasionaria uma redução na ineficiência do modelo.

Islam, Yem e Noh (2014) analisaram a eficiência técnica da carcinicultura na península da Malásia utilizando a abordagem de fronteira de produção estocástica. Os fatores de ineficiência testados no modelo foram: área da fazenda, número de ciclos produtivos, nível educacional, idade e experiência dos funcionários. Dentre os resultados foram ressaltados os coeficientes das variáveis experiência (-0,011) e educação (-0,018), que foram negativos, sendo que um aumento destas variáveis acarretaria uma redução na ineficiência das fazendas, ou seja, quanto maior for o nível educacional e a experiência dos funcionários menor será a ineficiência do modelo. Concluíram que, nas fazendas de camarão estudadas, existia um alto grau de ineficiência técnica entre os criadores de camarão, evidenciando, assim, um grande potencial para aumentar a produção de camarão por meio da melhoria da eficiência na gestão das explorações agrícolas nessa região.

Sivaraman *et al.* (2015) estimaram uma função de fronteira de produção estocástica para analisar a eficiência técnica das fazendas de camarão do distrito de Godavari Oriental de Andhra Pradesh. As variáveis analisadas como causadoras de ineficiência foram: participação em associações de carcinicultores, experiência, escolaridade, idade e tamanho da

família dos carcinicultores. Observaram que a experiência, idade e escolaridade dos carcinicultores têm efeitos positivamente associados à eficiência técnica. Esses resultados sugerem que os produtores com maior experiência, mais idade e melhor educação tomam decisões mais adequadas quanto ao manejo da fazenda e, assim, aumentam sua eficiência técnica. A eficiência técnica dos carcinicultores foi estimada em 93,06%, o que significa que as fazendas operavam em 6,94% abaixo da produção de fronteira de produção.

No Brasil, as análises de eficiência técnica da carcinicultura são em pequeno número, com destaque para os trabalhos de Sousa Júnior (2003), Silva e Sampaio (2009) e Oliveira (2008), todos realizados com dados na região Nordeste.

Sousa Júnior (2003) analisou a eficiência da produção de camarão marinho em cativeiro no estado do Ceará, no ano de 2002, utilizando a Análise de Envoltória de Dados (DEA). Os resultados mostraram que, do ponto de vista técnico, os carcinicultores eram eficientes. Para isto foi selecionada uma gama de variáveis importantes na produção, para verificar quantos destes produtores eram eficientes, tais como: densidade de estocagem, aeração artificial, espécie utilizada, oxigênio dissolvido, entre outros. De uma amostra de 68 fazendas, 38 deles (ou 56%) se mostraram tecnicamente eficientes, obtendo medidas de eficiência técnica dentro do intervalo de 0,9 a 1,0, enquanto outros 30 foram considerados tecnicamente ineficientes.

Silva e Sampaio (2009) estimaram a fronteira de produção não paramétrica e eficiência técnica para dois sistemas de produção (extensivo e semi-intensivo) conduzidos por pequenos e médios produtores de camarão do estado do Rio Grande do Norte, no ano de 2009. A partir de uma amostra de 348 pequenos e médios produtores de camarão (com área inferior a 50 ha), obtida do censo da carcinicultura realizado pela Associação Brasileira de Criadores de Camarão (ABCC), em 2004, observou-se que os níveis de eficiência técnica foram mais altos para os sistemas de produção extensivo e semi-intensivo e que algumas práticas de gestão estão associadas diretamente aos escores de eficiência, como o uso de aeradores, equipamentos para monitoração da água, tratamento de solo, utilização de tanques berçários, entre outros.

Entretanto, algumas variáveis de gestão mostraram-se não significativas, como por exemplo, a presença de bandejas para ração, que pode ser explicada pela falta de conhecimento do nível adequado do balanceamento da ração, que deve ser empregado nas bandejas. Constatou-se também que produtores localizados em estuários com menor nível de emissões de nitrogênio e fósforo e, portanto, menos poluentes na média, obtiveram maior

índice de eficiência técnica.

Oliveira (2008) avaliou a eficiência do cultivo de camarão marinho, em sistema dulciaquícola numa fazenda localizada no Rio Grande do Norte, no período compreendido entre 2002 e 2005. O autor utilizou a Análise de Envoltória de Dados (DEA) para trabalhar com um banco de dados composto por 115 observações e considerou as seguintes variáveis para verificar a eficiência do cultivo: variáveis de produto, produção e peso médio final; variáveis de insumo, tempo de cultivo, quantidade de pós-larva, área do viveiro, quantidade de ração ofertada, qualidade da ração e laboratório de origem das pós-larvas. Os resultados demonstraram que 24 cultivos se mostraram eficientes e 91 ineficientes, e que a variável exógena temperatura foi relacionada à produção e com o peso médio final dos camarões, enquanto que oxigênio, pH e transparência não tiveram relação significativa ($p \geq 0,05$).

3 METODOLOGIA

Esta seção, inicialmente, delimita e caracteriza a área de estudo da pesquisa. Em seguida descreve a natureza e fonte dos dados, o método de análise e por fim, os testes realizados.

3.1 Área de estudo

O estudo restringe-se às fazendas de carcinicultura de porte micro, pequeno, médio e grande, especializadas na engorda de camarão e localizadas no estado do Ceará. Em 2011, o Ceará tinha 325 produtores de camarão que ocupavam uma área de 6.580 ha de viveiros em operação, com uma área média de 20,2 ha/fazenda, distribuídos em 21 municípios. Naquele ano, a produção de camarão foi de 31.982t, tendo alcançado produtividade média de 4,86 t/ha/ano.

Os municípios que se destacaram no ano de 2011 foram Aracati, que assumiu a primeira posição em número de produtores, área cultivada e produção, seguido de Acaraú, Camocim, Jaguaruana, Beberibe e Fortim - todos com produção individual superior a 1.000 t anuais. (BRASIL, 2013).

3.2 Natureza e fonte dos dados

Os dados utilizados nesta pesquisa, referentes à carcinicultura no estado do Ceará, são de natureza secundária, tendo sido extraídos do Censo Setorial do Camarão, realizado pela ABCC, em 2011.

Segundo a ABCC, os dados foram coletados por meio de pesquisa direta, com utilização da metodologia universal de censos, que consiste da localização das unidades produtivas, georreferenciamento e aplicação de questionários para coletar informações sobre os aspectos físicos, sociais e ambientais da produção. A pesquisa direta foi feita com os atores sociais envolvidos na carcinicultura estadual e conduzida pelo setor técnico da associação, com o apoio de consultorias especializadas. (BRASIL, 2013)

No Ceará, 325 produtores foram pesquisados e as entrevistas realizadas na própria fazenda, assegurando, assim, a confiabilidade dos dados. (BRASIL, 2013).

As variáveis do modelo corresponderam a todo o período de 2011 e a escolha das variáveis que formam a fronteira de produção foi baseada no fato de que, para a estimação da função de produção, é necessário que a variável dependente do modelo represente a produção e que as variáveis explicativas correspondam aos insumos necessários a essa produção. Desta forma, tem-se como variável dependente a produção de camarão em toneladas, que representa a capacidade de cada fazenda em produzir camarão, levando em consideração que cada firma pretende sempre alcançar um maior nível de produção. Por isso, essa variável é bastante utilizada em estudos relacionados à carcinicultura, como pode ser visto naqueles realizados por Sousa Júnior (2003) e Silva e Sampaio (2009).

Já em relação às variáveis independentes do modelo, tem-se que: com o uso da variável explicativa, número total de funcionários contratados, visa-se medir a força do trabalho nessa atividade e verificar a importância dela para a produção das fazendas, verificando-se também se este será um dos principais insumos produtivos, pois, na maioria das fazendas de camarão, o número de funcionários contratados é bem aquém, comparado à dimensão das fazendas; as variáveis número de viveiros em operação e sua área média em hectares irão representar a magnitude das fazendas, ressaltando a área que é utilizada na produção, podendo-se, assim, verificar se a terra está sendo utilizada de forma a maximizar a produção, sendo estas variáveis explicativas de grande importância e, por isso, já utilizada por outros autores, como, por exemplo, Rashid e Chen (2002), Begum, Hossain e Papnagioto (2013) e Islam, Yew e Noh (2014).

A Tabela 1 mostra as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas nos modelos.

Tabela 1 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas na estimação da fronteira de produção.

Variáveis	Definição	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Produção (Y_i)					
<i>ProdC</i>	Produção de camarão (toneladas)	200,30	444,48	4,00	4150,00
Variáveis explicativas (X_i)					
<i>NFunc</i>	Número total de funcionários contratados	16,39	35,19	1,00	320,00
<i>Nviv</i>	Número de viveiros em operação	11,91	23,39	0,50	220,00
<i>Aviv</i>	Área média dos viveiros (ha)	2,81	1,69	1,00	12,00
Variáveis de ineficiência (Z_i)					
<i>Dens</i>	Densidade média de estocagem (cam/m ²)	33,23	11,73	10,00	80,00
<i>PAer</i>	Potência de aeradores por área (HP/ha)	6,46	6,42	0,50	60,00

Variáveis	Definição	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
<i>Atec</i>	Recebimento de assistência técnica	-	-	0	1
<i>Band</i>	Uso de bandejas de alimentação	-	-	0	1

Total de observações estudadas – 100

Fonte: Dados do Censo Setorial do Camarão, 2011 (ROCHA; BORBA; NOGUEIRA, 2012).

A variável *ProdC*, produção de camarão, é a variável dependente do modelo e refere-se ao total obtido durante os ciclos produtivos no ano de 2011. As variáveis explicativas são: número total de funcionários contratados, o qual representa a força de trabalho; número de viveiros em operação; área média dos viveiros, em hectares; potência de aeradores por área (HP/ha); densidade média de estocagem, que mostra como o produtor aloca as larvas em seu espaço produtivo; recebimento de assistência técnica e uso de bandejas de alimentação, variáveis qualitativas que representam aspectos tecnológicos da firma, que podem assumir valor de 1, quando a resposta for Sim e 0 quando a resposta for Não.

São 325 produtores, porém, nos modelos de fronteira estocástica, não se faz uso de dados faltosos. Por esta razão, para o modelo foram utilizadas 100 observações.

3.3 Método de análise

O método escolhido para este estudo é o de análise de fronteira estocástica, proposto por Battese e Coelli (1995) e Coelli, Rao e Battese (1998). Esta abordagem tem a vantagem de considerar fatores aleatórios não negligenciáveis na estimativa da eficiência técnica produtiva na agricultura. (BATTESE; COELLI, 1992; BATTESE; COELLI, 1995).

O modelo utilizado no estudo usa também como referência o modelo de fronteira estocástica proposto por Aigner, Lovell e Schmidt (1977) e Meeusen e Broeck (1977). Este modelo tem como objetivo dividir o termo de erro em dois componentes: unilateral, que capta os efeitos referentes à ineficiência da firma em relação à fronteira estocástica e; simétrico, que permite variações aleatórias da fronteira entre as firmas. Além disso, permite captar possíveis efeitos de erros de medida e choques exógenos ao controle da firma, assim como quaisquer outros tipos de ruído estatístico.

O modelo estocástico pode ser expresso pela seguinte expressão matemática:

$$Y_i = f(x_i; \beta)e^{(v_i - u_i)}, i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Y_i é denotado como a produção de camarão observada na firma i , no ano de 2011; x_i representa o vetor $1 \times K$ de insumos ou outras variáveis explicativas associadas à firma; β denota o vetor $K \times 1$ parâmetros desconhecidos relacionados com as variáveis independentes. A composição do termo do erro neste dá-se pelos termos v_i e u_i , sendo estes independentes entre si. O primeiro termo do erro representa as variações por choques aleatórios, erros de medição, etc., que são por hipótese $iid \sim N(0, \sigma^2)$, ou seja, independentes e identicamente distribuídos, com distribuição normal de média zero e variância σ^2 . Já o segundo termo refere-se à ineficiência técnica, que desvia a produção da firma para baixo da fronteira de produção, podendo assumir diversos tipos de distribuição, como a half-normal (BATTESE; COELLI, 1992), normal truncada (BATTESE; COELLI, 1995), exponencial (GREENE, 2005) e gama (GREENE, 2003).

A eficiência técnica deste modelo (ET_i) é obtida pela razão entre a produção observada e a produção correspondente à fronteira de produção. Tem-se a seguinte equação:

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

A eficiência técnica, segundo Battese e Coelli (1992), assume o valor entre zero e um e indica a distância entre o produto observado da i -ésima firma (Y_i^*) e o nível do produto que poderia ser atingido (Y_i), fazendo-se uso da mesma cesta de insumos, caso não houvesse ineficiência. Pode-se verificar que o valor do produto observado (Y_i) e potencial (Y_i^*) estão limitados pelos ruídos estatísticos (v_i), desta forma, caracterizando a natureza estocástica da função de produção.

Os choques exógenos são representados por v_i , sendo este simétrico ($-\infty < v < \infty$), e assume-se que esses choques são independentes e identicamente distribuídos (iid). O termo v_i apresenta uma distribuição normal [$v \sim N(0, \sigma_v^2)$], sendo capaz de assimilar os efeitos estocásticos fora do controle da firma. O termo u_i é um componente de eficiência unilateral ($v_i \geq 0$) responsável por obter a ineficiência técnica da i -ésima firma. Os termos de erro v_i e u_i são independentes entre si. O termo de erro u_i mensura a insuficiência no produto, a partir do seu valor máximo, dado pela fronteira estocástica $f(x_i; \beta) e^{v_i}$. Este termo unilateral pode seguir a distribuição meio-normal, normal truncada, exponencial e gama. (AIGNER; LOVELL; SCHMIDT, 1977).

O modelo geral da função fronteira de produção usado no presente trabalho é:

$$Y_j = f(X_{ij}; \beta) + \varepsilon_j \quad (3)$$

em que: Y_j é o vetor de produção de camarão em toneladas das fazendas do estado do Ceará, X_{ij} é o vetor de fatores de produção, β é o vetor de parâmetros e ε_j é o termo de erro composto na estimativa da fronteira de produção.

Entretanto, para a realização de um estudo de fronteira estocástica é necessária a definição, a priori, de uma forma funcional. Assim, a forma escolhida para a função de produção a ser estimada é a Cobb-Douglas, por ser esta amplamente utilizada na análise da eficiência no setor agrícola e ser menos susceptível aos problemas de multicolinearidade, em relação à forma funcional Translog. (ALMEIDA, 2012).

De acordo com Almeida (2012), o uso da Cobb-Douglas apresenta as seguintes vantagens: a simplicidade na estimativa dos parâmetros, pois na forma logarítmica a função Cobb-Douglas é linear nos parâmetros, tornando o ajustamento mais fácil; os coeficientes da regressão fornecem as elasticidades de produção e podem ser comparados entre si, pois são independentes das quantidades de produto e de fatores; comparativamente com a forma funcional transcendental logarítmica (Translog), a função de produção Cobb-Douglas apresenta um pequeno número de parâmetros a serem estimados, resultando, portanto, em maior número de graus de liberdade para os testes estatísticos, além de ser menos susceptível aos comuns problemas de multicolinearidade, na estimativa da função de produção.

O modelo empírico escolhido é estimado com a função Cobb-Douglas, em sua forma logarítmica. A estimativa da fronteira estocástica e das eficiências técnicas permite testar as hipóteses relacionadas ao efeito dos insumos incluídos no modelo sobre a produção, assim como identificar as principais causas de ineficiência. A fronteira estocástica toma a seguinte forma:

$$\ln ProdC = \beta_0 + \beta_1 \ln NFunc + \beta_2 \ln Nviv + \beta_3 \ln Aviv + v_i - u_i \quad (4)$$

em que:

ProdC: compreende o valor da produção de camarão em toneladas (t);

NFunc: número total de funcionários contratados em cada firma;

Nviv: número de viveiros em operação;

Aviv: área dos viveiros em hectares;

v_i : distúrbios aleatórios da função de produção;
 u_i : ineficiência técnica da produção.

A variável v_i representa os distúrbios aleatórios da função de produção que, por hipótese, segue uma distribuição normal com média zero e variância constante, $iid \sim N(0, \sigma^2)$. O termo u_i representa a ineficiência técnica de produção, positivo e modelado neste estudo como:

$$u_i = \delta z_i + w_i \quad (5)$$

Sendo z_i um vetor de variáveis microeconômicas que explicam a ineficiência técnica, e δ é um vetor de parâmetros associado a z_i , a serem estimados. A variável z_1 corresponde à densidade de estocagem (cam/m²), *Dens*, de cada firma. Esta variável define a quantidade de camarão por metro quadrado no viveiro, a qual deve ser estabelecida de modo a fazer o uso ótimo da área, visto que a densidade de estocagem, além da capacidade de suporte do viveiro pode elevar a taxa de mortalidade, o que se constitui em ineficiência. Moss e Moss (2004) afirmaram que a densidade de estocagem está diretamente relacionada ao crescimento e sobrevivência dos camarões. Além disso, a escolha da densidade de estocagem mais apropriada para o cultivo é fundamental para a viabilidade econômica das fazendas, exercendo grande influência sobre a produtividade do sistema. (JACKSON; WANG, 1998).

Já a variável z_2 caracteriza a potência de aeradores por área (HP/ha), *PAer*. O aerador é utilizado para oxigenar o viveiro, essencial para a sobrevivência do camarão em cativeiro. Desta forma, quanto maior for a potência do aerador, maior será a quantidade de oxigênio incorporado na água. Porém, a aeração dos viveiros deve ser feita em nível adequado para não causar estresse aos camarões durante o cultivo e, assim, evitar a ineficiência produtiva. (BRASIL, 2001; SOUSA JÚNIOR, 2003).

As variáveis z_3 e z_4 são variáveis *dummies* que representam as variáveis qualitativas recebimento de assistência técnica (*Atec*) e uso de bandejas de alimentação (*Band*), respectivamente. Segundo Silva e Sampaio (2009), a colocação das rações por meio do sistema de bandejas reduz o desperdício e ajuda a diminuir a formação de sedimentos no fundo dos viveiros. Além disso, o elevado nível de resíduos pode provocar a mortalidade de camarões. A assistência técnica atua na prevenção e correção de manejos inadequados e má uso da tecnologia, visando reduzir problemas geradores de ineficiência.

3.4 Testes realizados

Nesta seção serão descritos os testes da forma funcional e ineficiência técnica na função de produção.

3.4.1 Teste da forma funcional

O modelo de fronteira estocástica foi estimado com as funções de produção na forma Cobb-Douglas e Translog. De acordo com teste da razão de verossimilhança (LR), a função Cobb-Douglas foi a escolhida para a análise por ajustar melhor os dados.

O teste da razão de verossimilhança (LR) tem como hipótese nula, H_0 : LL Cobb-Douglas, e hipótese alternativa, H_1 : LL Translog. O LR é calculado pela seguinte equação: $LR = -2 [\ln LL H_0 - \ln LL H_1] \sim \chi^2$; no qual LL é o log-verossimilhança estimado para cada forma funcional. Utilizando os valores críticos mostrados por Kodde e Palm (1986), falha-se em rejeitar H_0 , se $LR < T_{KP}$ (KODDE; PALM, 1986).

3.4.2 Efeito da ineficiência técnica na função de produção

Utiliza-se também a razão de verossimilhança (LR) para testar se as variáveis de ineficiência são responsáveis pela ineficiência técnica no modelo. Neste teste, as hipóteses são definidas como seguem: H_0 : Inexistência de ineficiência técnica, $\gamma = 0$; e H_1 : Existência de ineficiência técnica, $\gamma > 0$. Caso a hipótese nula não seja rejeitada, o modelo de eficiência pode ser estimado pelo estimador de mínimos quadrados ordinários; caso contrário, estima-se o modelo de eficiência estocástica utilizando a função de produção selecionada.

Para realizar o teste LR, estima-se o valor da log-verossimilhança do modelo estimado sem incluir as variáveis de ineficiência e novamente aplica o teste de verossimilhança generalizada. A significância do teste consiste em comparar o LR calculado com o valor crítico da tabela de Kodde e Palm (1986), tendo o número de variáveis de ineficiência, como o grau de liberdade do teste. Decidiu-se por não rejeitar a H_0 , quando o $LR < T_{KP}$ (KODDE; PALM, 1986).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão descritos os testes de hipóteses realizados, a estimação da fronteira de produção estocástica e os causadores de ineficiência.

4.1 Escolha da forma funcional

Primeiramente, para analisar os testes de hipóteses realizados, vale ressaltar que várias especificações alternativas à Cobb-Douglas foram estimadas e realizados testes com a distribuição half normal e normal truncada. (BATTESE; COELLI, 1992). Contudo, como se pretendia analisar os níveis de eficiências do modelo foi necessário usar o modelo proposto por Battese e Coelli (1995), que utiliza a distribuição normal truncada.

Foi estimado o modelo Cobb-Douglas e o Translog sem progresso técnico, já que correspondia a um único tempo, realizando-se, assim, uma análise *cross-section*. Porém, após as estimações dos modelos, foi verificado que o modelo Translog não apresentou robustez, pois quase todas as variáveis independentes não foram capazes de explicar a produção, entretanto, o modelo Cobb-Douglas mostrou-se bem mais ajustado, apresentando todos os coeficientes do modelo significativos, a um nível de significância de 5%. Para maior confiabilidade em qual forma funcional utilizar, foi realizado o teste de máxima verossimilhança e obteve-se o valor do λ , que se encontra na Tabela 2 e, a partir disso, pode-se observar que o valor de λ (10,915) é menor do que o valor crítico (11,911), ao nível de 5% de significância na tabela de Kodde e Palm (1986), dado seu grau de liberdade. Desta forma, aceita-se a hipótese nula, estabelecendo que a função Cobb-Douglas apresentou-se como forma funcional mais adequada a um nível de significância de 5%, por isso foi escolhida para representar o modelo de fronteira estocástica.

4.2 Estimação da fronteira de produção e do modelo de ineficiência técnica

Foi escolhida a forma funcional para a realização do teste de Inexistência de Eficiência Técnica, em que não se deve utilizar o modelo de fronteira estocástica, caso $\gamma = 0$, ou seja, o modelo não é capaz de mensurar efeito de ineficiência. Foi realizado o teste de máxima verossimilhança e, a partir da estimação da fronteira, obteve-se o valor do λ , que se encontra na Tabela 2. Foi verificado que o valor de λ (20,383) é maior do que o valor crítico (11,911), ao nível de 5% de significância na tabela de Kodde e Palm (1986), dado seu grau de

liberdade. Portanto, rejeita-se a hipótese nula que estabelece a inexistência de ineficiência técnica no modelo determinado a um nível de significância de 5%, o que justifica a estimativa do modelo de eficiência estocástica.

Tabela 2 - Testes de Inexistência de eficiência técnica e forma funcional.

Teste de Hipótese	Hipóteses	Grau de liberdade	Valor de λ	Valor crítico	Decisão (5%)
Forma Funcional	H_0 : Cobb-Douglas H_1 : Translog	6	10,915	11,911	Aceita-se H_0
Inexistência de Eficiência Técnica	H_0 : $\gamma = 0$ H_1 : $\gamma > 0$	6	20,383	11,911	Rejeita-se H_0

Fonte: NORÕES (2017), a partir dos dados da pesquisa.

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados das estimações do modelo, que corresponde à fronteira de produção na forma funcional Cobb-Douglas, com distribuição normal truncada, sugerido por Battese e Coelli (1995), que foi o modelo que melhor se ajustou aos dados, após os devidos testes já especificados.

Na fronteira estimada foi estabelecido, previamente, o nível de significância de 5% para analisar todas as estimações, entretanto, todos os parâmetros são altamente significativos, até mesmo a um nível de 1%. Desta forma, implicou em uma função de produção bem comportada, com todos os parâmetros com os sinais esperados. Os fatores de produção, número total de funcionários contratados, número de viveiros em operação e área média dos viveiros em hectares impactam positivamente na produção de camarão das fazendas do estado do Ceará. Isto significa que cada variável explicativa incluída no modelo está positivamente associada ao nível de produção, quando as demais variáveis são mantidas constantes (*ceteris paribus*).

A variável $\ln Aviv$, área média dos viveiros (ha), obteve o maior coeficiente (0,889), dentre as variáveis explicativas do modelo. Por ser o coeficiente uma medida de elasticidade, em termos médios, o aumento de 1% na área média dos viveiros da fazenda está associado a um aumento de 0,889% na produção da fazenda, *ceteris paribus*. Isto significa que a produção e a área média dos viveiros seguem o pressuposto de que o aumento da produção é proporcionalmente menor do que o aumento no uso do fator variável.

Já os demais fatores de produção, $\ln NFunc$ e $\ln Nviv$, obtiveram coeficientes de 0,434 e 0,529, respectivamente, portanto, inferiores em magnitude ao observado pela $\ln Aviv$.

Assim, assegurado que as demais variáveis permaneçam constantes, o aumento de 1% no número de funcionários da fazenda e no número de viveiros em operação, está associado ao aumento de 0,434% e 0,529% na produção de camarão, respectivamente. Desta forma, essas variáveis também expressam um aumento na produção equivalentemente menor do que o aumento no uso dos fatores variáveis, que é um comportamento esperado quando a fazenda encontra-se na região eficiente de produção.

Observados os valores dos coeficientes, também foi possível concluir que, dentre as variáveis *ln NFunc* e *ln Nviv*, o número de viveiros em operação resulta num acréscimo produtivo de 0,095% a mais do que o número total de funcionários contratados. Essa relação já era esperada, pois, nas fazendas, em sua maioria, o número de funcionários é bem aquém, comparado à quantidade de viveiros e à área dos viveiros, sendo fazendas de grande extensão.

Entre as variáveis de ineficiência incluídas no modelo (*Dens*, *PAer*, *Atec* e *Band*), apenas o coeficiente da variável *Dens* se mostrou significativo, ao nível de 5%. O coeficiente da *Dens* apresentou sinal positivo, significando que a diminuição da densidade de estocagem está associada à diminuição da ineficiência técnica de produção de camarão. Isto pode ser um indicativo de que a densidade de estocagem dos viveiros encontra-se em seu limite superior, o qual não pode ser excedido.

A densidade média de estocagem tem sido apontada como o maior causador de ineficiência na carcinicultura. De acordo com Sousa Júnior (2003), os carcinicultores classificados como eficientes adotavam o sistema de produção semi-intensivo, que admite uma densidade de estocagem dos viveiros de 30 a 60 cam/m². No presente estudo, a média da densidade de estocagem é de 33,23 cam/m², variando no intervalo de 10 cam/m² e 80 cam/m², portanto, inclui valores abaixo de 30 cam/m² e acima de 60 cam/m², que podem conduzir à ineficiência.

Embora estatisticamente insignificante, foi possível concluir que as variáveis, potência de aeradores por área (*PAer*), recebimento de assistência técnica (*Atec*) e uso de bandejas de alimentação (*Band*) não são fontes causadoras de ineficiência. Isso pode se dar devido ao pacote tecnológico apresentado pelos assistentes técnicos, já está bastante consolidado e o uso de bandejas de alimentação já se tornou uma tecnologia bastante difundida. Já a potência dos aeradores por área pode estar relacionado ao fato de que o dimensionamento dos aeradores encontra-se corretamente especificado para atender as necessidades dos viveiros, não se constituindo em uma fonte de ineficiência produtiva.

Os resultados obtidos corroboraram aqueles alcançados por Silva e Sampaio

(2009), que verificaram a insignificância no uso de bandejas de alimentação como geradora de ineficiência do modelo. Já em relação ao uso de aeradores, foi observado que é uma prática de gestão que influenciava diretamente na eficiência, mas, com os resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se concluir que a potência dos aeradores distribuída nas áreas produtivas não influencia na eficiência da firma.

Tabela 3 - Estimativas de máxima verossimilhança dos parâmetros da fronteira de produção e do modelo de ineficiência técnica das fazendas de camarão do estado do Ceará, 2011.

Variáveis	Coefficientes	Desvio Padrão	Z	P> z
$\beta_0(Const.)$	2,366	0,221	10,682	0,001
$\beta_1(\ln NFunc)$	0,434	0,100	4,323	0,001
$\beta_2(\ln Nviv)$	0,529	0,102	5,201	0,001
$\beta_3(\ln Aviv)$	0,889	0,134	6,617	0,001
Ineficiência				
$\delta_0(Const.)$	4,006	1,101	3,640	0,001
$\delta_1(Dens)$	0,848	0,398	-2,129	0,033
$\delta_2(PAer)$	0,098	0,171	0,577	0,564
$\delta_3(Atec)$	-0,213	0,256	-0,830	0,406
$\delta_4(Band)$	-0,794	0,703	-1,129	0,259
σ^2	0,380	0,190	1,994	0,046
γ	0,742	0,170	4,358	0,001
σ_u	0,531	0,182	2,923	0,003
σ_v	0,313	0,073	4,301	0,001
σ_u^2	0,282	0,193	1,462	0,144
σ_v^2	0,098	0,046	2,151	0,032

Fonte: NORÕES (2017), a partir dos dados da pesquisa.

Fronteira Estocástica de Produção/Modelo Battese e Coelli (1995)

Modelo de efeitos de ineficiência/normal-truncado

Número de observações: 100

Log Verossimilhança: 71,69619

Prob>Chi2=0,000

ET Média = 0,57918

Como mostrado na Tabela 3, o indicador de ineficiência técnica, $\gamma (= \sigma_v^2 / \sigma^2)$, foi estimado em 0,742. Isto significa que 74,2% da variância total do erro composto do modelo corresponde à variância da ineficiência técnica. Este resultado é uma evidência forte da presença de ineficiência técnica no modelo estimado para a produção de camarão cultivado no estado do Ceará.

A partir da estimação da ineficiência foram calculados os escores de eficiência das fazendas da amostra. A Tabela 4 apresenta a estatística descritiva dos escores de eficiência

técnica para a amostra.

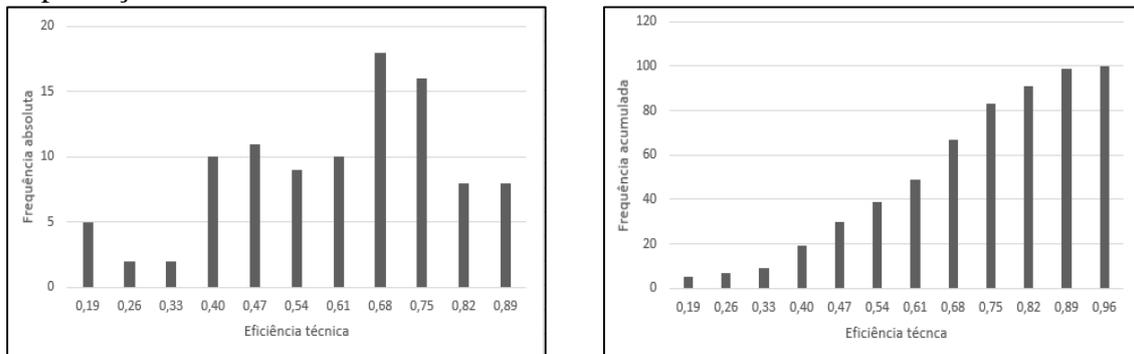
Tabela 4 - Estatística descritiva dos escores de eficiência técnica das fazendas da amostra.

Parâmetro	Mediana	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Eficiência Técnica	0,621	0,579	0,018	0,180	0,900

Fonte: NORÕES (2017), a partir dos dados da pesquisa.

A Figura 1 apresenta a distribuição de frequência dos escores de eficiência técnica das fazendas da amostra.

Figura 1 - Distribuições de frequência absoluta e acumulada dos escores de eficiência técnica da produção da amostra.



Fonte: NORÕES (2017), a partir dos dados da pesquisa.

A Figura 1 deixa evidente que a distribuição dos escores de eficiência técnica da amostra é assimétrica, assemelhando-se ligeiramente a uma distribuição normal assimétrica à esquerda. Desta forma, os escores com maior frequência estão localizados na faixa de eficiência entre 0,68 e 0,75, onde estão situadas 34 fazendas (ou 34% da amostra). De acordo com o gráfico de distribuição de frequência acumulada, observa-se que 83% das fazendas possui eficiência técnica igual ou menor que 0,75.

A média e mediana da eficiência técnica foi de 0,579 e 0,621, respectivamente. A amplitude dos escores de eficiência técnica é de 0,72, variando no intervalo que vai do valor mínimo de 0,180 e máximo de 0,900. Pelo fato da distribuição da eficiência técnica ser enviesada, a mediana mostra-se mais adequada para a medida de tendência central da distribuição.

A literatura é omissa quanto aos critérios utilizados para definir o referencial de eficiência técnica contra o qual se mede o desempenho das fazendas. Santos *et al.* (2009)

consideraram uma abordagem ad hoc, em que o nível de eficiência foi definido em 0,90, ou seja, produtor com escore igual ou acima deste valor é eficiente; caso contrário, o produtor é ineficiente.

Reconhecendo que os escores são estimados de forma endógena, nesta pesquisa evita-se definir um valor como marco arbitrário de eficiência e prefere-se avaliar a eficiência de forma relativa, ou seja, comparando os grupos de fazendas mais eficientes ao grupo das menos eficientes. Desta forma, é possível avaliar quanto uma fazenda menos eficiente tem que empreender melhorias na produção, para alcançar o desempenho de uma fazenda mais eficiente.

Com base nos escores de eficiência técnica das fazendas, a fazenda com maior eficiência técnica obteve o escore de 0,900. Considerando que 99 fazendas da amostra (N=100) tiveram escores inferiores a 0,900, isto significa que 99% da amostra tem potencial de melhorar seu desempenho técnico para, assim, alcançar o nível máximo de eficiência. Desta forma, tomando a fazenda com maior escore como referencial, uma fazenda com escore mediano teria que aumentar sua eficiência técnica em 31% ($= 1 - 0,621/0,900$) ao ponto de se tornar eficiente. De forma análoga, tomando a eficiência técnica mediana como referência, a fazenda com o menor nível de eficiência teria que aumentar sua eficiência em 71% ($= 1 - 0,180/0,621$), que pode ser considerada baixa, quando comparada com o maior escore de eficiência (0,900).

Portanto, a metade da amostra (50%) com escores igual ou superior à mediana teria que aumentar sua eficiência no máximo em 31%, enquanto outra metade da amostra com escores menores que a mediana teria que aumentar sua eficiência em mais que o dobro das fazendas mais eficientes. Isto revela a desigualdade marcante da distribuição de eficiência técnica entre as fazendas da amostra.

A Tabela 5 apresenta a estatística descritiva da eficiência técnica dos quartis da amostra. A média dos escores da eficiência técnica dos quartis são 0,329 (1º), 0,534 (2º), 0,665 (3º) e 0,788 (4º). O segundo e terceiro quartis apresentam os menores desvios padrões, ou seja, estão mais concentrados em torno da média. As taxas de melhoria da eficiência técnica decrescem do 1º para o 4º quartil, variando no intervalo que vai de 63% a 12%. As fazendas do primeiro quartil, com média de 0,329, teria que melhorar a eficiência de produção em 63%.

Tabela 5 - Estatística descritiva da eficiência técnica dos quartis da amostra.

Quartil	N.	Média	Desvio Padrão	Min.	Max.	Taxa de melhoria
1°	25	0,329	0,090	0,180	0,435	63%
2°	25	0,534	0,055	0,436	0,619	41%
3°	25	0,665	0,023	0,624	0,705	26%
4°	25	0,788	0,056	0,705	0,900	12%
Total	100	0,579	0,180		-	36%

Fonte: NORÕES (2017), a partir dos dados da pesquisa.

Na Tabela 6 tem-se uma comparação dos cinco produtores mais eficientes em relação aos cinco menos eficientes. Nesta comparação, os produtores 25, 81, 11, 20 e 75 serviram de *benchmarks* para os produtores 86, 90, 48, 27 e 38. Foram utilizadas as mesmas variáveis empregadas na estimação do modelo de fronteira estocástica como medida de comparação, ou seja, produção como variável dependente e número total de funcionários contratados em cada firma, número de viveiros em operação e área dos viveiros em hectares como variáveis explicativas.

Tabela 6 - Comparação dos cinco produtores mais eficientes com os cinco menos eficientes.

<i>Ranking</i> ¹	Produtor	ET	<i>ProdC</i> (t)	<i>NFunc</i>	<i>Nviv</i>	<i>Aviv</i> (ha)
1°	25	0,9003	210,00	8	5,0	2,0
2°	81	0,8571	280,00	10	17,0	1,7
3°	11	0,8559	45,00	2	4,0	1,0
4°	20	0,8538	150	9	0,5	6
5°	75	0,8508	168	11	12	1,2
96°	86	0,1892	6	4	3	1,5
97°	90	0,1889	8,4	5	2	2,7
98°	48	0,1873	4	3	4	1
99°	27	0,1838	30	6	5	4,5
100°	38	0,1803	730	116	25	12

Fonte: NORÕES (2017), a partir dos dados da pesquisa.

¹ O *Ranking* das eficiências de todos os cem produtores se encontra no Apêndice A.

Como pode ser observado na Tabela 6, o produtor 25, que é o mais eficiente, possui uma produção de camarão em toneladas (*ProdC*) maior que quase todos os produtores citados, com exceção dos produtores 81 e 38. Entretanto, ele não faz uso de elevados quantitativos das variáveis explicativas, ou seja, como por exemplo, comparando-se sua área média dos viveiros em operação em hectares (*Aviv*) com a dos produtores 20, 90 e 27, verifica-se que o produtor 25 faz uso da *Aviv* (ha) de forma bem mais eficiente que os três

citados anteriormente, pois este possui uma área média de viveiros menor e alcança uma produção de camarão superior.

Em relação ao número de funcionários contratados (*NFunc*) e o número de viveiros em operação (*Nviv*), vale ressaltar o produtor 81, que possui dois funcionários contratados e doze viveiros em operação a mais do que o produtor 25, entretanto possui somente 70 t de produção de camarão a mais que este.

Pode-se também observar, em relação ao *NFunc*, que o produtor 20 possui um maior número de funcionários contratados, porém, tem uma produção menor que a obtida pelo carcinicultor mais eficiente. O produtor 25 tem um *NFunc* menor, correspondente a menos da metade da média de funcionários contratados, que é de 16,39.

Por fim, observando-se a variável número de viveiros em operação (*Nviv*), o produtor 25 tem uma quantidade pequena, comparada à média, que é de 11,91 (Tabela 1). Mesmo assim, comparando-se à maioria daqueles que utilizam um número maior ou igual de viveiros, como por exemplo, os produtores 27 e 75, o produtor 25 apresenta uma produção bem maior, chegando a ser sete vezes maior que a obtida pelo produtor 27.

Com base nessas informações, pode-se afirmar que as prováveis causas para o uso ineficiente dos insumos estão relacionadas diretamente às três variáveis explicativas utilizadas no modelo *NFunc*, *Nviv* e *Aviv*, pois o uso excessivo destas tem reduzido a eficiência das firmas. Contudo, comparando o produtor mais eficiente ao menos eficiente, verifica-se que a variável que causa maior impacto na eficiência é *NFunc*, observando-se, assim, que o uso excessivo de mão de obra pode ser a principal causa da redução da eficiência das fazendas de carcinicultura do estado do Ceará.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no modelo de fronteira de produção estocástica para a carcinicultura cearense, as elasticidades da produção determinada pela mudança nas quantidades dos insumos investigados foram positivas, porém, menores que a unidade. A maior elasticidade da produção foi observada para a variação percentual na área média dos viveiros, *ceteris paribus*, relativamente aos outros insumos investigados.

Dentre as variáveis que foram incluídas para explicar a ineficiência técnica, a densidade média de estocagem foi a única variável que se mostrou significativa. O aumento da quantidade de camarão estocado por metro quadrado está associado positivamente à ineficiência da produção de camarão.

A distribuição da eficiência técnica da produção de camarão cultivado no Ceará mostrou-se assimétrica e negativamente enviesada, com 83% das fazendas amostradas experimentando nível de eficiência igual ou inferior a 0,75. Por esta razão, a média e mediana da eficiência foram de 0,579 e 0,621, respectivamente. Isto significa que existe potencial de melhoria de eficiência a ser alcançada pelas fazendas e que vai depender do seu nível de eficiência corrente.

Em termos médios, o grau de ineficiência dos carcinicultores pode ser considerado alto, já que uma melhoria na eficiência pode ser empreendida na fazenda no intervalo que vai de 12% a 63%. Isto significa que o potencial produtivo deste setor está sendo subutilizado e a tecnologia parece não estar sendo amplamente difundida ou não se encontra ao alcance de todos os carcinicultores cearenses. Tal situação compromete o crescimento da produção e reduz a competitividade do setor nos mercados nacional e internacional.

CAPÍTULO 2

FUNÇÃO DE METAFRONTIERA DE PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA TÉCNICA DA CARCINICULTURA NOS ESTADOS DO CEARÁ E RIO GRANDE DO NORTE

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de camarão marinho no mundo tem se expandido a uma taxa de 10% ao ano, constituindo-se em uma importante atividade econômica para os países em desenvolvimento. No ano de 2014, o Brasil produziu 65,1 mil toneladas de camarão marinho cultivado (FAO, 2016), cujo destino tem sido o mercado doméstico e de exportação. Nesse mesmo ano, estima-se que a carcinicultura tenha gerado mais de 30 mil empregos diretos e indiretos.

A produção de camarão cultivado no Brasil está concentrada na região Nordeste, sendo os maiores produtores os estados do Ceará e Rio Grande do Norte. Em 2011, esta região sediava 92% (ou 1.199) das fazendas que produziam 99,3% (ou 69.171 t) da produção nacional (BRASIL, 2013). Em 2014, o Ceará, na primeira posição, produziu 58,3% da produção nacional, seguido pelo Rio Grande do Norte com 25,5%, que foram obtidas com 57,2% dos produtores da região. (BRASIL, 2013; IBGE, 2015). Um dos fatores que têm contribuído para o sucesso dessa atividade na região Nordeste são sua extensa faixa litorânea, as condições edafoclimáticas e topografia favoráveis ao cultivo da espécie de camarão *Litopenaeus vannamei*. (CASTRO; PAGANI, 2004; LISBOA FILHO *et al.*, 2006).

Os produtores de camarão estão distribuídos entre propriedades de tamanho micro, pequeno, médio e grande. Em 2011, com base nos dados do Censo Setorial do Camarão 2011, os micros e pequenos produtores, com área da propriedade rural de até 10 hectares, correspondiam a 73,9% do total de unidades produtivas no Nordeste e ocupavam 2.655 hectares. Os produtores de tamanho médio, com área entre 10 e 50 hectares, correspondiam a 19,8% do total de propriedades e área de 5.316 hectares. Já os produtores grandes, com área maior do que 50 hectares participavam com 6,3% do total de produtores e ocupavam 11.640 hectares. (BRASIL, 2013).

Na região Nordeste, a carcinicultura tem sido conduzida predominantemente sob o sistema de produção semi-intensiva e intensiva. Por exemplo, segundo a ABCC, no Ceará, no ano de 2011, 70% das fazendas adotavam o sistema semi-intensivo de produção.

(BRASIL, 2013). Esses dois níveis tecnológicos se diferenciam em função da densidade de estocagem dos viveiros (e.g. acima de 50 camarões/m² para intensivo), tipo de ração utilizada (desbalanceada ou balanceada), e forma de manejo e monitoramento da água. (ARAÚJO; ARAÚJO, 2015).

Na última década, tecnologias têm sido desenvolvidas e colocadas à disposição do produtor, no intuito de aumentar o desempenho técnico dos cultivos, tais como a reprodução das pós-larvas, formação de plantéis, uso de berçários intensivos, preparação e manejo dos viveiros, uso de ração adequada, comedouros fixos e monitoramento dos parâmetros de qualidade da água. (JOVENTINO, 2006). Porém, nem todos os produtores têm acesso à tecnologia ou ao crédito que possa viabilizar o incremento da produção, sendo esses fatores limitantes para a expansão da atividade na região Nordeste. (KUBITZA, 2015). Desta forma, além da variabilidade climática, as fazendas são heterogêneas, quanto ao nível tecnológico e manejo da produção ao nível da fazenda, o que pode determinar seu grau de eficiência técnica e econômica.

A eficiência técnica da carcinicultura tem sido investigada em vários países, por exemplo, na Malásia (Islam; Yew; Noh, 2014), Vietnã (Kiet; Fisher, 2014), Bangladesh (Begum; Hossain; Papnagioto, 2013), e Índia (Sivaraman *et al.*, 2015). No Brasil, os estudos de eficiência técnica da carcinicultura são escassos. Silva e Sampaio (2009) analisaram a eficiência técnica de pequenos e médios produtores de camarão no Rio Grande do Norte por meio da estimação das fronteiras de produção não paramétricas (DEA e FDH). Oliveira (2008), através da análise envoltória de dados (DEA), avaliou a eficiência do cultivo do camarão marinho no Rio Grande do Norte. Sousa Júnior (2003) analisou a eficiência da produção de camarão marinho em cativeiro no estado do Ceará.

Esses estudos utilizaram as abordagens paramétricas (e.g. fronteira estocástica) e não paramétricas (e.g. análise envoltória de dados) para estimar a função de produção da carcinicultura, com o objetivo de identificar e analisar os fatores que causam ineficiência técnica nessa atividade. Em particular, os estudos sobre eficiência técnica da carcinicultura realizados no Brasil estimaram a fronteira de eficiência técnica da carcinicultura de um único estado (e.g. Ceará ou Rio Grande do Norte). Essas abordagens não permitem comparar os níveis de eficiência técnica entre os estados, tendo como base uma mesma linha de referência.

Nesse sentido, este estudo teve como objetivo principal analisar as diferenças tecnológicas da produção de camarão entre os dois maiores produtores nacionais, Ceará e Rio Grande do Norte. Para tanto, utilizou-se o método proposto por Battese, Rao e O'Donnell

(2004), depois aprimorado por O'Donnell, Rao e Battese (2008), para estimação de uma metafronteira de produção. Esse método de análise permite comparar os níveis de eficiência e tecnologias de produção entre regiões distintas.

Este capítulo é composto, além da introdução, por mais quatro seções. Na segunda seção, foi feita uma revisão de literatura sobre a análise de metafronteira e os estudos de análise de eficiência estocástica, realizados no Brasil. Na terceira seção, foram mostrados os dados, variáveis e o modelo empírico do estudo. Na quarta seção foram apresentados os resultados e discussão da análise de metafronteira estocástica. Por fim, na quinta seção, foram expostas as conclusões e sugestões para futuras pesquisas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção, inicialmente, apresenta os métodos de mensuração da eficiência técnica e fronteira de produção em uma unidade produtiva. Em seguida, descreve o modelo de metafronteira estocástica. Por fim, são apresentados estudos que aplicaram o método de análise de fronteira estocástica para avaliar a eficiência técnica da carcinicultura.

2.1 Análise de eficiência técnica

Os métodos de mensuração de eficiência podem ser classificados em paramétricos e não paramétricos. Os métodos não paramétricos se diferenciam dos paramétricos pelo fato de o primeiro não exigir a especificação da função de produção ou custos, a mesma sendo estimada por meio de programação linear. Entre os métodos não paramétricos, destaca-se a análise de envoltória de dados (DEA). Ao contrário, os métodos paramétricos requerem a especificação de uma função de produção ou custos, a qual é estimada por meio de métodos econométricos.

O método paramétrico da análise de fronteira estocástica, proposto por Aigner, Lovell e Schmidt (1977) e Meeusen e Broeck (1977), tem se popularizado como ferramenta para medir a eficiência técnica de produção. (ISLAM; YEW; NOH, 2014). Na abordagem de fronteira de produção, a eficiência técnica é definida como a quantidade mínima de insumos necessários para produzir certa quantidade de produto ou o produto máximo. (FARREL, 1957). Desta forma, a eficiência técnica é estimada por meio da razão entre a quantidade de produto observado e a quantidade máxima de produto possível, mantendo-se constante a quantidade de insumos, tecnologia e condições ambientais.

A análise da fronteira estocástica evolui para a análise de metafronteira estocástica, tendo como base o conceito de função de meta-produção cunhada por Hayami (1969) e Hayami e Ruttan (1970). A função de metaprodução é um envelope das funções de produção tradicionais, assumindo que todos os produtores de diferentes grupos (países, regiões, entre outros) potencialmente têm acesso à mesma tecnologia. A abordagem de Metafronteira Estocástica (MFE) foi desenvolvida por Battese, Rao e O'Donnell (2004, 2008), tomando como pressuposto o fato que a tecnologia pode diferir entre regiões. Conceitualmente, a estimação da metafronteira representa o envoltório de todas as Fronteiras Estocásticas de Produção (FEP) de todos os grupos ou regiões, podendo sua delimitação ser

definida em função de características geográficas, ambientais ou econômicas.

2.2 Modelo de metafronteira estocástica

Parte-se do pressuposto de que as firmas estão distribuídas em grupos, cada grupo compartilhando características semelhantes (e.g., região, atividade produtiva, etc.). Para cada um desses grupos, é possível estimar uma fronteira estocástica de produção (FEP), como proposto por Meeusen e Broeck (1977). Desta forma, o modelo geral da fronteira estocástica pode ser expresso por:

$$y_i = f(x_i, \beta^j) + \varepsilon_i \quad (6)$$

em que: y_i é o produto da unidade produtiva i ; x_i é o vetor de insumos; e $\varepsilon_i = v_i - u_i$ é o erro aleatório. Assumindo que o exponencial da fronteira de produção é linear no vetor de parâmetros β^j , a tecnologia pode ser representada por uma forma funcional adequada (i.e., Cobb-Douglas ou Translog).

Considere que a relação entre insumos e produtos das diversas firmas em cada grupo é representada por uma fronteira estocástica. Sendo assim, para cada j -ésimo grupo, existe uma amostra de N_j firmas, produzindo um produto a partir de um conjunto de insumos; a fronteira estocástica para estes grupos é definida por:

$$Y_i = f(X_i, \beta^j) \cdot e^{(v_i^j - u_i^j)} \quad (7)$$

em que: Y_i é a quantidade de produto observada na firma i ; X_i é o vetor $1 \times K$ de insumos ou outras variáveis explicativas, associadas com firma i ; β^j é o vetor $K \times 1$ de parâmetros desconhecidos associados ao grupo j ; v_i^j é o erro aleatório, independentes e identicamente distribuídos (*iid*), com distribuição normal de média zero e variância constante ($v_i^j \sim iid N(0, \sigma_v^2)$); e u_i é um erro aleatório não negativo não observável associado à ineficiência técnica da firma i do grupo j .

A ineficiência técnica da firma é entendida como um desvio da produção para baixo tomando como referência a fronteira de eficiência de produção. O erro aleatório u_i pode

assumir vários tipos de distribuição, por exemplo, a *half-normal* (HN) (Aigner; Lovell; Schmidt, 1977), a normal truncada (Battese; Coelli, 1995), a exponencial e a gama.

As estimações desses parâmetros serão obtidas pelo método da máxima verossimilhança, partindo da hipótese de o termo da ineficiência possuir distribuição HN, onde $u_i \sim iid HN(0, \sigma_v^2)$, como proposto por Battese e Coelli (1992). A função log-máxima verossimilhança é expressa em termos da variância dos parâmetros: $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$; $\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma^2}$.

A estimação dos parâmetros da equação (7) é feita pelo método da máxima verossimilhança. Como mostrado em Battese e Coelli (1992), o indicador de eficiência técnica para a firma i do grupo j é dado pela razão entre o produto observado e o produto da fronteira, expresso por:

$$ET_i^j = \frac{y_i^j}{f(x_i^j \beta_i^j) \cdot e^{u_i^j}} = e^{-u_i^j} \quad (8)$$

Depois de estimadas as FEPs individuais, faz-se necessário verificar se os vários grupos compartilham a mesma tecnologia. Isto pode ser feito por meio do teste da Razão de Verossimilhança (LR), onde $L(H_0)$ é o valor da função do log-verossimilhança para a fronteira estocástica estimada reunindo os dados de todos os grupos e $L(H_1)$ é a soma dos valores das funções do log-verossimilhança das FEPs individuais. Os graus de liberdade para a estatística Chi-quadrado é a diferença entre o número dos parâmetros estimados sob H_1 e H_0 . Se a hipótese H_0 que define a fronteira estocástica para os dados conjuntos for rejeitada em favor das fronteiras individuais (H_1), então os dados não devem ser reunidos e, neste caso, a MFE é a abordagem apropriada para estimar e comparar a ET entre grupos ou regiões. (BATTESE; RAO; O'DONNELL, 2004).

O modelo MFE é definido por Battese, Rao e O'Donnell (2004) como uma fronteira paramétrica determinística de forma funcional específica (e.g., Cobb-Douglas ou Translog) tal que o valor previsto da MFE seja maior ou igual ao valor estimado para a fronteira estocástica de qualquer uma das firmas ou grupos. O modelo MFE determinístico para todas as firmas que compõem os grupos pode ser expresso da seguinte forma:

$$Y_i^* = f(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}; \beta^*) = e^{(x_i \beta^*)} \quad (9)$$

em que: Y_i^* e β^* denotam o produto e o vetor de parâmetros do modelo MFE,

respectivamente, desde que a seguinte condição se mantenha para todos os grupos j ($j = 1, 2, \dots, J$):

$$x'_i \beta^* \geq x'_i \beta^j \quad (10)$$

Segundo O'Donnell, Rao e Battese (2008), os parâmetros da MFE podem ser estimados por dois métodos. O primeiro consiste em estimar uma metafronteira estocástica utilizando os dados conjuntos de todas as firmas. Este método tem a desvantagem de não garantir que a metafronteira estimada seja a envoltória das fronteiras regionais devido a possíveis erros de especificação.

O segundo método, proposto por Battese, Rao e O'Donnell (2004) e O'Donnell, Rao e Battese (2008), utiliza a base de dados conjunta. Os parâmetros são estimados por meio da minimização de uma função objetivo definida pela soma dos desvios absolutos sujeitos a equação (10). O problema de programação linear (PL) a ser solucionado é dado por:

$$\begin{aligned} \min_{\beta^*} \sum_{i=1}^N |\ln f(X_i; \beta^*) - \ln f(X_i; \hat{\beta}^j)| \\ \text{s. a. : } \ln f(X_i; \beta^*) \geq \ln f(X_i; \hat{\beta}^j) \end{aligned} \quad (11)$$

Já que $\hat{\beta}^j$, o vetor de coeficientes estimados para a fronteira estocástica para cada grupo j , e o vetor de insumos são considerados fixos, a forma equivalente do problema de PL da equação (11) pode ser especificada se a função $f(X_i; \beta^*)$ for log-linear em seus parâmetros:

$$\begin{aligned} \min_{\beta^*} \bar{x} \beta^* \\ \text{s. a. : } x'_i \beta^* \geq x'_i \beta^j \end{aligned} \quad (12)$$

Com o problema de programação linear solucionado e os vetores β^* da metafronteira e β^j das fronteiras estocásticas individuais, o produto observado da firma i do grupo j pode ser expresso por:

$$y_i^j = e^{-u_i^j} \times \frac{f(X_i^j, \beta^j)}{f(X_i^j, \beta^*)} \times f(X_i^j, \beta^*) e^{(v_i^j)} \quad (13)$$

O lado direito da fórmula é composto de três componentes. O primeiro termo é igual ao da equação (8) e representa a eficiência técnica da firma i relativa à fronteira estocástica do j -ésimo grupo (ET_i^j). O segundo termo é denominado de Razão de Meta-Tecnologia (RMT), que representa a diferença entre a tecnologia disponível para o grupo j relativo à tecnologia disponível para todas as firmas e grupos, como mostra a equação (14).

$$RMT_i^j = \frac{f(x_i^j, \beta^j)}{f(x_i^j, \beta^*)}, \text{ tal que } 0 \leq RMT_i^j \leq 1 \quad (14)$$

A RMT é obtida pela razão entre o produto da fronteira do grupo j e o produto potencial da função de metafronteira, dados os insumos observados (BATTESE; RAO; O'DONNELL, 2004). A RMT identifica a razão do produto da função de fronteira de produção para cada grupo relativo ao produto potencial, que é definido pela função metafronteira, dado os insumos observados. A definição da RMT indica que o “aumento na razão de metatecnologia implica em decréscimo na diferença entre a fronteira do grupo e a metafronteira”. (O'DONNELL; RAO; BATTESE, 2008, p. 236). A RMT assume valor entre 0 e 1, sendo que 1 indica nenhuma diferença entre a firma em um grupo e a metafronteira.

O terceiro termo da equação (13) indica a eficiência técnica da firma i com relação à função de metafronteira, podendo ser expresso pela seguinte equação:

$$ET_i^{*j} = \frac{y_i^j}{f(x_i^j, \beta^*)e^{(v_i^j)}} = ET_i^j \times RMT_i^j \quad (15)$$

2.3 Eficiência técnica da carcinicultura

Estudos que aplicaram o método de análise de fronteira estocástica para avaliar a eficiência técnica da carcinicultura brasileira são limitados. Nos parágrafos seguintes serão apresentadas pesquisas realizadas no âmbito da análise de eficiência técnica no Brasil e da aplicação do método de metafronteira na carcinicultura.

Sousa Júnior (2003) fez uso de um dos métodos possíveis para estimar a fronteira de produção, no ano de 2002: a Análise de Envoltória de Dados (DEA). Analisou a eficiência técnica da produção de camarão marinho em cativeiro no estado do Ceará. Para analisar quantos de 68 carcinicultores amostrados eram eficientes, foi selecionada uma gama de

variáveis importantes na produção, tais como: densidade de estocagem, aeração artificial, espécie utilizada, oxigênio dissolvido, número de viveiros, área de viveiros, dentre outras. O escore de eficiência técnica foi utilizado para verificar se as firmas eram ou não eficientes, sendo esse valor variando de 0 a 1, e a firma seria eficiente se o escore de eficiência técnica estivesse acima de 0,9. Foi observado que, dos 68 carcinicultores, 38 deles se mostraram tecnicamente eficientes, ou seja, no ano de 2002, 56% dos carcinicultores do estado Ceará eram tecnicamente eficientes. Observou-se também que os carcinicultores classificados como eficientes adotavam o sistema de produção semi-intensivo, que admite uma densidade de estocagem dos viveiros de 30 a 60 cam/m².

No Rio Grande do Norte, no período compreendido de 2002 a 2005, Oliveira (2008) avaliou a eficiência do cultivo de camarão marinho em sistema dulciaquícola. Para a análise de eficiência técnica o autor utilizou a Análise de Envoltória de Dados (DEA) e trabalhou com um banco de dados composto por 115 fazendas. Foram admitidos como pressupostos algumas variáveis, divididas em dois tipos, para verificar a eficiência do cultivo de camarão marinho. São elas: variáveis de produto (produção e peso médio final) e; variáveis de insumo (tempo de cultivo, quantidade de pós-larva, área do viveiro, quantidade de ração ofertada, marca da ração e laboratório de origem das pós-larvas). Com os resultados das 115 fazendas amostradas verificou-se que somente 24 se mostraram tecnicamente eficientes e 91 ineficientes, considerando que, para ser eficiente, o escore da fazenda deveria estar acima de 0,9.

Oliveira (2008) ainda observou que as variáveis temperatura e peso final dos camarões apresentaram uma relação direta com a produção, pois o aumento dessas variáveis gerava ganhos de produção para o carcinicultor a um nível de significância de 5%. Já as variáveis, oxigênio, pH e transparência não foram significativas a um nível de 5%. Desta forma concluiu-se que aproximadamente 80% das fazendas de carcinicultura do estado do Rio Grande do Norte foram tecnicamente ineficientes entre os anos de 2002 a 2005.

No ano de 2009, Silva e Sampaio (2009) realizaram, no estado do Rio Grande do Norte, uma análise de eficiência técnica para dois sistemas de produção de camarão marinho (extensivo e semi-intensivo) por meio da estimação da fronteira de produção não paramétrica. A partir de uma amostra de 348 pequenos e médios produtores de camarão, com área inferior a 50 ha. Foi observado que, para os sistemas de produção extensivo e semi-intensivo, os níveis de eficiência técnica foram mais altos. Isso foi explicado devido ao fato de algumas práticas de gestão estarem associadas diretamente aos escores de eficiência, como por

exemplo: o uso de aeradores, equipamentos para monitoração da água, tratamento de solo, utilização de tanques berçários entre outros. Porém, algumas variáveis de gestão não foram significativas a um nível de 5%, sendo elas: a presença de bandejas para ração, que pode ser explicada pela falta de conhecimento do nível adequado do balanceamento da ração que deve ser empregado nas bandejas.

Silva e Sampaio (2009) concluíram que produtores localizados em estuários com menor nível de emissões de nitrogênio e fósforo obtiveram maior escore de eficiência técnica, e a colocação das rações por meio do sistema de bandejas reduzia o desperdício e ajudava a diminuir a formação de sedimentos no fundo dos viveiros, melhorando a qualidade dos camarões e, conseqüentemente, aumentando a eficiência técnica das fazendas, pois o elevado nível de resíduos no substrato pode provocar a mortalidade de camarões.

No contexto mundial, merece destaque o trabalho de Kiet e Fisher (2014). Os autores investigaram a eficiência das práticas de cultivo de camarão intensiva, semi-intensiva e extensiva, bem como a diferença entre a eficiência de fazendas de camarão localizadas a montante e a jusante do Delta do Rio Mekong, Vietnã. A eficiência das fazendas de camarão foi medida usando a análise de metafronteira em uma amostra de 292 fazendas. Os resultados indicaram que os carcinicultores estavam, em média, a operar de forma ineficiente. A eficiência técnica estimada das fazendas de camarão em relação à fronteira de grupo nas duas regiões foram de 70%, 53% e 31,3% para fazendas semi-intensivas, intensivas e extensivas, o que significa que, em média, os carcinicultores dos cultivos semi-intensivos, intensivos e extensivos poderiam melhorar sua produtividade por meio da redução de 30%, 47% e 68,7% dos insumos sem reduzir a produção, respectivamente.

3 METODOLOGIA

Na metodologia está descrita a fonte dos dados e em seguida caracteriza o modelo empírico utilizado na pesquisa e os testes realizados.

3.1 Fonte de dados

A análise da função de metafronteira estocástica utilizada neste estudo tem como foco as fazendas de carcinicultura de porte micro, pequeno, médio e grande, especializadas na engorda de camarão, localizadas nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte. Esses estados foram selecionados para a análise por serem os dois maiores produtores nacionais de camarão marinho, sendo responsáveis, conjuntamente, por 83,8% da produção de camarão marinho nacional, no ano de 2011.

Em 2011, o Ceará tinha 325 produtores de camarão que ocupavam uma área de 6.580 ha de viveiros em operação, com uma área média de 20,2 ha/fazenda, distribuídos em 21 municípios. Nesse mesmo ano, a produção de camarão foi de 31.982 t, tendo alcançado produtividade média de 4,86 t/ha/ano. Por sua vez, o Rio Grande do Norte tinha 361 unidades de produção, que ocupavam uma área em operação de 6.540 ha, distribuídos em 27 municípios que indicam uma produtividade média de 2,73 t/ha/ano e produção anual de 17.825 t.

Os dados utilizados na análise são de natureza secundária, extraídos do Censo Setorial do Camarão, realizado pela Associação Brasileira de Criadores de Camarão, em 2011. (BRASIL, 2013).

Do total de fazendas levantadas pelo Censo no Ceará e Rio Grande do Norte (686), foram utilizados efetivamente na análise 31% das observações, ou seja, 212 observações (100 para o CE e 112 para o RN), tendo em vista a necessidade de eliminar observações com dados faltosos.

3.2 Modelo empírico

No presente estudo o método escolhido para a mensuração empírica da eficiência técnica e da razão de metatecnologia foi o proposto por Battese e Coelli (1992) e O'Donnell, Rao e Battese (2008).

A construção da metafronteira de produção se deu em dois estágios. O primeiro é realizado pela construção de fronteiras estocásticas regionais, utilizando o método proposto por Battese e Coelli (1992). Já o segundo estágio consiste em estimar a metafronteira por técnicas de programação linear.

Primeiro, seguindo o método proposto por Battese e Coelli (1992), estima-se duas funções de fronteira estocástica, uma para cada grupo de produtores, as quais foram definidas em função de sua localização geográfica: (1) produtores do estado do Ceará e; (2) produtores do estado do Rio Grande do Norte.

Uma forma funcional única foi escolhida para estimar a função de fronteira estocástica de produção do Ceará e Rio Grande do Norte. De acordo com o teste da razão de verossimilhança (LR), a função Cobb-Douglas foi a escolhida para a análise por ajustar melhor os dados. Desse modo, a fronteira de produção estocástica é especificada da seguinte forma:

$$\ln ProdC_i^j = \beta_0 + \beta_1 \ln NFunc_i^j + \beta_2 \ln Nviv_i^j + \beta_3 \ln Aviv_i^j + v_i - u_i \quad (16)$$

em que: $ProdC_i^j$ é a quantidade de camarão produzida na fazenda i no estado j ; $NFunc_i^j$ é o número total de funcionários contratados da fazenda i no estado j ; $Nviv_i^j$ é o número de viveiros em operação da fazenda i no estado j ; $Aviv_i^j$ é a área dos viveiros em hectares da fazenda i no estado j ; v_i é erro aleatório da função de produção que por hipótese $iid \sim N(0, \sigma^2)$; e u_i é erro aleatório associado à ineficiência técnica da produção que por hipótese se assume que $iid \sim HN(0, \sigma^2)$.

A estimação dos parâmetros da equação (16) é feita pelo método da máxima verossimilhança, o que permite o cálculo das magnitudes das eficiências técnicas para cada uma das fazendas de carcinicultura da amostra e, conseqüentemente, possibilitando a estimação das fronteiras regionais (Ceará e Rio Grande do Norte), quanto à fronteira agrupada.

A estimação dos parâmetros da metafronteira tecnológica se deu por meio da resolução do problema de programação linear apresentado, utilizando o *software* estatístico Shazam.

A Tabela 7 apresenta a definição das variáveis, dependente e independentes, incluídas no modelo de metafronteira estocástica e suas estatísticas descritivas. Os dados de produção abrangem os ciclos produtivos realizados durante o ano de 2011.

Tabela 7 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas na estimação da metafronteira de produção da carcinicultura.

Variáveis	Definição	Estado ¹	Média	Desvio Padrão	Min.	Max.	CV ²
Dependente							
<i>ProdC</i>	Produção de camarão (toneladas)	CE	200,3	444,5	4,0	4.150,0	221,9
		RN	70,8	125,4	1,8	700,0	177,1
Independentes							
<i>NFunc</i>	Número de funcionários contratados	CE	16,4	35,2	1,0	320,0	214,7
		RN	6,8	11,7	1,0	93,0	172,1
<i>Nviv</i>	Número de viveiros em operação	CE	11,9	23,4	0,5	220,0	196,4
		RN	7,8	8,9	0,5	52,0	113,8
<i>Aviv</i>	Área média dos viveiros (ha)	CE	2,5	1,7	1,0	12,0	67,6
		RN	3,3	1,7	7,9	80,7	51,3
Total de observações		CE	100				
		RN	112				

Fonte: NORÕES (2017), a partir dos dados da pesquisa.

Nota: (1) CE é o estado do Ceará e RN é o estado do Rio Grande do Norte; (2) CV é o coeficiente de variação.

A produção de camarão (*ProdC*), medida em toneladas, é a variável dependente e representa o desempenho produtivo da fazenda durante o período de análise. (SOUSA JÚNIOR, 2003; SILVA; SAMPAIO, 2009). As variáveis independentes são o número total de funcionários contratados (*NFunc*), o número de viveiros em operação (*Nviv*) e a área média dos viveiros (*Aviv*).

A média da produção de camarão por fazenda apresentou-se consideravelmente maior para os produtores do Ceará (CE) (Média = 200,3 ± 444,5) do que a do Rio Grande do Norte (RN) (Média = 70,8 ± 125,4), estando esta produção mais dispersa entre os produtores do Ceará (CV = 221,9%) do que os do Rio Grande do Norte (CV = 177,1%) (TABELA 7). A produção de camarão no CE variou no intervalo de 4 a 4.150 t, enquanto a produção do RN variou entre 1,8 e 700 t por fazenda.

A quantidade de mão de obra (*NFunc*) expressa a força do trabalho empregada

nessa atividade. O número médio de funcionários foi maior no estado do CE (Média = $16,4 \pm 35,2$) do que no RN (Média = $6,9 \pm 11,7$), sendo o Ceará o estado com maior coeficiente de variação (CV = 214,7%). Isto significa que as fazendas do CE, quando comparadas às do RN, empregam uma maior quantidade de mão de obra por fazenda, embora observe-se elevada variância entre as fazendas.

O número e área dos viveiros em operação conjuntamente expressam a escala de produção nas fazendas. Comparando os estados do CE e RN, verifica-se que as fazendas do Ceará utilizavam, em média, maior número de viveiros (Média = $11,9 \pm 23,4$), com menor área média de lâmina d'água (Média = $2,5 \pm 1,7$), enquanto as fazendas do Rio Grande do Norte produziam com menor número de viveiros (Média = $7,8 \pm 8,9$), mas com maior área de lâmina d'água (Média = $3,3 \pm 1,7$). Portanto, existe uma tendência de os produtores cearenses conduzirem sua produção de camarão com um sistema mais intensivo do que os produtores potiguares, o que pode ser uma explicação para a maior produção observada no Ceará.

3.3 Testes realizados

Nesta seção são descritos o teste do efeito da ineficiência técnica na função de produção e o teste da existência de duas fronteiras regionais.

3.3.1 Efeito da ineficiência técnica na função de produção

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

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

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

$$LR = -2[\ln LLH_0 - \ln LLH_1] \sim \chi^2.$$

$LR > T_{KP}$ (Tabela de Kodde e Palm, 1986); rejeita-se H_0 .

3.3.2 Existência de duas fronteiras regionais

Para testar a hipótese de que os dois estados podem ser representados pela mesma fronteira de produção estocástica, utiliza-se o teste da razão de verossimilhança generalizada. Então, tem-se:

H_0 : LL da fronteira agrupada do Ceará e Rio Grande do Norte.

H_1 : LL é a soma dos valores de LL das fronteiras regionais referente ao Ceará e ao Rio Grande do Norte.

$$LR = -2[\ln LLH_0 - \ln LLH_1] \sim \chi^2$$

$LR > T_{KP}$ (Tabela de Kodde e Palm, 1986); rejeita-se H_0 .

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

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são descritos os resultados da estimação das fronteiras regionais e os testes de existência de ineficiência técnica e de existência de fronteiras regionais. Em seguida, mostra-se o modelo estimado de metafronteira de produção.

4.1 Análise das fronteiras estocásticas

Na Tabela 8 são apresentados os modelos estimados das fronteiras estocásticas, Agrupada, Rio Grande do Norte (RN) e Ceará (CE). Nas três fronteiras estimadas, todos os parâmetros estimados foram significativos a um nível de significância de 5% e com os sinais esperados. Isto indica que os dados agrupados e estratificados por estado foram ajustados satisfatoriamente pela função de produção Cobb-Douglas.

Tabela 8 - Fronteiras estocásticas estimadas.

Variáveis	AGRUPADA		RN		CE	
	Coef.	P> z	Coef.	P> z	Coef.	P> z
$\beta_0(Constr.)$	2,221	0,001	2,144	0,001	2,482	0,001
$\beta_1(\ln NFunc)$	0,664	0,001	0,562	0,001	0,544	0,001
$\beta_2(\ln Nviv)$	0,422	0,001	0,516	0,001	0,417	0,016
$\beta_3(\ln Aviv)$	0,423	0,001	0,294	0,001	0,693	0,001
σ^2	0,545	0,008	0,456	0,054	0,659	0,018
γ	0,701	0,002	0,729	0,004	0,860	0,001
σ_u^2	0,382	0,009	0,333	0,025	0,567	0,001
σ_v^2	0,163	0,001	0,124	0,008	0,092	0,031
σ	0,739	0,001	0,675	0,001	0,812	0,001
σ_u	0,618	0,002	0,577	0,017	0,753	0,001
σ_v	0,404	0,001	0,352	0,003	0,304	0,010
λ	1,532	0,002	1,640	0,010	2,479	0,005
Log-verossimilhança	-172,105		-78,878		-78,472	
ET Média	0,650		0,668		0,602	
Obs.	212		112		100	

Fonte: NORÕES (2017), a partir dos dados da pesquisa.

Todos os fatores de produção incluídos na função da fronteira estocástica estão associados positivamente à produção média da fazenda em ambas as fronteiras regionais,

embora a magnitude de seus impactos varie entre regiões.

Em termos de número total de funcionários contratados (*NFunc*), o coeficiente desta variável no modelo CE (Coef. = $0,544 \pm 0,096$) foi ligeiramente menor do que o observado no modelo RN (Coef. = $0,562 \pm 0,069$). Isto significa que o impacto da mão de obra sobre a produção, tanto no CE quanto no RN, é inelástico, ou seja, o aumento de 1% no número de funcionários nas fazendas no Ceará aumentaria a produção em 0,544%. Este resultado aponta para o fato de que as fazendas nesses estados já podem estar operando na região eficiente de produção e sob o efeito dos rendimentos decrescentes do fator.

Em termos de mão de obra, os incrementos da produção podem se originar a partir do aumento da qualidade da mão de obra, já que este tem sido um fator apontado como limitante para a expansão da carcinicultura no Nordeste. (KUBTIZA, 2015). Isto seria alcançado por meio de investimento em capacitação e treinamento no setor. Estudando a carcinicultura na Malásia, Islam, Yem e Noh (2014) observaram que, quanto maior for o nível educacional e a experiência dos funcionários, menor é a ineficiência das fazendas.

O impacto do número de viveiros sobre a produção variou, em magnitude, entre os estados. O coeficiente do *Nviv* do modelo CE (Coef. = $0,417 \pm 0,092$) mostrou-se menor do que o observado no modelo RN (Coef. = $0,516 \pm 0,073$). Para os produtores do RN, seu coeficiente revela que o aumento de 1% no número de viveiros em operação implica no acréscimo de 0,516% na produção de camarão deste estado. Portanto, os produtores do estado do Rio Grande do Norte poderiam experimentar aumento de eficiência na produção de camarão aumentando o número de viveiros em sua fazenda.

Foi observado por Sousa Júnior (2003), que o número médio de viveiros em operação no Ceará no ano de 2002 era de 5 viveiros/firma, e o aumento no número de viveiros não gerava impactos significativos na produção de camarão. Entretanto, neste estudo, foi visto que, no ano de 2011, o número médio de viveiros, tanto para o estado do Ceará (11,9 viveiros/firma), como para o Rio Grande do Norte (7,8 viveiros/firma) foram bem acima daquele verificado por Sousa Júnior (2003). Porém, mesmo com esse aumento, o impacto desta variável na produção ainda continuou sendo pouco expressivo, mas comparando-se às variáveis analisadas para o Rio Grande do Norte, era uma das mais importantes para a produção.

Quanto ao insumo área média de viveiros (*Aviv*), os impactos desse fator sobre a eficiência da produção nos dois estados foram marcadamente diferentes. Este fator foi o que causou maior impacto na produção das fazendas no estado do Ceará (Coef. = $0,693 \pm 0,122$)

enquanto, no estado do Rio Grande do Norte, foi o que causou menor impacto (Coef. = $0,294 \pm 0,079$). Dessa forma, verifica-se uma diferença de cerca de 0,4% na magnitude do efeito deste fator sobre a produção entre os estados.

Oliveira (2008) verificou que os carcinicultores do estado do Rio Grande do Norte, no ano de 2008, faziam uso de uma área média de viveiros de 3,35 ha, e o aumento deste insumo não gerava ganhos expressivos na produção das fazendas potiguares. O mesmo resultado se repetiu para o ano de 2011, verificado nesta pesquisa, pois a área média dos viveiros permaneceu praticamente a mesma, sendo de 3,3 ha, e a influência desta variável, comparada às outras, contida no modelo de fronteira produção estocástica, foi também de pouca magnitude.

Já em relação ao estado do Ceará, Sousa Júnior (2003), no ano de 2002, verificou que os carcinicultores utilizavam, em média, 19,25 ha de área de viveiro, sendo que o aumento desse insumo não gerava ganhos significativos na produção. Entretanto, nesta pesquisa, foi visto que, no ano de 2011, as fazendas do Ceará tinham em média, apenas 2,5 ha de área de viveiro, uma redução de mais de 16 ha, e o aumento dessa variável implicava a maior influência para gerar ganhos de produção para as firmas, comparando-se às outras variáveis desse modelo de fronteira estocástica. Isto pode ser explicado devido ao aprimoramento do pacote tecnológico e o ganho de experiência dos carcinicultores, obtidos com o passar desses 9 anos de desenvolvimento da carcinicultura, podendo aumentar a produção, que foi de 60.128 t, no ano de 2002, para 65.671 t, no ano de 2011, além do fato de ser tecnicamente eficiente fazendo uso de uma menor área de viveiros. (FAO, 2014).

Os fatores que causam maior impacto sobre a produção de camarão divergiram entre os estados analisados. Segundo o modelo RN, na ordem decrescente, os fatores de produção de maior impacto foram *NFunc*, *Nviv* e *Aviv*. Por sua vez, de acordo com o modelo CE, os fatores de produção de maior impacto foram *Aviv*, *NFunc* e *Nviv*. Pelo modelo AGRUPADA, o fator de maior impacto na produção foi *NFunc* (Coef. = $0,664 \pm 0,057$), seguidos do *Nviv* e *Aviv*, os quais apresentaram, aproximadamente, o mesmo efeito marginal (Coef. = 0,42).

Do ponto de vista de gerenciamento do setor, os incentivos visando o aumento da eficiência da carcinicultura variam em função do recorte geográfico. Enquanto o estado do Ceará teria maiores ganhos de eficiência por meio da expansão da área dos viveiros, o estado do Rio Grande do Norte teria maiores ganhos por meio do aumento do emprego da mão de obra nas fazendas. De forma geral, considerando os dois estados, os maiores ganhos de

eficiência da produção de camarão seriam alcançados por meio da contratação de mão de obra, o que também proporcionaria benefícios socioeconômicos para a região. Segundo Nascimento (2013), a carcinicultura representa uma atividade econômica importante, pois contribui para a fixação do homem no Nordeste brasileiro e melhora a distribuição geográfica da renda no país.

O indicador de ineficiência técnica, $\gamma (= \sigma_v^2 / \sigma^2)$, foi estimado em mais de 0,7 para os dois estados do Nordeste em estudo. Isto significa que mais de 70% da variância total do erro composto dos modelos correspondem à variância da ineficiência técnica. Com este resultado é possível afirmar que há uma evidência forte da presença de ineficiência técnica nas firmas produtoras de camarão cultivado, tanto para o Rio Grande do Norte como para o Ceará.

A média da eficiência técnica da produção de camarão (ET Média) variou entre as fronteiras regionais. O Ceará apresentou ET média de 60%, e o Rio Grande do Norte obteve o escore médio de eficiência de 67%. Isto significa que os produtores cearenses empregam 60% do nível tecnológico disponível para os produtores deste estado. Em relação aos produtores potiguares, o percentual de adoção corresponde a 67% do nível tecnológico disponível a todos os produtores do Rio Grande do Norte.

Esta diferença não implica que a carcinicultura cearense apresente nível de eficiência técnica inferior àquela observada na carcinicultura potiguar, uma vez que a comparação das duas fronteiras somente faria sentido se a tecnologia de produção utilizada pelos produtores dos dois estados não fosse similar.

No entanto, se as evidências mostrarem que os dois estados utilizam práticas originadas do mesmo pacote tecnológico, a comparação direta das duas fronteiras regionais é inadequada e a análise deve ser feita com base no modelo de dados agrupados.

4.2 Análise dos testes de hipóteses

Após a estimação dos modelos de fronteira estocástica regionais, foram realizados dois testes: (i) teste de ineficiência técnica e; o teste de existência de fronteiras regionais. A Tabela 9 apresenta os resultados desses testes.

Quanto ao teste de ausência de ineficiência técnica, a hipótese nula (H_0) define que o modelo não capta o efeito de ineficiência, sendo expresso por $\gamma = 0$. Caso o teste falhe em rejeitar H_0 , deve-se utilizar o método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para

estimar o modelo.

O teste de inexistência de ineficiência foi aplicado aos três modelos estimados de fronteiras estocástica: AGRUPADA, CE e RN. Os resultados mostraram que a hipótese nula foi rejeitada nos três modelos, ou seja, os valores estimados (λ) superam seus valores críticos ao nível de 5% de significância na tabela de Kodde e Palm (1986), dados seus graus de liberdade. Portanto, rejeita-se a hipótese nula que estabelece a inexistência da ineficiência técnica no modelo determinado, o que demonstra a existência de ineficiência na produção de camarão e justifica a estimativa do modelo de eficiência estocástica.

Tabela 9 - Testes de razão verossimilhança dos parâmetros das fronteiras de produção.

Testes	Fronteira	Hipótese nula	Grau de liberdade	Valor de λ	Valor crítico	Decisão (5%)
Inexistência de ineficiência técnica	AGRUPADA	$H_0: \gamma = 0$	1	3,793	2,706	Rejeita H_0
	CE	$H_0: \gamma = 0$	1	6,832	2,706	Rejeita H_0
	RN	$H_0: \gamma = 0$	1	2,881	2,706	Rejeita H_0
Existência de duas fronteiras regionais	Não se aplica	H_0 : Fronteira agrupada	6	29,510	11,911	Rejeita H_0

Fonte: NORÕES (2017), a partir dos dados da pesquisa.

Por fim, foi realizado o teste para validar a existência da diferenciação entre as possibilidades produtivas entre os dois estados ou não. Nesse teste, a hipótese nula (H_0) define que a tecnologia de produção empregada pelos estados não se diferencia significativamente. Conforme os resultados, a hipótese nula foi rejeitada e aceita a hipótese alternativa, a qual declara que os estados do Ceará e Rio Grande do Norte empregam diferentes tecnologias de produção na carcinicultura. Logo, pode-se utilizar o quadro teórico da metafronteira de produção, a fim de estimar e comparar as eficiências técnicas de produção da carcinicultura dos dois estados em estudo.

4.3 Análise das eficiências técnicas e razão de metafronteira

O modelo de metafronteira estocástica (modelo MFE) estimou parâmetros para os fatores de produção iguais àqueles estimados pelo modelo de fronteira estocástica dos

carcinicultores do estado do Ceará (modelo CE). Este resultado indica que a tecnologia de produção empregada na carcinicultura cearense permitiu alcançar nível de eficiência técnica maior do que aquela obtida pela carcinicultura potiguar. Desta forma, o padrão tecnológico utilizado pela carcinicultura do Ceará definiu a tecnologia potencial disponível para todos os carcinicultores que operavam nos dois estados.

Na Tabela 10 são mostradas as estimativas de eficiências e de razão de metatecnologia (RMT). Os carcinicultores do estado do Ceará se situaram na metafronteira de produção. Desta forma, a razão de metatecnologia, definida na equação (14), é igual a 1 para todos os carcinicultores cearenses.

Tabela 10 - Estatística descritiva das ETs e RMTs estimadas.

Estatísticas	ET_{RN}	RMT_{RN}	ET^*_{RN}	$ET_{CE} = ET^*_{CE}$
Média	0,67	0,68	0,46	0,60
Desvio padrão	0,14	0,08	0,11	0,18
Mínimo	0,21	0,38	0,16	0,15
Máximo	0,89	0,89	0,66	0,90

Fonte: NORÕES (2017), a partir dos dados da pesquisa.

Os carcinicultores do estado do Rio Grande do Norte apresentaram a RMT média de 0,68 e desvio padrão de 0,08. Esse resultado indica que, em média, os carcinicultores potiguares produziram, no ano de 2011, 68% da produção máxima que os carcinicultores cearenses podiam produzir naquele ano, ao utilizarem os mesmos fatores de produção e tecnologias disponíveis no estado do Ceará.

A ET referente à metafronteira de produção é chamada de ET^* e foi estimada para todos os carcinicultores do Rio Grande do Norte (ET^*_{RN}), de acordo com a equação (15). A ET^* dos carcinicultores do Ceará (ET^*_{CE}) é igual à ET dos carcinicultores estimada pela fronteira regional desse estado (ET_{CE}), por ser os produtores desse estado a própria metafronteira de produção.

A ET^*_{RN} foi estimada em 46%, tendo o carcinicultor com menor ET^* neste estado, obtido escore de 16% e aquele com maior ET^* , 66%. A média do ET^*_{CE} foi 60%, mostrando-se consideravelmente superior ao do estado do Rio Grande do Norte. Os escores do ET^* dos carcinicultores do estado do Ceará variaram no intervalo entre 15% e 90%.

A Tabela 11 apresenta as distribuições de frequências das ET^* dos carcinicultores do Ceará e Rio Grande do Norte. Os carcinicultores potiguares obtiveram escores de

eficiência técnica de metafronteira de até 0,7. A faixa de eficiência com maior frequência foi 0,4-0,5, com 36,6% das fazendas (ou 41 fazendas). A maioria das fazendas (64,3% ou 72 fazendas) ficou no intervalo de eficiência entre 0,4 e 0,6.

Já os carcinicultores cearenses obtiveram escores de eficiência técnica de metafronteira de até 0,9, não tendo sido observado fazendas com eficiência na faixa 0,9-1,0. A maior frequência de eficiência está localizada na faixa entre 0,5 e 0,9, onde estão situadas 73% das fazendas.

Tabela 11 - Distribuição de frequência absoluta e relativa das ETs e RMTs estimadas.

Intervalo	ET _{RN}		RMT _{RN}		ET* _{RN}		ET _{CE} = ET* _{CE}	
	N.	%	N.	%	N.	%	N.	%
0,1-0,2	0	0,0	0	0,0	2	1,8	3	3
0,2-0,3	2	1,8	0	0,0	9	8,0	3	3
0,3-0,4	2	1,8	1	0,9	20	17,9	12	12
0,4-0,5	12	10,7	2	1,8	41	36,6	9	9
0,5-0,6	15	13,4	9	8,0	31	27,7	16	16
0,6-0,7	25	22,3	52	46,4	9	8,0	21	21
0,7-0,8	38	33,9	44	39,3	0	0,0	21	21
0,8-0,9	18	16,1	4	3,6	0	0,0	15	15
0,9-1,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0
Total	112	100	112	100	112	100	100	100

Fonte: NORÕES (2017), a partir dos dados da pesquisa.

A Tabela 12 mostra a ET* e as variáveis explicativas dos cinco carcinicultores mais eficientes e menos eficientes dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte.

Comparando os produtores mais eficientes dos dois estados, Ceará e Rio Grande do Norte, produtores 25 e 94 respectivamente, diferenciaram-se de forma marcante em termos de eficiência: o carcinicultor cearense possui 90%; e o carcinicultor potiguar, 66%. Em termos de produção de camarão (*ProdC*), o carcinicultor do CE produziu 7,5 vezes a mais do que o carcinicultor do RN. A quantidade de todos os insumos empregados na carcinicultura do produtor do CE foram maiores do que os empregados pelo produtor do RN. A maior diferença foi observada para a quantidade de mão de obra contratada (*NFunc*). Isso pode ser uma explicação para a elevada produção do carcinicultor 25, em relação ao 94, corroborando com os resultados de Islam, Yem e Noh (2014).

Tabela 12 - Comparação dos cinco produtores mais eficientes com os cinco menos eficientes dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte.

<i>Ranking</i>	<i>Regiões</i>	<i>Produtor</i>	<i>ET*</i>	<i>ProdC</i>	<i>NFunc</i>	<i>Nviv</i>	<i>Aviv</i>
1°	CE	25	0,90	210	8	5	2
	RN	94	0,66	28	1	4	1
2°	CE	20	0,88	150	9	0,5	6
	RN	43	0,65	660	28	52	2
3°	CE	11	0,87	45	2	4	1
	RN	22	0,64	40	3	8	0,81
4°	CE	81	0,87	280	10	17	1,7
	RN	67	0,62	20	1	4	1
5°	CE	75	0,84	168	11	12	1,2
	RN	87	0,62	130	10	7	1,57
96°	CE	27	0,23	30	6	5	4,5
108°	RN	47	0,26	11,5	3	3	3,2
97°	CE	64	0,22	13,5	4	5	2
109°	RN	36	0,24	15	6	10	1,2
98°	CE	86	0,16	6	4	3	1,5
110°	RN	79	0,20	26	9	13	2,6
99°	CE	90	0,16	8,4	5	2	2,7
111°	RN	107	0,20	9,2	1	2	20
100°	CE	48	0,15	4	3	4	1
112°	RN	84	0,16	1,8	2	2	0,75

Fonte: NORÕES (2017), a partir dos dados da pesquisa.

Analisando os cinco últimos produtores dos dois estados, observa-se que esses carcinicultores apresentaram escores de eficiência abaixo de 0,27. Também pode ser visto que os carcinicultores que possuem as mesmas posições no *ranking* apresentaram escores muito próximos, em termos de eficiência técnica. Por exemplo, os últimos colocados para os dois estados apresentaram escores de 0,15 (CE) e 0,16 (RN), com diferença de apenas 0,1 entre os escores.

5 CONCLUSÕES

Este estudo se propôs a analisar a eficiência técnica da carcinicultura e suas diferenças entre os dois maiores produtores nacionais, os estados do Ceará e Rio Grande do Norte. Com utilização do modelo de metafronteira estocástica proposto por Battese, Rao e O'Donnell (2004) e O'Donnell, Rao e Battese (2008), foi estimado as ET, ET* e RMT dos carcinicultores dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte.

A partir dos procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa, pode-se afirmar que a carcinicultura do Ceará e a carcinicultura do Rio Grande do Norte não compartilham a mesma tecnologia de produção. No ano de 2011, os carcinicultores do estado do Ceará possuíam a maior eficiência técnica média relativa à metafronteira, de 60%, enquanto os carcinicultores do Rio Grande do Norte apresentaram eficiência técnica média de 46%.

A razão de metatecnologia (RMT) estimada para os carcinicultores do Rio Grande do Norte indicou que, mesmo utilizando os mesmos fatores de produção e tecnologias disponíveis no estado do Ceará, os carcinicultores potiguares produziram 68% da produção máxima que pode ser obtida pelos carcinicultores cearenses.

Todas as variáveis escolhidas para a análise se mostraram significativas, porém, com diferença quanto à magnitude do impacto causado por essas variáveis em cada estado. Na carcinicultura cearense, a variável “área média dos viveiros” é a que causou maior impacto, apresentando um coeficiente de 0,693. Já para a carcinicultura potiguar, o fator de maior impacto foi o número de funcionários contratados, com coeficiente de 0,562.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como base os dados do Censo Brasileiro da Carcinicultura de 2011. Seu objetivo foi avaliar a eficiência técnica da carcinicultura marinha cearense e verificar quais variáveis tem causado ineficiência na fronteira de produção deste estado. Posteriormente buscou-se estimar a função de produção para o estado do Rio Grande do Norte e analisar as diferenças tecnológicas da produção de camarão entre os estados do Ceará e Rio Grande do Norte por meio do modelo de metafronteira, ao se realizar comparações entre os produtores mais eficientes e menos eficientes.

Baseando-se no modelo de fronteira de produção estocástica elaborado por Battese e Coelli (1995) para a carcinicultura cearense, foi possível concluir que as elasticidades da variável dependente, produção de camarão em toneladas, gerada pela variação nas quantidades dos insumos produtivos analisados foram positivas, sendo a maior elasticidade da produção impactada pela variação percentual na área média dos viveiros, *ceteris paribus*, relativo aos outros insumos produtivos investigados.

Concluiu-se ainda, que dentre as variáveis testadas nesse modelo para explicar a ineficiência técnica, somente a densidade média de estocagem foi a que se mostrou significativa, a um nível de 5%. Com isso, pode-se aferir-se que o aumento no número de camarões estocados por metro quadrado, afeta positivamente a ineficiência da produção de camarão.

A média e a mediana da eficiência do estado do Ceará foram de 0,579 e 0,621, respectivamente, e a distribuição dos escores das fazendas estudadas mostrou-se assimétrica e negativamente enviesada, sendo 83% destas experimentando nível de eficiência igual ou inferior a 0,75.

Para a análise das diferenças tecnológicas da produção de camarão entre os dois maiores produtores nacionais, Ceará e Rio Grande do Norte, foi utilizado o modelo de metafronteira proposto por Battese, Rao e O'Donnell (2004) e O'Donnell, Rao e Battese (2008).

Com os resultados obtidos pela a análise de metatecnologia foi possível afirmar que a carcinicultura dos estados do Ceará e Rio Grande do Norte não compartilham da mesma tecnologia de produção. Além disso, o Ceará possui a maior eficiência técnica média com referência à metafronteira, sendo de 60% contra apenas 46% do Rio Grande do Norte. Desta forma, viu-se também que os carcinicultores do Rio Grande do Norte, mesmo utilizando os fatores de produção e tecnologias disponíveis no Ceará, só conseguiriam produzir 68% do

máximo que os carcinicultores cearenses podem produzir.

As variáveis analisadas para as regiões mostraram-se significativas a um nível de 5%, porém, apresentando diferença no impacto causado por essas variáveis na fronteira de produção. O insumo área média dos viveiros (*Aviv*) é a que gerou o maior impacto nas fazendas cearenses, apresentando um coeficiente de 0,69, mas para a carcinicultura potiguar o fator de maior relevância foi o número de funcionários contratados (*NFunc*), sendo que um acréscimo de 1% no *NFunc* gera um ganho de 0,56% na produção de camarão.

Por fim, para pesquisas futuras, sugere-se ampliar o número de variáveis no modelo, explicativas e fontes de ineficiência, abrangendo aspectos da produção, gerenciamento e gestão ambiental. Essas variáveis adicionais permitirão ampliar a compreensão das relações envolvidas na função de produção do camarão cultivado.

REFERÊNCIAS

AIGNER, D. J.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 6, p. 21-37, 1977.

ALMEIDA, P. N. A. **Fronteira de produção e eficiência técnica da agropecuária brasileira em 2006**. 2012. 205 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

ARAÚJO, A. M. M.; ARAÚJO, R. C. P.; Análise das práticas de gestão ambiental e seus impactos sobre a produtividade da carcinicultura no Ceará. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL – SOBER, 53., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, jul., p. 111- 130, 2015.

ARAÚJO, D. C. **Avaliação do programa nacional de desenvolvimento da aquicultura: o caso da Carcinicultura Marinha no Nordeste**. 2002. 139 f. Dissertação. (Mestrado em Gestão Pública para o Desenvolvimento do Nordeste), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001.

BATTESE, G. E.; COELLI, T. J. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, n. 3, p.153-169, 1992.

_____. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. **Empirical Economics**, São Paulo, v. 20, issue 2, p. 325-332, 1995.

BATTESE, G. E.; RAO, D. S. P., O'DONNELL, C. J. A metafrontier production function for estimation of technical efficiencies and technology gaps for firms operating under different technologies. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, n. 21, p. 91-103, 2004.

BEGUM, M. E. A.; HOSSAIN, M. I.; PARNAGIOTO, E. Technical efficiency of shrimp farming in Bangladesh: an application of the stochastic production frontier approach. **Journal of the World Aquaculture Society**, Malden MA, v. 44, n. 5, p. 641-654, 2013.

BRASIL. Ministério da Pesca e Agricultura. **Levantamento da infraestrutura produtiva e dos aspectos tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais da carcinicultura marinha no Brasil em 2011**. Natal, 2013. Disponível em: <<http://abccam.com.br/site/wpcontent/uploads/2013/12/LEVANTAMENTO-DA-INFRAESTRUTURA-PRODUTIVA.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2015.

_____. Departamento de Pesca e Aquicultura. **Plataforma tecnológica do camarão marinho cultivado**. Brasília-DF, out. 2001. 276p.

CASTRO, A. A.; PAGANI, G. D. Secagem e composição química da cabeça de camarão (*Litopenaeus vannamei* Boone) a diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, PB, Brasil, v. 6, n. 2, p. 123- 129, 2004.

COELLI, T. J.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J.; BATTESSE, G. E. **An introduction to**

efficiency and productivity analysis. 2. ed. United States of America: Springer, 1998.

CONCEIÇÃO, P. H. Z.; CONCEIÇÃO, J. C. P. R. Uma contribuição metodológica da produtividade total dos fatores na agricultura brasileira. **SOBER**, 2005. Disponível em: <www.sober.org.br/palestras>. Acesso em: 07 jun. 2016.

DEY, M. M.; PARAGUAS, F. J.; KAMBEWA, P.; PEMSL, D. E. The impact of integrated aquaculture-agriculture on small-scale farms in Southern Malawi. **Agricultural Economics**, Malden, MA, v. 41, n. 1, p. 67-79, 2010.

FAO, Food and Agriculture Organization of United Nations. **Seção fisheries and aquaculture department**, Roma SOFIA, 2014.

_____. **The state of world fisheries and aquaculture**: contributing to food security and nutrition for all. Roma: FAO, 2016.

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

FONSECA, G. B. N. G. **Gestão da qualidade no arranjo produtivo da carcinicultura no estado do Rio Grande do Norte**. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais. 2005, 96 f. Belo Horizonte, 2005.

GREENE, W. H. **Econometric Analysis**. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003. 914 p.

GREENE, T. G. **Bridging the great divide**: exploring the Relationship between Student Engagement and Educational Outcomes for African American and Hispanic Community College Students in the State of Florida. Dissertação (Doctor of Philosophy) - The University of Texas at Austin. 2005. 314 f. Austin, 2005.

HAYAMI, Y. Sources of agricultural productivity gap among selected countries. **American Journal of Agricultural Economics**, Oxford, v. 51, n. 3, p. 564-575, Aug. 1969.

HAYAMI, Y.; RUTTAN, V. W. Agricultural productivity differences among countries. **American Economic Review**, Nashville, v. 60, n. 5, p. 895-911, dec. 1970.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Diretoria de Fauna e Recursos Pesqueiros. **Estatística da Pesca, 2005**: grandes regiões e unidades da federação. Brasília, p.147, 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da pecuária municipal**. Rio de Janeiro, v. 43, p. 1-49, 2015.

ISLAM, G. M. N.; YEW, T. S.; NOH, K. M. Technical efficiency analysis of shrimp farming in Peninsular Malaysia: a stochastic frontier production function approach. **Trends in Applied Sciences Research**, San Francisco, v. 9, n. 2, p. 103, 2014.

JACKSON, C. J.; WANG, Y. G. Modelling growth rate of *Penaeus monodon* Fabricius in intensively managed ponds: effects of temperature, pond age and stocking density. **Aquaculture**. Amsterdam, n. 29, p. 27-36, 1998.

- JONES, C. M.; DOURADO, J. D. A. Aumento da produtividade da carcinicultura e redução de lançamentos de resíduos. *In: CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DA ZONA COSTEIRA DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA*, 2. 2003. **Anais...** Recife: ABEQUA, p. 55-67, 2003.
- JOVENTINO, F. K. P. **A sustentabilidade da carcinicultura no município de Fortim-CE, com ênfase nos aspectos sociais, ambientais e tecnológicos**. 2006. 114 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.
- KIET, N. T.; FISHER, T. C. G. Efficiency analysis and the effect of pollution on shrimp farms in the Mekong river delta. **Aquaculture Economics & Management**, Amsterdam, v. 18, p. 325-343, 2014.
- KODDE, D. A.; PALM, F. C. Wald criteria for jointly testing equality and inequality restrictions. **Econometrica**, Washington, v. 54, n. 5, p. 1243-1248, set. 1986.
- KUBITZA, F. Aquicultura no Brasil: principais espécies, áreas de cultivo, rações, fatores limitantes e desafios. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 150, jul./ago. 2015.
- LISBOA FILHO, W.; CARLINI JUNIOR, R. J.; LUCENA, H. A. de; SILVA, F. S. C. M. da. **A Carcinicultura como uma viável e promissora alternativa econômica para a Região Nordeste**. Disponível em: <www.sober.org.br/palestra/2/1096.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2016.
- LIU, C.; LAPORTE, A.; FERGUSON, B. S. The quantile regression approach to efficiency measurement: insights from Monte Carlo simulations. **Health Economics**, New York, v. 17, n. 9, p. 1073-1087, Sept. 2008.
- LOVELL, C. A. K.; SCHIMIDT, P. A. Comparasion of alternative approaches to the measurement of productive efficiency. **Applications of modern production theory**. Boston: Kluwer Academic Publishers, p. 3-32, 1988.
- MAGALHÃES, M. S. E. **Cultivo de *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931) em sistema multifásico**. 2004. 60 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aquicultura) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2004.
- MEEUSEN, W.; BROECK, J. V. D. Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. **International Economic Review**, Santiago, n. 18, p. 435-444, 1977.
- MOSS, K. K.; MOSS, S. M. Effects of artificial substrate and stocking density on the nursery production of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. **Journal of the World Aquaculture Society**, Malden MA, n. 35, p. 536-542, 2004.
- NASCIMENTO, M. L. **Análise dos perigos associados ao camarão *Litopenaeus vannamei* no Brasil**. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

O'DONNELL C. J.; RAO, D.S.P.; BATTESE, G.E. Metafrontier frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios. **Empirical Economics**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 231-255, 2008.

OLIVEIRA, I.R. **Utilização da análise envoltória de dados (DEA), no diagnóstico da eficiência de cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931).** Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística Aplicada) - Universidade Federal de Pernambuco. 2008. 51 f. Recife, 2008.

OSTRENSKY, A.; PESTANA, D. Avaliação das taxas de crescimento de *Farfantepenaeus paulensis* (Pérez-Farfante, 1967) em viveiros de cultivo. **Archives of Veterinary Science**. Curitiba, v. 5, n. 1, p. 5-15, 2000.

RASHID, M. H. A.; CHEN, J. Technical efficiency of shrimp farmers in Bangladesh: a stochastic frontier production Function analysis. **Bangladesh Journal of Agricultural Economics XXV**, St. Paul, Minnesota, n. 2, p. 15-31, 2002.

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

REIS, R. P.; RICHETTI, A.; LIMA, A. L. R. Eficiência econômica na cultura do café: um estudo no sul de Minas Gerais. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 50-59, 10 set. 2005.

RIVERA, E. B. B. de R.; COSTANTIN, P. D. **Produtividade total dos fatores nas principais lavouras de grãos brasileiras: análise de fronteira estocástica e índice de Malmquist.** São Paulo-SP, 2007. 18 p. Centro de Ciências Sociais e Aplicadas, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2007.

ROCHA, I. P.; RODRIGUES, J. A carcinicultura brasileira em 2002. **Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão**, ano 5, n. 1, p. 30-45, 2003.

ROCHA, I.; BORBA, M.; NOGUEIRA, J. Censo setorial do camarão em 2011. **Panorama da Aquicultura**, 2012. Disponível em: <<http://www.panoramadaaquicultura.com.br/novosite/?p=1311>>. Acesso em: 03 out. 2015.

RODRIGUES, J.; BORBA, M. Carcinicultura brasileira: estatísticas e revelações. **Revista Feed & Food**, São Paulo, Ano VII, n. 72, abr. 2013. Disponível em: <<http://www.revistafeedfood.com.br/pub/curuca/index.jsp?ipg=86345>>. Acesso em: 04 out. 2015.

SAMPAIO, Y.; COUTO, E. **Geração de empregos diretos e indiretos na cadeia produtiva do camarão marinho cultivado.** Universidade Federal de Pernambuco, Recife. p. 15, fev. 2008. Disponível em: <http://abccam.com.br/site/wp-content/uploads/2012/09/GERAO_DE_EMPREGOS_-_tese.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2016.

SANTOS, C. J. A.; SANTOS, D. L.; MENDES, P. P. Uso de modelos matemáticos para avaliação das variáveis de manejo de *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931). **CTAPESCA-Acta fisheries and aquaculture/Acta Pesca e Aquicultura**, São Paulo, n. 2, n. 2, 2015.

SANTOS, V. F.; VIEIRA, W. C.; RUFINO, J. L. S.; LIMA, J. R. F. de. Análise da eficiência técnica de talhões de café irrigados e não-irrigados em Minas Gerais: 2004-2006. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Florianópolis, v. 47, n. 3, 2009, p. 677-698.

SILVA, F. D. V.; CARVALHO, R. M.; CAMPOS, R. T. Análise da eficiência técnica dos produtores de leite do estado do Ceará. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 55., 2007, Londrina. **Anais...** Londrina, p. 21, 2007.

SILVA, J. L. M.; SAMPAIO, L. M. B. Eficiência, gestão e meio ambiente na carcinicultura do Rio Grande do Norte. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Florianópolis, v. 47, n. 4, p. 883-902, 2009.

SIVARAMAN, I. et al. Technical Efficiency of Shrimp Farming in Andhra Pradesh: Estimation and Implications. **Current World Environment**, Madhya Pradesh, v. 10, n. 1, p. 199-205, 2015.

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

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

TORESAN, L. **Sustentabilidade e desempenho produtivo na agricultura: uma abordagem multidimensional aplicada a empresas agrícolas**. 1998. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

TUPY, O.; YAMAGUCHO, L. C. T. Eficiência e produtividade: conceitos e medição. **Revista Agricultura em São Paulo**, São Paulo-SP, v. 45, p. 39-51, 1998.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Ranking de eficiência técnica dos produtores do estado do Ceará (BATTESE; COELLI, 1995).

<i>Ranking</i>	<i>Produtor</i>	<i>ET</i>	<i>Ranking</i>	<i>Produtor</i>	<i>ET</i>
1°	25	0,9080	51°	46	0,6330
2°	81	0,8678	52°	61	0,6314
3°	11	0,8647	53°	18	0,6302
4°	45	0,8641	54°	47	0,6225
5°	20	0,8632	55°	41	0,6224
6°	75	0,8631	56°	13	0,6058
7°	67	0,8560	57°	57	0,5905
8°	23	0,8443	58°	10	0,5863
9°	78	0,8374	59°	59	0,5813
10°	74	0,8063	60°	28	0,5605
11°	58	0,8041	61°	73	0,5487
12°	22	0,7997	62°	96	0,5470
13°	40	0,7916	63°	84	0,5449
14°	51	0,7793	64°	69	0,5440
15°	87	0,7637	65°	2	0,5399
16°	17	0,7626	66°	71	0,5374
17°	65	0,7584	67°	63	0,5197
18°	53	0,7551	68°	98	0,5197
19°	80	0,7534	69°	97	0,4961
20°	49	0,7517	70°	54	0,4699
21°	16	0,7342	71°	32	0,4683
22°	43	0,7325	72°	82	0,4651
23°	99	0,7315	73°	19	0,4448
24°	56	0,7314	74°	24	0,4418
25°	83	0,7177	75°	35	0,4408
26°	42	0,7160	76°	92	0,4251
27°	1	0,7113	77°	36	0,4118
28°	30	0,7101	78°	100	0,4107
29°	33	0,7076	79°	15	0,4063
30°	34	0,7049	80°	4	0,4037
31°	68	0,7014	81°	94	0,3986
32°	29	0,6977	82°	37	0,3921
33°	77	0,6952	83°	55	0,3828
34°	88	0,6944	84°	91	0,3797
35°	44	0,6903	85°	93	0,3795
36°	5	0,6891	86°	6	0,3781
37°	85	0,6838	87°	95	0,3756
38°	21	0,6817	88°	31	0,3648
39°	3	0,6807	89°	62	0,3613
40°	39	0,6777	90°	79	0,3559
41°	72	0,6694	91°	66	0,3394
42°	50	0,6691	92°	26	0,3265
43°	12	0,6641	93°	8	0,3223
44°	76	0,6631	94°	38	0,2286
45°	14	0,6631	95°	64	0,2176
46°	60	0,6626	96°	9	0,2061
47°	7	0,6591	97°	90	0,1837
48°	70	0,6436	98°	86	0,1828
49°	52	0,6382	99°	27	0,1812
50°	89	0,6360	100°	48	0,1774

Fonte: elaboração dos autores a partir dos dados da pesquisa.

Ranking de eficiência técnica dos produtores do estado do Ceará (BATTESE; COELLI, 1992).

<i>Ranking</i>	<i>Produtor</i>	<i>ET*</i>	<i>Ranking</i>	<i>Produtor</i>	<i>ET*</i>
1°	25	0,8977	51°	71	0,6387
2°	20	0,8760	52°	46	0,6297
3°	11	0,8745	53°	52	0,6296
4°	81	0,8719	54°	50	0,6233
5°	75	0,8450	55°	89	0,6191
6°	78	0,8432	56°	85	0,6179
7°	67	0,8399	57°	88	0,6015
8°	17	0,8310	58°	57	0,5995
9°	23	0,8278	59°	24	0,5935
10°	74	0,8195	60°	41	0,5884
11°	45	0,8162	61°	98	0,5737
12°	22	0,8136	62°	59	0,5628
13°	51	0,8051	63°	69	0,5494
14°	58	0,8041	64°	63	0,5483
15°	40	0,8030	65°	73	0,5356
16°	49	0,7929	66°	32	0,5331
17°	87	0,7912	67°	84	0,5316
18°	16	0,7780	68°	96	0,5258
19°	18	0,7577	69°	19	0,5194
20°	61	0,7538	70°	26	0,5191
21°	5	0,7515	71°	28	0,5072
22°	33	0,7505	72°	82	0,5057
23°	29	0,7473	73°	2	0,5039
24°	7	0,7425	74°	54	0,4935
25°	56	0,7407	75°	8	0,4923
26°	34	0,7402	76°	92	0,4878
27°	53	0,7378	77°	97	0,4859
28°	21	0,7360	78°	35	0,4507
29°	99	0,7343	79°	15	0,4313
30°	3	0,7311	80°	100	0,4157
31°	60	0,7297	81°	94	0,4036
32°	30	0,7273	82°	93	0,4016
33°	42	0,7170	83°	37	0,3943
34°	65	0,7057	84°	4	0,3879
35°	1	0,7049	85°	36	0,3810
36°	14	0,7039	86°	6	0,3751
37°	13	0,6948	87°	91	0,3749
38°	47	0,6927	88°	62	0,3736
39°	83	0,6905	89°	95	0,3673
40°	72	0,6903	90°	79	0,3664
41°	80	0,6856	91°	31	0,3584
42°	12	0,6836	92°	55	0,3566
43°	43	0,6806	93°	66	0,3286
44°	77	0,6688	94°	9	0,3120
45°	76	0,6560	95°	38	0,2764
46°	10	0,6553	96°	27	0,2271
47°	44	0,6552	97°	64	0,2240
48°	70	0,6514	98°	86	0,1590
49°	68	0,6514	99°	90	0,1559
50°	39	0,6416	100°	48	0,1474

Fonte: elaboração dos autores a partir dos dados da pesquisa.

Ranking de eficiência técnica dos produtores do Rio Grande do Norte (BATTESE; COELLI, 1992).

<i>Ranking</i>	Produtor	ET*	<i>Ranking</i>	Produtor	ET*
1°	94	0,6573	57°	49	0,4798
2°	43	0,6455	58°	97	0,4739
3°	22	0,6377	59°	3	0,4717
4°	67	0,6234	60°	33	0,4692
5°	87	0,6176	61°	112	0,4686
6°	95	0,6167	62°	64	0,4683
7°	93	0,6099	63°	56	0,4634
8°	14	0,6015	64°	75	0,4579
9°	15	0,6015	65°	10	0,4553
10°	42	0,5995	66°	21	0,4478
11°	39	0,5983	67°	41	0,4452
12°	66	0,5941	68°	6	0,4402
13°	31	0,5892	69°	51	0,4386
14°	103	0,5829	70°	105	0,4371
15°	72	0,5763	71°	74	0,4359
16°	69	0,5735	72°	19	0,4351
17°	5	0,5665	73°	108	0,4346
18°	77	0,5623	74°	11	0,4319
19°	85	0,5560	75°	96	0,4172
20°	73	0,5530	76°	9	0,4142
21°	106	0,5517	77°	58	0,4081
22°	27	0,5446	78°	53	0,4079
23°	63	0,5419	79°	35	0,4076
24°	99	0,5406	80°	104	0,4064
25°	52	0,5379	81°	29	0,4007
26°	92	0,5376	82°	2	0,3993
27°	62	0,5366	83°	82	0,3951
28°	24	0,5193	84°	16	0,3749
29°	71	0,5172	85°	76	0,3636
30°	68	0,5147	86°	8	0,3623
31°	25	0,5138	87°	1	0,3588
32°	37	0,5129	88°	57	0,3584
33°	89	0,5110	89°	83	0,3580
34°	88	0,5109	90°	65	0,3539
35°	32	0,5087	91°	91	0,3537
36°	20	0,5080	92°	40	0,3501
37°	55	0,5043	93°	54	0,3474
38°	4	0,5043	94°	98	0,3440
39°	23	0,5043	95°	18	0,3394
40°	59	0,5015	96°	50	0,3348
41°	34	0,4991	97°	45	0,3325
42°	109	0,4981	98°	86	0,3308
43°	70	0,4960	99°	46	0,3254
44°	30	0,4951	100°	78	0,3243
45°	90	0,4948	101°	17	0,3185
46°	48	0,4926	102°	110	0,2896
47°	111	0,4922	103°	44	0,2884
48°	100	0,4899	104°	26	0,2867
49°	61	0,4897	105°	101	0,2734
50°	28	0,4896	106°	38	0,2702
51°	13	0,4879	107°	80	0,2642
52°	102	0,4871	108°	47	0,2625
53°	81	0,4844	109°	36	0,2368
54°	60	0,4842	110°	79	0,2044
55°	12	0,4840	111°	107	0,1954
56°	7	0,4836	112°	84	0,1608

Fonte: elaboração dos autores a partir dos dados da pesquisa.