

Universidade de Évora - Instituto de Investigação e Formação Avançada

Programa de Doutoramento em Gestão

Tese de Doutoramento

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA DAS PEQUENAS
PROPRIEDADES RURAIS DO PROJETO DE IRRIGAÇÃO
SENADOR NILO COELHO**

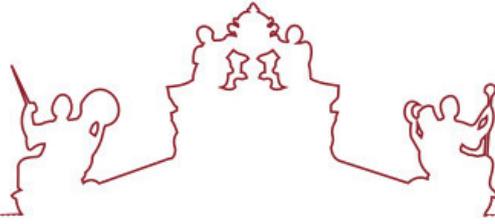
Edilson Pinheiro Araújo

Orientador(es) | Luís Alberto Godinho Coelho

Andreia Teixeira Marques Dionísio Basílio

Évora 2020





Universidade de Évora - Instituto de Investigação e Formação Avançada

Programa de Doutoramento em Gestão

Tese de Doutoramento

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA DAS PEQUENAS
PROPRIEDADES RURAIS DO PROJETO DE IRRIGAÇÃO
SENADOR NILO COELHO**

Edilson Pinheiro Araújo

Orientador(es) | Luís Alberto Godinho Coelho

Andreia Teixeira Marques Dionísio Basílio

Évora 2020



Provas Públicas de Doutoramento em Gestão

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA DAS PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS
DO PROJETO DE IRRIGAÇÃO SENADOR NILO COELHO**

Candidato: **Edilson Pinheiro Araújo**

Júri

Doutor Carlos Alberto Falcão Marques – Presidente

Professor Catedrático da Universidade de Évora, por delegação do Diretor do Instituto de Investigação e Formação Avançada

Doutor José Rui de Matos Figueira – Vogal

Professor Associado com Agregação do IST – Universidade de Lisboa

Doutor Sérgio Pereira dos Santos – Vogal

Professor Associado da Universidade do Algarve

Doutor Pedro Damião de Sousa Henriques – Vogal

Professor Associado da Universidade de Évora

Doutora Ana Alexandra Vilela Marta Rio Costa – Vogal

Professora Auxiliar da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Doutor Luís Alberto Godinho Coelho – Vogal

Professor Auxiliar da Universidade de Évora (orientador)

Dia 18 de junho de 2020 | 15h

Sala 205 – Palácio do Vimioso – Colégio do Espírito Santo

Universidade de Évora



AGRADECIMENTOS

A Tese de Doutorado tornou-se possível devido aos estímulos demonstrados por familiares, amigos, colegas, professores e instituições. A todos eles, os meus agradecimentos pela concretização deste sonho em terras tão distantes das minhas origens. Dedico-a à minha esposa Rose, pelo auxílio nos momentos mais difíceis e ela bem sabe quais foram; aos meus filhos Gabriel e Gustavo por compreenderem os períodos distante deles; aos meus orientadores, professor Luís Coelho e professora Andreia Dionísio pela paciência e compreensão. Aos amigos Umarac e Neuma pela acolhida em Évora e pelo suporte nos momentos difíceis nos estudos. Ao meu irmão Lincoln e à minha cunhada Rosa, que também foram importantes nesta minha caminhada; aos colegas Deranor e Valdner, que foram os inspiradores da minha ida para a Universidade de Évora e por fim, às instituições cujos apoios foram fundamentais para a realização do Doutorado: UNIVASF, Universidade de Évora, DINC e a CODEVASF.

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA DAS PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS DO PROJETO DE IRRIGAÇÃO SENADOR NILO COELHO

RESUMO

Este estudo tem como objetivo apresentar uma análise da eficiência dos produtores agrícolas do Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, com sede na cidade de Petrolina-PE, referente aos anos de 2011, 2012 e 2013. Através da aplicação do método two-stage DEA — Data Envelopment Analysis, que permite a identificação dos determinantes da eficiência numa segunda etapa.

Inicialmente foi feita uma caracterização do perfil do produtor utilizando a Análise de Clusters. A eficiência foi calculada através dos modelos de rendimentos constantes à escala e rendimentos variáveis à escala para se obter a medida de eficiência técnica dos produtores. Na segunda etapa da análise de eficiência foram aplicados modelos de eficiência DEA com Bootstrap para aumentar a robustez dos resultados, e uma regressão através do modelo econométrico de regressão Tobit para identificar os fatores determinantes que influenciam a eficiência dos produtores.

Os resultados obtidos indicam que a eficiência dos produtores tem sido relativamente baixa no período analisado, e que o inputs “terra” e “trabalho” foram cruciais para o grande número de produtores ineficientes. Os escores de eficiência corrigidos foram cruzados com a análise de cluster e mostram que os produtores que estão no Cluster 2, na média são mais eficientes do que aqueles que se encontram no Cluster 1. Dentre os 86 produtores que atingiram 80% de eficiência técnica, 29% são produtores de uva. Estes produtores são os que detém maior escolaridade, associativismo, controle financeiro, consultoria particular, os que mais exportam e se atualizam e na sua maioria estão entre 40 e 60 anos. A análise dos fatores determinantes da eficiência teve por base a aplicação do modelo Tobit, permitindo constatar que a idade, a escolaridade e o controle de custos financeiros estão correlacionados positivamente à eficiência dos produtores.

Palavras-chaves: DEA, Fruta, Agricultura, Irrigação, Petrolina-PE.

ANALYSIS OF THE TECHNICAL EFFICIENCY OF SMALL RURAL PROPERTIES OF THE SENATOR NILO COELHO IRRIGATION PROJECT

ABSTRACT

This study aims to present an analysis of the efficiency of agricultural producers of the Senator Nilo Coelho Irrigation Project, based in the city of Petrolina-PE, for the years 2011, 2012 and 2013. Through the application of the DEA method in two stages — Data Envelopment Analysis, which allows an identification of the efficiency determinants of the second phase.

Initially a characterization of the producer profile was made using Cluster Analysis. Efficiency was calculated using models of constant returns to scale and variable returns to scale to obtain the measure of technical efficiency of producers. In the second stage of the efficiency analysis, DEA efficiency models with Bootstrap were applied to increase the robustness of the results, and a regression through the Tobit regression econometric model to identify the determining factors that influence the efficiency of the producers.

The results obtained indicate that the efficiency of the producers has been relatively low in the analyzed period, and that the inputs "land" and "labor" were crucial for the large number of inefficient producers. The corrected efficiency scores were crossed with the cluster analysis and show that the producers who are in Cluster 2, on average, are more efficient than those who are in Cluster 1. Among the 86 producers who reached 80% technical efficiency, 29% are grape producers. These producers are the ones with the greatest education, associativism, financial control, private consultancy, the ones who export and update the most and most of them are between 40 and 60 years old. The analysis of the determinants of efficiency was based on the application of the Tobit model, showing that age, education and financial cost control are positively correlated to the efficiency of producers.

Keys words: DEA, Fruit, Agriculture, Irrigation, Petrolina-PE.

ÍNDICE

Capítulo I – INTRODUÇÃO	1
1.1 A importância dos perímetros irrigados para a economia do Vale do São Francisco	2
1.2 Problema da pesquisa	8
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo Geral	8
1.3.2 Objetivos Específicos	9
1.4 Justificativa e contribuições do estudo	9
1.5 Estrutura organizacional do trabalho	10
Capítulo II – PROJETO DE IRRIGAÇÃO SENADOR NILO COELHO.....	11
2.1 Irrigações no Brasil	12
2.2 Histórico sobre a irrigação no Vale do Submédio São Francisco	14
2.3 Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho	17
2.3.1 Localização	17
2.3.2 Características do clima	18
2.3.3 Estrutura do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho	19
Capítulo III – CONCEITOS DE EFICIÊNCIA	21
3.1 Primeiros estudos sobre a eficiência em unidades de produção	22
3.1.1 Medidas com orientação <i>input</i>	25
3.1.2 Medidas com orientação <i>output</i>	26
3.2 Técnicas de mensuração da eficiência	28
3.3 Surgimento da Análise Envoltória de Dados (<i>Data Envelopment Analysis</i> — DEA)	31
3.4 Estudos utilizados em atividades rurais	34
3.4.1 Modelos DEA CRS e VRS	34
3.4.2 Modelos DEA e SFA (Análise de Fronteira Estocástica)	41
3.4.3 Modelos DEA e TFP (Produtividade Total dos Fatores)	42
3.4.4 Modelo DEA e a Técnica <i>Bootstrap</i>	44
3.4.5 Modelos DEA e de Regressão	46
3.4.6 Modelos DEA, de Regressão e a Técnica <i>Bootstrap</i>	49
Capítulo IV – METODOLOGIA	56
4.1 Os modelos	57

4.1.1	Modelo CCR.....	58
4.1.2	Modelo BCC.....	60
4.1.3	DEA- <i>Bootstrap</i>	62
4.1.4	<i>Tobit</i>	64
4.2	Análise de <i>Clusters</i>	66
4.3	Montagem da Base de Dados.....	67
4.3.1	Elaboração do Questionário.....	67
4.3.2	Definição das Variáveis.....	68
4.3.3	Cálculo da Amostra.....	69
4.3.4	<i>Software</i>	70
4.3.5	Preparação dos arquivos de dados para análise.....	70
Capítulo V – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....		72
5.1	Análise descritiva dos produtores do Projeto Senador Nilo Coelho.....	73
5.2	Análise de <i>Cluster</i>	76
5.2.1	Caracterização do perfil do produtor.....	77
5.2.2	Caracterização do perfil da propriedade.....	79
5.3	Análise de modelos DEA.....	84
5.3.1	Análise dos modelos DEA utilizados para os anos de 2011, 2012 e 2013 por cultura.....	86
5.3.1.1	Análise dos Produtores de Acerola.....	86
5.3.1.2	Análise dos Produtores de Banana.....	89
5.3.1.3	Análise dos Produtores de Coco.....	91
5.3.1.4	Análise dos Produtores de Goiaba.....	93
5.3.1.5	Análise dos Produtores de Manga.....	95
5.3.1.6	Análise dos Produtores de Uva.....	97
5.4	Análise do perfil dos produtores eficientes com os aspectos qualitativos.....	99
5.5	Análise utilizando o DEA <i>Bootstrap</i>	103
5.6	Eficiência VRS- <i>Bootstrap</i> por <i>Cluster</i>	106
5.7	Identificação dos fatores determinantes da eficiência dos produtores do Projeto Senador Nilo Coelho.....	108
5.8	Síntese.....	109
Capítulo VI – CONCLUSÕES.....		111
6.1	Limitações do estudo e sugestões de investigação futura.....	115



BIBLIOGRAFIA	117
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SOCIOECONÓMICO	126
APÊNDICE B – DENDOGRAMA	128
APÊNDICE C – FOLGAS POR CULTURA PARA OS ANOS 2011, 2012 E 2013	129

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Perímetros implantados	15
Tabela 2 – Projetos de irrigação na região do submédio São Francisco Petrolina- PE/Juazeiro-BA.....	16
Tabela 3 – Volume das exportações de frutas frescas brasileiras em 2017	17
Tabela 4 – Estatística descritiva dos produtores	74
Tabela 5 – Estatística descritiva das propriedades	74
Tabela 6 – Valor médio das variáveis no período de 2011 a 2013	75
Tabela 7 – Estatística descritiva dos grupos obtidos com a análise de <i>clusters</i>	76
Tabela 8 – Teste de comparação de médias	77
Tabela 9 – Nível de escolaridade	78
Tabela 10 – Idade dos produtores	78
Tabela 11 – Gênero dos produtores	79
Tabela 12 – Tempo de permanência no lote	80
Tabela 13 – Assistência técnica	80
Tabela 14 – Cooperativa ou associações.....	81
Tabela 15 – Controle financeiro-contábil	81
Tabela 16 – Exportação.....	82
Tabela 17 – Atualização de conhecimentos agrícolas.....	83
Tabela 18 – Eficiência dos produtores de acerola, segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala.....	87
Tabela 19 – Distribuição dos produtores de acerola segundo o tipo de rendimento.....	88
Tabela 20 – Principais <i>benchmarks</i> para os produtores de acerola ineficientes ao considerar os rendimentos variáveis à escala.....	89
Tabela 21 – Eficiência dos produtores de banana segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala.....	90
Tabela 22 – Distribuição dos produtores de banana, segundo o tipo de rendimento.....	91
Tabela 23 – Principais <i>benchmarks</i> para os produtores de banana ineficientes ao considerar os rendimentos variáveis à escala.....	91
Tabela 24 – Eficiência dos produtores de coco segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala.....	92
Tabela 25 – Distribuição dos produtores de coco segundo o tipo de rendimento.....	92

Tabela 26 – Principais <i>benchmarks</i> para os produtores de coco ineficientes ao considerar os rendimentos variáveis à escala.....	93
Tabela 27 – Eficiência dos produtores de goiaba segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala.....	94
Tabela 28 – Distribuição dos produtores de goiaba segundo o tipo de rendimento	94
Tabela 29 – Principais <i>benchmarks</i> para os produtores de goiaba ineficientes ao considerar os rendimentos variáveis à escala.....	95
Tabela 30 – Eficiência dos produtores de manga segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala.....	96
Tabela 31 – Distribuição dos produtores de manga segundo o tipo de rendimento	96
Tabela 32 – Principais <i>benchmarks</i> para os produtores de manga ineficientes ao considerar os rendimentos variáveis à escala.....	97
Tabela 33 – Eficiência dos produtores de uva segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala.....	98
Tabela 34 – Distribuição dos produtores de uva segundo o tipo de rendimento	98
Tabela 35 – Principais <i>benchmarks</i> para os produtores de uva ineficientes ao considerar rendimentos variáveis à escala	99
Tabela 36 – Escolaridade dos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80.....	100
Tabela 37 – Tempo no lote dos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80	100
Tabela 38 – Idade dos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80.....	101
Tabela 39 – Gênero dos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80.....	101
Tabela 40 – Assistência técnica dos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80.....	102
Tabela 41 – Participações em cooperativas ou associações pelos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80.....	102
Tabela 42 – Exportação pelos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80	102
Tabela 43 – Controle financeiro-contábil dos produtores que obtiveram eficiência	

média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80	103
Tabela 44 – Atualização de conhecimentos pelos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80	103
Tabela 45 – Produtores de banana 2012, níveis de eficiência do modelo DEA-VRS e seus resultados com relação aos níveis de eficiência <i>Bootstrap</i> , o viés estimado, e o intervalo de confiança para um nível de significância de 5% e 2.000 reaplicações	104
Tabela 46 – Média de eficiência técnica e corrigida.....	105
Tabela 47 – Eficiência corrigida por <i>Cluster</i> (anos 2011, 2012 e 2013)	106
Tabela 48 – Teste de comparação das médias anuais das eficiências entre os 2 <i>clusters</i>	107
Tabela 49 – Fatores determinantes da ineficiência técnica dos produtores do Projeto Senador Nilo Coelho	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização, abrangência e subdivisão do Vale do São Francisco	18
Figura 2 – Medidas com orientação <i>input</i>	25
Figura 3 – Medidas com orientação <i>output</i>	27
Figura 4 – Métodos de avaliação de eficiência.....	31
Figura 5 – Fronteira de possibilidades de produção com rendimentos variáveis	60

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Infraestrutura básica do perímetro irrigado	19
Quadro 2 – Distribuição dos lotes (Setor Nilo Coelho)	20
Quadro 3 – Resumo dos investigadores citados com os modelos e <i>inputs/outputs</i> utilizados	52
Quadro 4 – Frequência dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> utilizados pelos investigadores	55
Quadro 5 – Variáveis investigadas	69
Quadro 6 – Etapas da pesquisa	70
Quadro 7 – Comparativo das características predominantes por variáveis para cada <i>cluster</i>	84

LISTA DE ABREVIATURAS

AGROSTAT	– Estatística da Organização para Agricultura e Alimentação
BCC	– Banker, Charnes e Cooper
BIRD	– Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
CCR	– Charnes, Cooper e Rhodes
CODEVASF	– Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco
CVSF	– Comissão do Vale do São Francisco
DDD	– Discagem Direta a Distância
DDI	– Discagem Direta Internacional
DEA	– <i>Data Envelopment Analysis</i>
DINC	– Distrito de Irrigação Nilo Coelho
DMU	– <i>Decision Making Unit</i>
EBC	– Empresa Brasileira de Comunicação
EBDA	– Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola
EMBRAPA	– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMBRATEL	– Empresa Brasileira de Telecomunicações
FAO	– <i>Food and Agriculture Organization</i>
FHD	– <i>Free Disposal Hull</i>
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
IBRAF	– Instituto Brasileiro de Frutas
IPA	– Instituto Agrônomo de Pernambuco
MDIC	– Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
NIRS	– Rendimentos Não Crescentes à Escala
ONU	– Organização das Nações Unidas
PAC	– Política Agrícola Comum
PIB	– Produto Interno Bruto
PLANTEC	– Planejamento e Engenharia Agrícola Ltda.
RCE	– Rendimentos Constantes à Escala
RICA	– Rede de Informação Contabilística
RNC	– Rendimentos Não Crescentes à Escala
RND	– Rendimentos Não Decrescentes à Escala
RVE	– Rendimentos Variáveis à Escala

- 
- SFA – *Stochastic Frontier Approach*
- SUVALE – Superintendência do Vale do São Francisco
- TFP – Produtividade Total dos Fatores
- EU – União Europeia
- VALEEXPORT – Associação dos Exportadores de Hortigranjeiros e Derivados do Vale do São Francisco
- VBP – Valor Bruto de Produção
- VRS – *Variable Return Scale*



Capítulo I – INTRODUÇÃO

1.1 A importância dos perímetros irrigados para a economia do Vale do São Francisco

A irrigação é o principal instrumento utilizado pela Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF) para promover o desenvolvimento, estimular a modernização da agricultura, a instalação de agroindústrias e o fomento à economia regional.

O Brasil ocupa a terceira posição no ranking mundial dos maiores produtores de frutas, com produção anual de 39,3 milhões de toneladas. A China e a Índia ocupam, respectivamente, os dois primeiros lugares. No Brasil, o Vale do São Francisco caracteriza-se como um dos maiores produtores de frutas do país e, dentre estas, destacam-se a uva e a manga (FAO, 2012).

Segundo o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), no ano de 2012, 10 municípios participaram com quase 70% das exportações de frutas do Brasil, sendo um da região Sul e nove da região Nordeste. Isto mostra a importância das cidades nordestinas nas exportações de frutas e em especial a cidade de Petrolina-PE, onde se encontra o Projeto Senador Nilo Coelho. Este município brasileiro, no ano de 2012, foi o que mais exportou frutas frescas, ao conseguir uma faturação próxima de US\$ 119,5 milhões.

A natureza nesta região oferece um clima propício e terras com grande potencial para o desenvolvimento da agricultura irrigada, notadamente, para a fruticultura. Fatores climáticos e a participação decisiva da CODEVASF na implantação de infraestrutura para irrigação estão a transformar o semiárido nordestino numa grande área de oportunidades e realizações de negócios.

Para Wonnacott e Wonnacott (1994, p. 01), a vantagem comparativa de um país é o produto que ele pode produzir relativamente mais barato do que outros países no comércio internacional. No caso específico do Vale do São Francisco, observam-se culturas que são colhidas mais vezes no período de um ano, com alto padrão de qualidade e com custos menores. Estas características não são observadas em outras regiões.

As principais particularidades da região do Polo Petrolina-PE e Juazeiro-BA que

se apresentam com vantagens comparativas para a agricultura, são:

- a) Temperatura média anual de 27° C;
- b) precipitação média anual em torno de 350mm;
- c) insolação de 3.000 horas/ano, com 300 dias de sol/ano;
- d) evaporação em torno de 2.100 mm/ano;
- e) altitude média de 365 metros;
- f) lago de Sobradinho com 4.214 km² e capacidade de armazenamento de 34 trilhões de litros de água.

A região semiárida do Nordeste brasileiro, pela sua baixa produção agrícola ou de subsistência, sempre se caracterizou como uma região subdesenvolvida. A implantação dos projetos irrigados públicos tem modificado a paisagem de um sertão desolador para uma região produtiva, que gera empregos e melhora a condição de vida dos agricultores de baixa renda.

Queiroz e Sampaio (2001, p. 1) afirmam que desde a instalação da agricultura irrigada no polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA na década de 1960, que o referido polo está a passar por grandes mudanças com o crescimento e o desenvolvimento da região. Os principais pontos que podem ser citados que auxiliaram na implantação dos projetos foram:

- a) Construção da ponte rodoferroviária — em 1959 — ligando a cidade de Juazeiro-BA à Petrolina-PE. Esta ponte possibilitou ainda a ligação da cidade de Petrolina-PE à cidade de Salvador, no estado da Bahia;
- b) pavimentação das rodovias BR-232 e BR-235;
- c) as cidades tiveram implantados os sistemas DDD e DDI da EMBRATEL (Empresa Brasileira de Telecomunicações);
- d) ampliação do aeroporto de Petrolina-PE que tornou possível o pouso de grandes e modernas aeronaves.

No polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA encontram-se implantadas a 3^a e a 6^a Superintendências Regionais da CODEVASF, além da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), escritórios de empresas estaduais de pesquisas da Bahia e Pernambuco, agentes financeiros, escolas técnicas e agrotécnicas, uma faculdade, duas universidades estaduais e uma federal, com a oferta do curso de Agronomia. Além



destas instituições tem-se assistido, mais recentemente, a um crescimento da infraestrutura logística, um instrumento efetivo de viabilização das exportações de frutas produzidas no Vale do São Francisco, tendo em vista o grande potencial e o direcionamento da produção para exportação.

Os investimentos feitos nesta região criaram boas condições e fizeram com que empresas e famílias passassem a interessar-se pelo cultivo em larga escala de produtos de alta rentabilidade. Queiroz e Sampaio (2001, p. 2) destacam que com a instalação dos polos de irrigação foram criadas algumas áreas destinadas às empresas e outras destinadas aos colonos. A diferença entre elas é bastante clara, pois os colonos possuem áreas em torno de 7 hectares, enquanto que as empresas possuem áreas em torno de 50 hectares. Os colonos recebem assistência técnica do governo, que inclui a implantação do sistema de irrigação, enquanto as empresas são responsáveis pela gestão completa do lote, embora ambas sejam beneficiadas pelo “crédito oficial”. Isso tudo contribuiu para que o polo tenha uma produção frutícola destacada à escala nacional pela sua grande variedade, qualidade e quantidade produzida, e que parte da sua produção é exportada para vários países.

A fruticultura irrigada proporcionou um grande impulsionamento na economia da cidade de Petrolina-PE e região, ao formar uma população urbana mais próspera no Vale do São Francisco. O crescimento regional atraiu não só os imigrantes nordestinos, principalmente os que sofriam com a falta de chuvas regulares nas suas terras, mas também grandes empresas, com objetivo de produção e exportação.

O Governo Federal, ao perceber o grande potencial do Vale, investiu em empresas de pesquisa para estudar as culturas mais adequadas para o cultivo, como também o processo de comercialização. Com os estudos, o projeto mudou o foco no seu sistema produtivo, mudou de culturas anuais para a fruticultura, e passou a ter como alvos os mercados interno e externo.

Com a expansão e a reestruturação da agricultura irrigada, no início dos anos 90, ocorreram fortes mudanças económicas e sociais na cidade, surgiu então um polo regional da agricultura irrigada denominado Petrolina-PE/Juazeiro-BA. Petrolina-PE no estado de Pernambuco e Juazeiro-BA no estado da Bahia. A grande oferta de empregos produziu um crescimento urbano e aumento do consumo interno. Isto repercutiu-se

fortemente no crescimento do produto interno bruto, principalmente na cidade de Petrolina-PE.

Barros e Sampaio (2001, p. 1) em investigação realizada em 1998, estudaram os impactos diretos e indiretos sobre o emprego e a renda na área do polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA, e concluíram que tanto o emprego como a produção agrícola cresceram devido à implantação dos perímetros irrigados no Vale do São Francisco e que a irrigação é uma das principais ações de impacto no semiárido do Nordeste.

A área do polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA, em virtude dos impactos gerados pela irrigação, tem-se destacado no contexto dos mercados globalizados. Através de uma crescente participação na exportação, com um “leque” considerável de opções em frutas e horticulturas, a área ganhou bases sólidas e a tendência é consolidar-se ainda mais. A orientação da produção antes e após a implantação de perímetros de irrigação públicos e privados, nas décadas de 1970 e 1980, era completamente antagônica. Antes, a produção restringia-se a pequenas unidades produtoras, com a predominância da agricultura de sequeiro, praticada com utilização de técnicas rudimentares. Já após o impulso governamental inicial, os sentidos foram direcionados a uma produção eficiente, eficaz e competitiva, capaz de introduzir-se no mercado externo e ao mesmo tempo atender a demanda interna.

Correia *et al.* (2001, p. 7) analisaram a importância da fruticultura na região do submédio São Francisco e afirmam que a fruticultura irrigada é o principal vetor do desenvolvimento do submédio São Francisco, notadamente das suas cidades polo, Petrolina-PE e Juazeiro-BA, que se constituem em verdadeiros paraísos de desenvolvimento dentro do semiárido brasileiro. Conseqüentemente, com o crescimento da fruticultura desencadeou-se uma sinergia de expansão em praticamente todos os setores produtivos como a indústria, o comércio, o turismo e as áreas de serviços, o que exigiu do governo melhorias nas infraestruturas de uma maneira geral.

Ablas (1988) cita que a irrigação é um instrumento técnico utilizado para organizar e melhorar a produção. Com certeza, o crescimento da cultura interfere na qualidade de vida dos colonos.

Pontes e Carneiro (1979) consideram que a irrigação é um fator preponderante para a otimização no uso dos fatores de produção e que busca, desta forma, alcançar

melhores resultados.

Barros e Sampaio (2001, p. 2) destacam que o impacto maior — da irrigação — foi dado sobre o emprego e a renda. Instalaram-se na área agroindústrias e o polo experimentou enorme crescimento populacional através da migração de pessoas das mais diversas regiões. Os setores secundário e terciário expandiram-se e criaram novos pontos de desenvolvimento. Os impactos diretos, gerados com a implantação da agricultura irrigada, aliados aos impactos indiretos, fizeram o emprego e a renda ascenderem, consideravelmente. Atualmente, diante do novo contexto mundial, a parceria entre colonos e empresas agrícolas, nomeadamente com o aumento gradativo da participação dos colonos, é imprescindível. Ambos contribuem para o contínuo incremento da renda total.

Galvão (1990) salienta que a irrigação impulsiona o surgimento de uma grande quantidade de excedente agrícola. Isto proporciona uma economia com base na exportação e impacta nas atividades agrícolas e não agrícolas no polo de desenvolvimento.

Em sua maioria, os pequenos lotes de colonos enquadram-se na categoria de agricultura familiar, onde o produtor é dono e assume também o papel de trabalhador junto com a família. Compreende-se, também, que a produção do homem do campo não está restrita apenas à necessidade familiar, mas também à venda do excedente para atender o desejo de consumo da família.

A agricultura sendo uma atividade económica, só pode manter-se se for rentável. O proprietário deve encarar a sua propriedade com visão empresarial. Os colonos precisam ter melhores conhecimentos, habilidades e determinação para resolver os seus problemas.

Dentre os vários projetos de irrigação desenvolvidos pela CODEVASF, o Projeto Senador Nilo Coelho é o que tem a maior produção e, conseqüentemente, maior comercialização em todo o Vale do São Francisco.

Este grandioso projeto foi criado há mais de vinte e cinco anos pela CODEVASF, órgão do Governo Federal, e tem uma importância muito grande para a economia regional, pelos seguintes aspectos:

- a) Utiliza recursos inexplorados da água e da terra para a produção;

- b) cria unidades agrícolas familiares a fim de melhorar o padrão de vida dos agricultores;
- c) contribui para o crescimento socioeconômico do polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA por meio da melhoria da produtividade agrícola, aumento da oferta de alimentos para áreas urbanas em expansão e fornecimento de insumos para a indústria local;
- d) geração de empregos diretos e indiretos.

Segundo o MDIC (2012), o valor das frutas exportadas pelo Brasil em 2013 correspondeu a US\$ 878 milhões. A base agrícola da cadeia produtiva das frutas gera milhões de empregos diretos no país.

A cidade de Petrolina-PE, em particular, tem a sua economia concentrada na agricultura com ênfase na fruticultura irrigada; é considerada polo de desenvolvimento do sertão e tem um raio de influência interestadual. A irrigação impulsiona o surgimento de uma grande quantidade de excedente agrícola que proporciona uma economia à base de exportação e impacta nas atividades agrícolas e não agrícolas no polo de desenvolvimento (Galvão, 1990).

O Projeto Senador Nilo Coelho tem como finalidade a melhoria das condições de vida dos produtores rurais, por meio da elevação nos níveis de renda. Portanto, torna-se importante estudar a eficiência destes colonos para se obter uma visão de como se encontra o projeto.

A natureza nesta região oferece um clima propício e terras com grande potencial para o desenvolvimento da agricultura irrigada, notadamente, para a fruticultura. Fatores climáticos e a participação decisiva da CODEVASF na implantação de infraestrutura para irrigação está a transformar o semiárido nordestino numa grande área de oportunidades e realizações de negócios.

Segundo a CODEVASF (2012), o projeto localiza-se entre os municípios de Casa Nova-BA e Petrolina-PE, no submédio São Francisco. A área irrigável é de 18.563 ha (12.520 ha de lotes familiares e 6.043 ha de lotes empresariais) e os principais sistemas de irrigação são microaspersão, aspersão convencional e gotejamento. Com uma produção de 389.798 toneladas de alimentos em 2012, o projeto gerou em torno de 20.000 empregos diretos e 30.000 empregos indiretos.

1.2 Problema da pesquisa

O Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho tem uma grande relevância socioeconômica para a região do submédio do Vale do São Francisco. A fruticultura é responsável por alavancar a economia da região, o PIB agrícola desta região é de aproximadamente 385 milhões de reais e empregou diretamente 16.338 pessoas no ano de 2016.

Encravado no semiárido nordestino, o Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, tem na fruticultura uma atividade competitiva, cujo sol e o rio São Francisco privilegiam, com grandes colheitas e em algumas culturas como a uva, mais de duas colheitas por ano.

Contudo, essa competitividade é observada principalmente nos grandes produtores. Os pequenos produtores situam-se em desvantagem, pois, os grandes produtores além dos ganhos de escala na produção, possuem tecnologias que melhoram os seus resultados.

A competição e sobrevivência existentes na economia global impulsionam as unidades de produção a buscarem melhores produtividades e a conhecer cada vez mais os seus fatores de produção. Farrell (1957) sugeriu que a eficiência de uma unidade fosse avaliada através da comparação com outras de características semelhantes e passou a introduzir o conceito de função de produção.

Devido à alta concorrência faz-se necessário que os pequenos produtores sejam eficientes. Com isto, este trabalho tentará responder a seguinte questão: *Qual o nível de eficiência dos pequenos produtores do Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho?*

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar e explicar os determinantes do nível de eficiência técnica dos pequenos produtores do Projeto de Irrigação Senador

Nilo Coelho no município de Petrolina-PE, estado de Pernambuco (Brasil), entre os anos de 2011 e 2013.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. sistematizar os principais conceitos da literatura sobre eficiência em unidades agrícolas de pequena dimensão;
2. identificar, com o levantamento bibliográfico, quais as variáveis de *inputs* e *outputs* mais utilizadas por investigadores para análise da eficiência;
3. avaliar o perfil dos produtores, por cultura, através das características qualitativas e quantitativas;
4. estimar a eficiência dos produtores por cultura no período de 2011 a 2013;
5. avaliar o nível de eficiência técnica dos produtores por *clusters* no período de 2011 a 2013;
6. identificar os fatores determinantes da eficiência dos produtores do Projeto Senador Nilo Coelho.

1.4 Justificativa e contribuições do estudo

A contribuição científica deste trabalho, advém do facto do estudo abranger um grande projeto na área da agricultura irrigada, e que está nomeadamente relacionado com a avaliação de desempenho dos produtores rurais com multiculturas e com lotes de até 7 hectares. Para além disso, o estudo analisa o produtor rural sem a caracterização de ser exportador ou não. Estudos feitos até então, apresentam amostras estratificadas predominantemente em monoculturas (Araújo *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2016; Lima *et al.*, 2018). Há uma contribuição essencialmente empírica, que se reveste de enorme importância para a gestão agrícola e para a economia Brasileira.

As informações existentes acerca de produtores e os seus lotes nas áreas irrigadas apresentam visões pontuais e concentram-se apenas nas eficiências de determinadas culturas, não observam a totalidade do perímetro de irrigação e a sua relevância para fixação do homem no campo.

A importância de estudos sobre os desempenhos dos produtores na agricultura irrigada justifica-se pelo facto de poderem ser utilizados como fonte de informações para as políticas públicas governamentais para a agricultura familiar, nomeadamente a agricultura irrigada que hoje é responsável por grande parte da produção de alimentos. Além, é claro, de contribuir para os produtores na gestão dos seus lotes, já que uma má administração, a pouca experiência e assistência técnica deficitária são as causas principais para a baixa lucratividade de propriedades agrícolas.

Diante da importância social e económica de que reveste-se o projeto, fez-se necessário que as unidades produtivas fossem estudadas a partir da identificação e explicação das variáveis que possam interferir na rentabilidade e eficiência dos lotes de produção.

As principais motivações foram o potencial de desenvolvimento da agricultura irrigada e a sua contribuição socioeconómica para a região do Vale do São Francisco, bem como as respostas que o estudo pode oferecer ao melhoramento da renda destes colonos. A proposta metodológica do estudo contribuirá com informações gerenciais para os colonos que estão inseridos nos projetos de irrigação, no Nordeste do Brasil.

1.5 Estrutura organizacional do trabalho

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos. No Capítulo I foi apresentado o problema de pesquisa e os objetivos a serem alcançados. No Capítulo II apresenta-se o surgimento da irrigação no Brasil e o processo de implantação e desenvolvimento dos perímetros irrigados do Vale do São Francisco.

No Capítulo III, é realizada uma revisão bibliográfica com trabalhos internacionais e nacionais que tratam de eficiência na agricultura. No Capítulo IV, são apresentadas as metodologias de Análise Envoltória de Dados (e as suas extensões) e Análise de *Clusters* e *Tobit*. Também é explicado como foi realizada a montagem da base de dados utilizada neste trabalho.

Os resultados são discutidos no Capítulo V, através da apresentação dos resultados dos modelos. Por fim, no Capítulo VI, são apresentadas as conclusões do trabalho apontando as limitações do mesmo e sugestões para trabalhos futuros.



**Capítulo II – PROJETO DE IRRIGAÇÃO SENADOR
NILO COELHO**

Este capítulo apresenta o início do processo da irrigação no Brasil, através de um levantamento histórico sobre a irrigação no Vale do Submédio São Francisco e destaca o surgimento, em 1948, da Comissão do Vale do São Francisco — CVSF, que foi responsável por gerir os recursos alocados na região para a construção de barragens, perímetros irrigados e outros investimentos públicos. Este investimentos, oriundos do Governo Federal, e a criação da CODEVASF impulsionaram o desenvolvimento do Nordeste brasileiro.

A presença desta instituição foi primordial para alavancar a economia da região do Vale do São Francisco com os produtos agropecuários e agroindustriais. A água e o solo foram os elementos decisivos, juntamente com os investimentos públicos para sustentabilidade e viabilidade económica dos projetos irrigados.

São também abordados os aspectos referentes à localização do Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, que abrange os municípios de Casa Nova-BA e Petrolina-PE; a caracterização do clima, com o seu tipo, a temperatura média, as precipitações e a humidade do ar propícias para a fruticultura irrigada e, por fim, a estrutura do perímetro Senador Nilo Coelho com ênfase nos grandes investimentos públicos em canais, aquedutos, adutoras, estradas e estações de bombeamentos.

2.1 Irrigações no Brasil

O fator climático tem relação com a irrigação no Brasil. Nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, como as chuvas são consideradas regulares, a irrigação é considerada uma técnica complementar. Já no semiárido nordestino ela é uma técnica necessária para a realização da agricultura, pois as chuvas são irregulares e insuficientes. No Sul do país, existem grandes áreas planas que produzem arroz irrigado e utilizam baixo nível tecnológico como a inundação.

O Brasil é um país iniciante na irrigação. Na sua região Nordeste, o clima seco, os poucos rios perenes, como o São Francisco, e as irregulares distribuições pluviométricas são hoje um grande desafio para a agricultura. Coelho *et al.* (2005) afirma que a agricultura irrigada, para manter-se sustentável, precisa ser eficiente no uso da água na irrigação, bem como no uso dos agroquímicos que aplicados às plantas ou ao

solo podem causar contaminação dos recursos hídricos subterrâneos.

Devido ao alto índice de insolação durante o ano e disponibilidade de água, a região do submédio São Francisco no polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA favorece a agricultura irrigada. O facto de conseguir produzir durante o ano inteiro, possibilita a disponibilidade de muitas frutas para a agroindústria, o mercado interno e exportação.

A Organização das Nações Unidas (ONU) citada na Empresa Brasileira de Comunicação (EBC, 2013) afirma que aproximadamente 70% de toda a água potável disponível no mundo é utilizada para irrigação, enquanto as atividades industriais consomem 20% e o uso doméstico 10%. No Brasil, o índice de consumo de água na atividade de irrigação chega a 72%, com uma área de aproximadamente 29,6 milhões de hectares.

Os sistemas de irrigação mais utilizados são:

- irrigação por superfície – compreende os métodos de irrigação nos quais a condução da água do sistema de distribuição (canais e tubulações) até qualquer ponto de infiltração, dentro da parcela a ser irrigada, é feita diretamente sobre a superfície do solo;
- irrigação por aspersão – é o método de irrigação em que a água é aspergida sobre a superfície do terreno, assemelha-se a uma chuva por causa do fracionamento do jato d'água em gotas;
- irrigação localizada – a água é aplicada diretamente sobre a região radicular da planta, com pequena intensidade e alta frequência.

Segundo Mello e Silva (2007) entre as inúmeras vantagens do emprego racional da irrigação, podem-se citar as seguintes:

- a) suprimento em quantidades essenciais e em épocas oportunas das reais necessidades hídricas das plantas cultivadas que pode aumentar consideravelmente o rendimento das colheitas;
- b) garante a exploração agrícola, independentemente do regime das chuvas;
- c) permite o cultivo e/ou colheita duas ou mais vezes ao ano (milho, feijão, batata, frutas etc.) em determinadas regiões;
- d) permite um controle eficaz das ervas daninhas (arroz por inundação).

2.2 Histórico sobre a irrigação no Vale do Submédio São Francisco

A atividade econômica da região tinha como base produtiva a pecuária extensiva até 1940. Em 1948, foi criada a Comissão do Vale do São Francisco — CVSF, que teve inicialmente o objetivo de administrar os recursos aplicados na região, com os investimentos em barragens, projetos de irrigação, geração de energia elétrica, colonização, construção de estradas e obras de saneamento. Em 1968, a CVSF foi transformada em Superintendência do Vale do São Francisco — SUVALE. No ano de 1974 a SUVALE passa a ser Companhia do Desenvolvimento do Vale do São Francisco — CODEVASF. Este órgão executou grandes obras de infraestrutura em todo o vale, com o financiamento do Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) e o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), foram implantados Projetos Públicos de Irrigação na região do Submédio São Francisco nas décadas de 1970 e 1980. Em Juazeiro-BA foram implantados os projetos Tourão, Maniçoba e Curaçá e em Petrolina-PE, os projetos Nilo Coelho e Maria Tereza. Atualmente, também os projetos Salitre e Pontal já estão em fase de operação.

Os investimentos públicos do Governo Federal e a criação da CODEVASF impulsionaram o desenvolvimento do Nordeste brasileiro.

O Vale do São Francisco, pelos solos férteis e água abundante, tem sido uma das alternativas para geração de empregos e renda da região. Os projetos de irrigação, coordenados pela CODEVASF, funcionam como polos de desenvolvimento socioeconômico.

A CODEVASF tem um papel importantíssimo na região São Franciscana. O seu objetivo principal é aproveitar, para fins agropecuários e agroindustriais, os recursos, água e solo do Vale do São Francisco, através da implantação de projetos sustentáveis com viabilidade técnica e econômica. A CODEVASF é pioneira em irrigação no Nordeste brasileiro.

Os vinte e quatro projetos de irrigação implantados pela CODEVASF, em todo o Vale, geram progresso para toda a região semiárida. Estes perímetros irrigados têm uma grande participação no desenvolvimento da agricultura irrigada e no crescimento socioeconômico da população, ao transformar uma região de área quente e pobre num

polo produtor e exportador de frutas.

Existem hoje 105.919 hectares implantados. Destes, 91.889 hectares estão em operação, sendo que 45.387 hectares estão ocupados por pequenos produtores e 46.502 hectares por empresas. Tudo isto gera cerca de 280.000 empregos diretos e indiretos e traz benefícios para uma população de 373.000 habitantes. Além das áreas já em operação, estão em fase de implantação os projetos Salitre, em Juazeiro-BA e Pontal, em Petrolina-PE.

Tabela 1 — Perímetros implantados

Perímetro	Estado	Área (hectares)
1. Barreira Norte	Bahia	2.596
2. Bebedouro	Pernambuco	2.418
3. Betume	Sergipe	2.865
4. Boacica	Alagoas	3.334
5. Ceraíma	Bahia	430
6. Cotinguiba/Pindoba	Sergipe	2.237
7. Curaçá	Bahia	4.350
8. Estreito I, II e III	Bahia	7.943
9. Formosinho	Bahia	448
10. Formoso	Bahia	8.373
11. Gorutuba	Minas Gerais	5.286
12. Itiúba	Alagoas	894
13. Jaíba	Minas Gerais	24.076
14. Lagoa Grande	Minas Gerais	1.660
15. Mandacaru	Bahia	419
16. Maniçoba	Bahia	4.293
17. Micorós	Bahia	2.166
18. Nupeba	Bahia	3.318
19. Pirapora	Minas Gerais	1.261
20. Própria	Sergipe	1.177
21. Riacho Grande	Bahia	2.018
22. São Desidério – Barreiras Sul	Bahia	2.238
23. Senador Nilo Coelho	Pernambuco	22.061
24. Tourão	Bahia	11.710
TOTAL		117.571

Fonte: CODEVASF (2019c).

A CODEVASF, portanto, é o órgão responsável pelo desenvolvimento do Vale do São Francisco e utiliza como principal suporte decisivo a irrigação. A área de atuação da empresa abrange parte do território dos estados de Goiás, Minas Gerais,

Bahia, Pernambuco, Sergipe, Alagoas e Distrito Federal (CODEVASF, 2019a).

Em virtude das riquezas naturais da região do São Francisco, várias empresas e produtores procuram estas terras para investimento. O Vale do São Francisco possui uma área de 636.073,10 km² e uma população estimada em 20 milhões de habitantes (CODEVASF, 2019b). O rio São Francisco tem 2.776 km de extensão, dos quais 1.520 km são navegáveis.

Ao reconhecer a importância e qualidade dos trabalhos desenvolvidos pela CODEVASF, o Governo Federal ampliou a área de atuação da companhia que passou a contemplar o Vale do Parnaíba, pertencente aos Estados do Maranhão e do Piauí.

Na elaboração de cada projeto são estudadas detalhadamente as características da região, as condições da terra e as melhores alternativas de ocupação e exploração.

Segundo dados oficiais, os 26 perímetros irrigados implantados e mantidos pela CODEVASF na bacia hidrográfica do rio São Francisco alcançaram R\$1,72 bilhão em valor bruto de produção (VBP) em 2013 — um crescimento real de 14% em relação a 2012, quando o VBP registrado foi de R\$ 1,5 bilhão (CODEVASF, 2019b).

A partir de 1985, os perímetros irrigados e entre eles, o Projeto Senador Nilo Coelho receberam grandes empresas que modificaram o cenário agrícola na região, pois através de grandes financiamentos e incentivos fiscais houve um incremento tecnológico no polo agrícola da região. Através de informações sobre o manejo de culturas, os produtores e empresas perceberam que um grande mercado interno e externo se abria.

Tabela 2 — Projetos de irrigação na região do submédio São Francisco Petrolina-PE/Juazeiro-BA

Projeto	Local	Início
1. Bebedouro	Petrolina-PE	1968
2. Curaçá	Juazeiro-BA	1982
3. Mandacaru	Juazeiro-BA	1971
4. Maniçoba	Juazeiro-BA	1980
5. Maria Tereza	Petrolina-PE	1996
6. Nilo Coelho	Petrolina-PE	1984
7. Pontal	Petrolina-PE	2005
8. Tourão	Juazeiro-BA	1979

Fonte: CODEVASF (2019c).

A criação de associações de produtores, como a VALEEXPORT (Associação dos Exportadores de Hortigranjeiros e Derivados do Vale do São Francisco), possibilitou melhores condições de competitividade. A associação tem participação importante na transmissão de conhecimento para os produtores sobre as áreas de crédito e tecnologia agrícola, além da comercialização dos produtos. A fruticultura irrigada no polo agrícola do submédio São Francisco teve um crescimento nas últimas três décadas no Brasil, isto devido à estrutura oferecida pelo Estado brasileiro, às pesquisas e às condições climáticas favoráveis.

Tabela 3 — Volume das exportações de frutas frescas brasileiras em 2017

Frutas	Valor (US\$ FOB)
Manga	205.111.206,00
Uva	96.207.298,00

Fonte: COMEX STAT (2018).

O mercado externo exigiu novos investimentos e culturas como a manga e a uva, as primeiras frutas a serem exportadas, precisavam de resfriamento e armazenamento no seu processo produtivo, surgiram então os *packing-houses* e as empresas de exportação. O dólar, valorizado no Brasil, favoreceu as exportações dessas culturas no final dos anos 80.

2.3 Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho

2.3.1 Localização

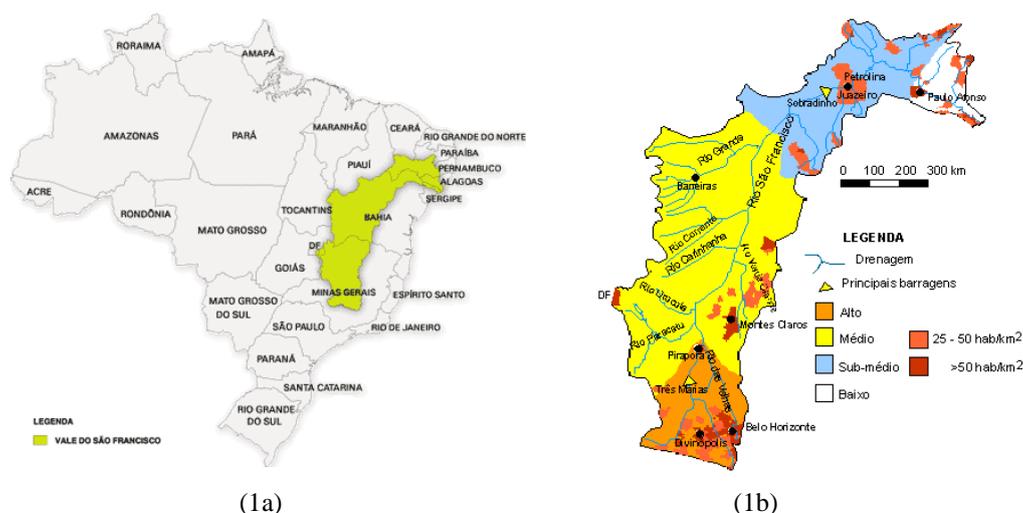
O Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho e sua extensão, a área do Projeto Maria Tereza, estão localizados no Vale do Submédio São Francisco, região semiárida nordestina, na margem esquerda do rio, no município de Petrolina-PE, e chega a abranger também uma área do município de Casa Nova-BA. A proporção, em termos de área, consiste em 20% no estado da Bahia e 80% no estado de Pernambuco. As suas coordenadas geográficas são 40°50' e 40°23' de Longitude Oeste e 09°14' e 09°27' de Latitude Sul. O Projeto Senador Nilo Coelho é um dos mais importantes perímetros

irrigados do Vale do São Francisco, é o segundo em tamanho (Tabela 1) e, conseqüentemente, em número de colonos e com um volume de exportação expressivo (Tabela 3). Dentre os demais, tem o maior número de colonos e o maior volume de produção (Correia *et al.*, 2000).

A captação da água para o Nilo Coelho dá-se numa tomada de água na margem esquerda do rio São Francisco. Possui na barragem de Sobradinho-BA sua principal reserva de água com 34,1 bilhões de metros cúbicos.

A Figura 1 demonstra a localização do Vale do São Francisco em relação ao território brasileiro (1a), sua abrangência e, no detalhe (1b), mostra sua subdivisão, onde é possível observar a região em que está inserido o polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA.

Figura 1 — Localização, abrangência e subdivisão do Vale do São Francisco



Fonte: CODEVASF (2012).

2.3.2 Características do clima

O clima da região onde estão implantados os perímetros é classificado como semiárido (tropical), tipo *Bosch*, segundo a classificação de *Köppen*, com temperatura média anual de 27° C.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, a precipitação pluvial para esta região, nos últimos 30 anos, apresenta um total anual médio da ordem de 567mm, tendo uma concentração de chuvas entre os meses de novembro e abril, onde os

índices acumulam 90% do total anual. O período chuvoso compreendido entre janeiro e abril representa 68% do total anual, onde destacam-se os meses de março e agosto como o mais e o menos chuvoso, respectivamente, com índices pluviométricos totais médios de 136,2mm e 4,8mm. Os maiores índices de radiação solar global são registrados no mês de outubro, com 528 cal/cm²/dia e os menores índices são registrados no mês de junho, com 363 cal/cm²/dia (Correia *et al.*, 2000).

Referindo-se à temperatura do ar, os índices apresentam variações médias mensais de 24,2°C a 28,2°C. Percebe-se uma pequena variabilidade interanual, por motivo da proximidade da região em relação ao Equador, sendo julho o mês que apresenta temperaturas mais baixas e novembro o mês que apresenta temperaturas mais altas. Os meses mais húmidos são os que têm relação direta com o período chuvoso. Nesse período a humidade relativa do ar apresenta uma variação média que vai de 66% a 71,5%, e os menores índices acontecem nos meses de setembro e outubro (abaixo de 55%), que coincide com o período mais quente do ano. Abril é o mês mais húmido e corresponde ao final do período chuvoso; outubro, por sua vez, é o mês mais seco e corresponde ao final do período seco (Araújo, 1987).

2.3.3 Estrutura do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho

O Projeto Senador Nilo Coelho é constituído por uma área irrigável aproximada de 17.520,09 hectares. Seu funcionamento teve início no ano de 1984 com a conclusão das obras da área Nilo Coelho, e surgiu posteriormente a segunda fase que compreende a área Maria Tereza.

Quadro 1 — Infraestrutura básica do perímetro irrigado

Quantidade	Estrutura
01	Estação de bombeamento principal com vazão de 23,2m ³ /s
31	Estações de Bombeamento
124,5	Canais
2,7 km	Aquedutos
200	Grupos de eletrobombas
700 km	Tubos com diâmetro de 150 a 500mm
273 km	Adutoras
700 km	Estradas

Fonte: DINC (2015).

Quadro 2 — Distribuição dos lotes (Setor Nilo Coelho)

Categorias	Quantidade	Área média
Grandes empresas	31	Acima de 50,00 hectares
Médias empresas	55	Entre 20,01 a 50,00 hectares
Pequenas empresas	195	Entre 7,10 a 20,00 hectares
Agricultores familiares	1.384	Até 7,00 hectares

Fonte: DINC (2015).

O canal de irrigação principal, que tem 63 km de extensão, cruza as rodovias BR-235, BR-407 e BR-122. O canal secundário tem 90,1 km de extensão, possui 8 aquedutos que totalizam 2,7 km e 4 sifões. Ao longo do canal principal estão instaladas 12 comportas reguladoras de nível (CODEVASF, 2012).



Capítulo III – CONCEITOS DE EFICIÊNCIA

Este capítulo, que está dividido em quatro secções além desta introdução, evidencia o conceito de eficiência e a sua medição. Inicia com um contexto histórico sobre a eficiência, a partir de investigadores como Debreu (1951) e Farrell (1957).

Em seguida são apresentados métodos de avaliação de eficiência, os métodos paramétricos e os métodos não paramétricos, estocásticos ou determinísticos, utilizados nas avaliações. Destaque nas fronteiras não paramétricas a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA) e os seus modelos, muito utilizados pelos investigadores de análise de eficiência.

Os modelos de eficiência com duas etapas, são abordados em seguida, observa-se que o DEA é utilizado para a medição da eficiência, e os modelos econométricos são utilizados para o estudo dos fatores determinantes da eficiência com a regressão dos escores de eficiência. Ao Final deste capítulo, é realizado um levantamento sobre a utilização do DEA na agricultura, com especial referência aos *inputs* e *outputs* mais utilizados nos modelos agrícolas.

3.1 Primeiros estudos sobre a eficiência em unidades de produção

Muitos estudos ocorreram desde o ano de 1950 para medir e analisar a eficiência de organizações privadas e públicas em vários países. Investigadores como Debreu (1951) e Farrell (1957) procuraram utilizar instrumentos matemáticos para avaliar se a operação de uma unidade produtiva era eficiente.

Nos anos setenta, devido à sua simplicidade e facilidade de aplicação, as técnicas não paramétricas tiveram um desenvolvimento enorme suplantando as abordagens paramétricas. Charnes *et al.* (1978) continuaram os estudos de Farrell que culminou com uma técnica de análise de fronteiras de produção e indicadores da eficiência produtiva, denominada Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* — DEA).

As unidades produtivas industriais, comerciais e agrícolas têm por finalidade a produção de bens e serviços. Vários estudos na área de produção, demonstraram como estas unidades podem gerir seus negócios, com decisões sobre minimizar custos e qual o impacto sobre o volume de produção. A avaliação do grau de eficiência dos *inputs*



utilizados na produção que se transformam em produtos torna-se muito importante para a administração de qualquer empresa.

Os recursos como matéria-prima, equipamentos, trabalho, água e energia utilizados são os geradores dos produtos. As combinações diferentes de insumos permitem várias combinações produtivas. O conjunto de possibilidades de produção define as várias opções que a empresa pode utilizar.

Pindyck e Rubinfeld (2002) citaram que as possíveis combinações de insumos que resultam no mesmo volume de produção estão representadas numa isoquanta, que demonstra esta relação de produção.

Medir o desempenho das unidades produtivas, sugere que os proprietários e administradores estão preocupados com o planejamento estratégico e operacional. Uma análise criteriosa da eficiência torna-se essencial para entender o atual estágio em que se encontram as unidades produtivas e se as mesmas precisam corrigir erros ou redefinir o seu projeto de produção.

A busca pela análise do desempenho tem que ser periódica e o gestor deverá conhecer bem o mercado competitivo para saber avaliar a eficiência da sua empresa com relação aos seus pares.

Um dos indicadores utilizados pelos gestores para avaliar o desempenho da organização é a medição da produtividade (Coelli *et al.*, 2005). Esta é obtida através da razão entre o que foi produzido e o que foi gasto para produzir, ou seja, é a relação entre *output* e *input*, como por exemplo, o volume de produção por hectares. Considerando uma produtividade total e não parcial, teríamos a soma ponderada dos produtos (*outputs*) dividida pela soma ponderada dos recursos utilizados (*inputs*).

A eficiência técnica também é utilizada como medida de desempenho. Esta, por sua vez, tem um conceito relativo, pois procura comparar o que foi produzido por uma unidade de insumo com o que ela deveria ter produzido conforme o que foi projetado (Mello, 2007).

A eficácia, por fim, também utilizada como medida de desempenho, consiste na observância do objetivo atendido, independente dos recursos aplicados serem excessivos ou não (Ferreira e Gomes, 2009). O importante é observar se a produção almejada ocorreu.

Farrell (1957), ao exemplificar a produção agrícola dos Estados Unidos, identificou a eficiência de uma unidade através da produção obtida com o melhor *output* dado os *inputs*.

A avaliação da eficiência técnica pode ser procedida segundo duas orientações: aquela que se fundamenta na redução de *input* e aquela que coloca ênfase no aumento de *output*.

A base para análise da eficiência são as curvas de produção na relação *inputs/outputs*.

A relação entre *inputs* e *outputs* proporciona:

- rendimentos crescentes à escala: aumento no consumo de *inputs* propicia um aumento mais que proporcional na quantidade de *outputs* obtidos;
- rendimentos constantes à escala: aumento no consumo de *inputs* implicam em aumento proporcional na quantidade dos *outputs*;
- rendimentos decrescentes à escala: aumento no consumo dos *inputs* implica em aumento menos que proporcional na quantidade de *outputs*.

Após a segunda grande guerra surgiu a Programação Linear com o objetivo definido para distribuição eficiente de recursos limitados que busca maximizar lucros ou minimizar custos.

O estudo de Farrell (1957) já inspirado em Debreu (1951), com sistemas de equações lineares, definiu uma fronteira que identificava as unidades eficientes e as não eficientes e identificou dois elementos: um técnico e outro alocativo.

A eficiência técnica indica a capacidade que uma organização tem de obter o máximo volume de *outputs* a partir de um dado conjunto de *inputs*.

A eficiência alocativa, por sua vez, indica a capacidade que uma organização tem de utilizar os *inputs* em proporções ótimas, dados os seus respectivos preços, de forma a minimizar os custos.

A combinação dessas duas medidas de eficiência dão origem a um terceiro indicador de desempenho denominado eficiência económica total.

Estas medidas de eficiência podem ainda tomar duas formas distintas: uma orientada aos *inputs* e outra orientada aos *outputs*. Farrell (1957), portanto, propôs um modelo para medir a eficiência relativa baseado em técnicas não paramétricas sob a

orientação insumo (*input*) ou sob a orientação produto (*output*).

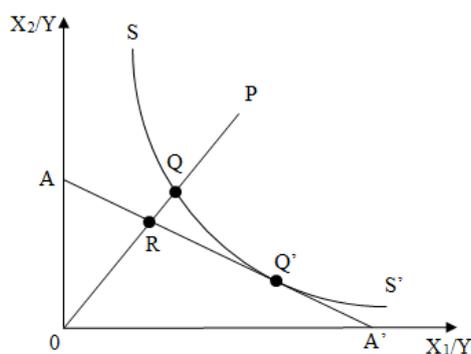
3.1.1 Medidas com orientação *input*

O conceito de função de fronteira desenvolveu-se com Farrell (1957) a partir da análise da eficiência produtiva do qual é possível comparar os resultados de uma firma em relação a melhor prática produtiva de uma indústria.

Na Figura 2, pode-se observar o Diagrama de Farrell, em que a linha AA', a partir da origem, identifica as distâncias radiais. As unidades Q e Q' são eficientes. A eficiência de Q' está relacionada tanto com a utilização de recursos quanto aos seus preços. Conclui-se que Q' é eficiente tecnicamente e alocativamente.

A Figura 2 representa uma empresa que utiliza dois *inputs* (X1 e X2) para produzir um *output* (Y), assumida a condição de rendimentos constantes à escala.

Figura 2 — Medidas com orientação *input*



Fonte: Coelli *et al.* (2005).

É suposto que a isoquanta unitária, representada por SS', da empresa eficiente, seja conhecida, desde que a empresa use quantidades de *inputs* definidos pelo ponto P. Para produzir uma unidade de *output*, a ineficiência dessa empresa pode ser representada pela distância QP, que indica o valor no qual os *inputs* podem ser reduzidos sem reduzir o *output*. Assim, a eficiência técnica (ET) da empresa pode ser medida da seguinte forma:

$$ET = OQ/OP = 1 - QP/OP$$

Ao assumir $0 \leq OQ/OP \leq 1$, tem-se que para valores menores que 1 a firma é ineficiente, tão mais ela se distancie desse valor; e ela será eficiente se ET for igual a 1. Assim, na Figura 2, a empresa será eficiente se ela se situar no ponto Q.

Além da eficiência técnica, se a relação entre o preço dos *inputs*, representada por AA', for conhecida, também é possível calcular a eficiência alocativa (EA), que para uma empresa que opera em P é definida como:

$$EA = OR/OQ, \text{ com } 0 \leq OR/OQ \leq 1$$

Assim, a distância RQ representa a redução nos custos de produção que poderia ocorrer se a produção se desse num ponto de eficiência alocativa, como no ponto Q', e não no ponto Q. Este, apesar de tecnicamente eficiente é alocativamente ineficiente.

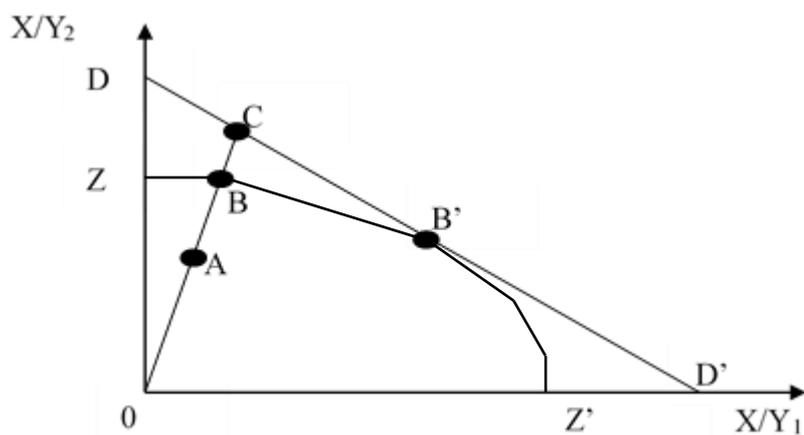
Já a eficiência económica total (EE), por sua vez, é obtida pelo produto das eficiências técnica e alocativa.

$$EE = OQ/OP \times OR/OQ = OR/OP, \text{ com } 0 \leq OR/OP \leq 1$$

3.1.2 Medidas com orientação *output*

As medidas de eficiência com orientação *output* são norteadas pelo máximo de *output* que pode ser aumentado, quando o nível de *input* utilizado se mantém constante. Assim, suposta uma situação em que haja dois *outputs* (Y_1 e Y_2) e apenas um *input* (X). Considerados rendimentos constantes à escala, a tecnologia por uma curva de possibilidades de produção unitária pode ser descrita pela linha ZZ', na Figura 3.

Figura 3 — Medidas com orientação *output*



Fonte: Coelli *et al.* (2005).

Uma vez que o ponto A está situado abaixo da curva de possibilidades de produção, ele representa uma empresa ineficiente e a distância AB descreve sua ineficiência técnica, isto é, as quantidades de *outputs* que poderiam ser aumentadas, com a utilização das mesmas quantidades de *inputs*. Ao observar a Figura 3, é possível definir as eficiências técnica, alocativa e econômica total da seguinte forma:

ET (Eficiência técnica) = $0A/0B$, com $(0A + AB)/0B = 1$. Logo, $0A/0B + AB/0B = 1$

$ET = 0A/0B = 1 - AB/0B$, com $0 \leq AB/0B \leq 1$

Se for possível obter informações sobre os preços dos *outputs*, pode-se delinear uma linha de isoreceita (DD') e definir a eficiência alocativa (EA), que no caso exemplificado é:

$EA = 0B/0C$, e $0 \leq 0B/0C \leq 1$

Da mesma forma que na medida com orientação *input*, a eficiência econômica é dada pelo produto entre as eficiências técnica e alocativa, que no exemplo dado é:

$EE = (0A/0B) \times (0B/0C) = 0A/0C$, com $0 \leq 0A/0C \leq 1$

A lei de Vilfredo Pareto estabelece que uma alocação eficiente não pode ser alterada para tornar maior a satisfação de uma pessoa, sem que diminua a satisfação de outra. Koopmans (1951), ao adaptar a teoria de Pareto, instituiu que a produção eficiente é aquela onde a elaboração de produtos finais não teria melhora, se a mesma

propiciasse a queda de um ou mais produtos.

Com base nos estudos desenvolvidos pelos investigadores na área de eficiência produtiva, Cooper *et al.* (2011) definiram que a eficiência Pareto/Koopmans é conseguida por uma unidade produtiva, desde que nenhum dos seus *inputs* e *outputs* pode ser melhorado sem piorar os outros *inputs* e *outputs*. Eles também concluíram que uma DMU (*Decision Making Unit*) consegue atingir uma eficiência total, quando seus *inputs* e *outputs* são melhorados, sem queda nos *inputs* e *outputs* das demais DMUs.

3.2 Técnicas de mensuração da eficiência

Os produtores rurais são os agentes económicos que procuram otimizar a sua produção. Na procura por maximizar os seus lucros, esses produtores são racionais quando trabalham para minimizar os seus custos e maximizar a produção. Mas existem diferenças entre eles, principalmente com relação às habilidades de gestão que dificultam a otimização na utilização dos recursos.

A procura pela eficiência no que se produz levou investigadores a procurarem nos seus estudos respostas para suas questões. Para encontrar os valores ótimos de produção (minimizar os *inputs* e maximizar os *outputs* possíveis), estes investigadores analisaram os processos produtivos desde o início dos anos 50.

A estimação de funções médias de produção iniciou-se com Cobb e Douglas, em 1928. Em 1951, Debreu instituiu uma medida de eficiência conhecida como um coeficiente de utilização de recursos de produção. Ainda em 1951, Koopmans tornou claro a definição de eficiência técnica. O conceito de eficiência relativa inicia-se com Farrell (1957) com estimação de funções de produção.

Logo após Farrell (1957), duas abordagens surgem com formas diferentes para concepção para a fronteira de eficiência, a paramétrica e a não paramétrica, que podem ser aplicadas em cada um dos casos, modelos estocásticos ou modelos determinísticos.

Nas fronteiras de produção paramétricas, a função matemática procura estabelecer uma relação entre os dados analisados para a estimação dos parâmetros do modelo.

Nas fronteiras de produção não paramétricas, ao serem atendidas as restrições

definidas para o conjunto de possibilidades de produção, não há necessidade de uma relação entre os dados para uma estimação dos parâmetros do modelo.

Nos modelos determinísticos, os desvios detectados entre a produção em análise e a fronteira são justificados pela ineficiência, não existem fatores aleatórios que afetam a fronteira. Já os modelos estocásticos permitem a incorporação de erros aleatórios e medição de erros nos dados, que podem afetar o desempenho das DMUs. Logo, DMUs situadas abaixo da fronteira de eficiência, podem também ser ineficientes em virtude de erros aleatórios.

O método *Stochastic Frontier Approach* (SFA) é um exemplo de abordagem de fronteira paramétrica estocástica. O mesmo foi concebido por Aigner *et al.* (1977) e também conhecido é por método de fronteira econométrica. O método definiu parâmetros para o custo e a relação de produção entre *inputs*, *outputs* e fatores externos e permite a existência de um erro aleatório.

O modelo *Data Envelopment Analysis* (DEA), desenvolvido por Charnes *et al.* (1978) e *Free Disposal Hull* (FDH), desenvolvido por Deprins *et al.* (1984) são modelos que calculam as fronteiras não paramétricas determinísticas. Estes modelos segundo Berger e Humphrey (1997) são métodos não paramétricos que permitem a obtenção de escores de eficiência ao longo do tempo e não incorporam informação, a priori, relativa a distribuição das ineficiências. Por outro lado, estes métodos apresentam a desvantagem de não contemplarem a existência de um erro aleatório. O método FDH é considerado um caso a parte do DEA. Este método produz maiores estimativas de eficiência quando comparado ao DEA, pois não existem combinações lineares entre DMUs de referência e evidencia mais DMUs como *benchmarking* no conjunto.

As fronteiras não paramétricas estocásticas incorporam a existência do erro aleatório na amostra em análise. Para Simar e Wilson (1998) é possível construir empiricamente uma distribuição verdadeira de estimativas DEA e pode ser feita inferência estatística. O método de *bootstrap* é um exemplo, pois gera variações na amostra e obtém, assim, novos escores de eficiência. Hesterberg *et al.* (2003) citam que a amostra original representa a população da qual foi retirada. As reamostras desta amostra mestre representam o que se deve obter quando são retiradas muitas amostras da população original. A distribuição *bootstrap* da estatística, baseada em muitas

reamostras, representa uma distribuição amostral e faz com que uma das utilidades da técnica *bootstrap* seja verificar a normalidade da distribuição original da estatística em foco. O método de *bootstrap* tenta fornecer uma fundamentação estatística ao modelo DEA, na medida em que faz sucessivas replicações aleatórias da amostra de observações com o intuito de avaliar de que forma os resultados de eficiência se alteram.

Os números índices que também tem uma abordagem não paramétrica, tem como finalidade medir a produtividade e as suas alterações no tempo e no espaço. Podem ser utilizados quando se pretende analisar variações no preço e na quantidade ao longo do tempo. Este método é muito utilizado para comparar indústrias, regiões e países. Laspeyres, Paasche e Fisher são os investigadores que mais contribuíram para o desenvolvimento dos números índices. A maior integração do tempo na análise de eficiência efetua-se por intermédio do índice de *Malmquist*, que foi desenvolvido por Fare *et al.* (1994). Este índice permite o cálculo das alterações de produtividade e a sua decomposição entre alterações de eficiência e alterações tecnológicas.

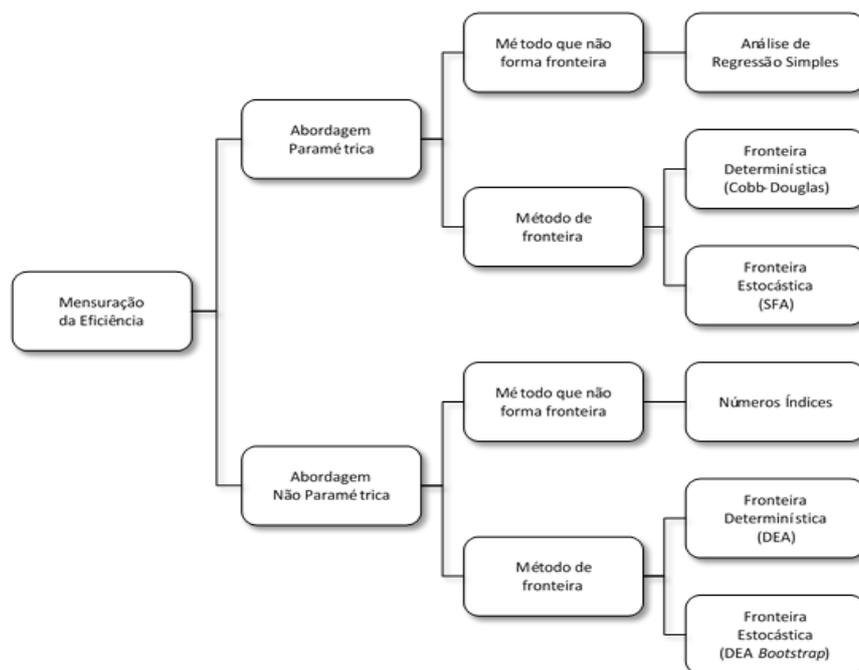
Conforme Cook e Seiford (2009), diferentes métodos de mensuração de eficiência têm sido desenvolvidos e testados, logo que as organizações passaram a medir a produtividade nas suas unidades de produção.

Ao resumir o que foi tratado neste capítulo, a fronteira pode ter uma abordagem paramétrica ou não paramétrica e ainda serem aplicados como modelos estocásticos ou modelos determinísticos.

Cada modelo apresenta escore de eficiência diferente, onde são apresentadas as fronteiras de eficiência. Portanto, não há como indicar o melhor modelo e na literatura disponível não existe uma imposição do melhor método para calcular a eficiência. Neste ponto prevalece a fiabilidade dos dados sobre a escolha de métodos paramétricos e não paramétricos. Sendo fiável a qualidade dos dados, a análise dos resultados será considerada consistente. Muitos investigadores já procuram conjugar as duas abordagens num modelo denominado “modelos de eficiência com duas etapas”. Primeiro utilizam o modelo DEA (métodos não paramétricos), logo após empregam métodos paramétricos, onde esses escores são correlacionados com fatores exógenos através de métodos econométricos.

A Figura 4 representa uma estrutura básica referente a diferentes métodos de avaliação de eficiência.

Figura 4 — Métodos de avaliação de eficiência



Fonte: Sarafidis (2002).

Não faz parte dos objetivos deste estudo a utilização da abordagem paramétrica. Neste estudo, o modelo *Data Envelopment Analysis* — DEA, uma abordagem não paramétrica, foi utilizado como instrumento de avaliação de eficiência.

3.3 Surgimento da Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* — DEA)

O modelo DEA teve a sua origem a partir de um trabalho desenvolvido por Charnes *et al.* em 1978, influenciado pelo trabalho de Farrell (1957). O estudo tinha como objetivo comparar a eficiência das escolas públicas americanas, sem a necessidade de qualquer relação de pesos entre as variáveis consideradas e sem transformar essas variáveis em valores económicos comparáveis.

Inicialmente desenvolvido para avaliar a eficiência de escolas, o DEA expandiu-se em várias áreas (comércio, indústria, agricultura, pública e financeira) com variedade de modelos apropriados a determinada investigação.

Os gestores das unidades produtivas procuraram com o DEA verificar se a operação de cada unidade ou DMU (*decision making unit*) se encontrava adequada com base nos recursos utilizados e resultados alcançados, em comparação com outras unidades similares. Portanto, Charnes *et al.* (1978) deram o nome *Data Envelopment Analysis* (DEA) ao estudo da análise de eficiência relativa de unidades com múltiplos *inputs* e múltiplos *outputs*.

Para o DEA, não há necessidade que todos os *inputs* e *outputs* estejam no mesmo padrão monetário para calcular a eficiência de uma DMU. Os seus objetivos caracterizam-se pela comparação de DMUs, que desenvolvem tarefas semelhantes com os mesmos *inputs* e *outputs*, mas com quantidades diferentes para mostrar as DMUs eficientes e ineficientes, e identifica a unidade de referência (*benchmark*) que serve de padrão para as DMUs que não alcançaram o grau de eficiência.

Por exemplo, se uma DMU “A” produz $Y(A)$ unidades de produto, com a utilização de $X(A)$ unidades de insumos, outras DMUs poderão fazer o mesmo, caso todas sejam eficientes. Do mesmo modo uma DMU “B” pode chegar a produzir $Y(B)$ unidades de produto, com a utilização de $X(B)$ unidades de insumos, outras DMUs poderão realizar o mesmo ao operarem com a mesma produção. Consideradas eficientes as DMUs “A” e “B”, poderão formar uma DMU composta ou uma DMU virtual, *inputs* combinados, que produzem uma combinação de *outputs* e servem de amostra para as demais DMUs.

O DEA é um modelo de programação matemática que permite avaliar o grau de eficiência produtiva em unidades tomadoras de decisão (*Decision Making Units* – DMUs), e leva em consideração os *inputs* utilizados e os *outputs* alcançados.

O DEA permite aperfeiçoar cada unidade em relação às demais, e possibilita construir uma fronteira de eficiência. Segundo o conceito de Pareto-Koopmans, a eficiência é encontrada com um nível ótimo de produção para determinado nível de insumo. Com a utilização do DEA pode-se identificar as ineficiências nas unidades de produção, quando se quantifica e compara os *inputs* e *outputs*. Com isso, o modelo DEA

ordena estas unidades, define *benchmarkings* entre elas e contribue para a construção de estratégias que maximizam as eficiências (Bogetoft e Otto, 2011).

No DEA são combinados múltiplos *inputs* e múltiplos *outputs*, com pesos diferentes numa medida escalar de eficiência operacional para cada DMU envolvida (Zhu, 2014). O modelo DEA diverge dos métodos estatísticos que utilizam as medidas de tendência central, uma vez que é sensível a pontos extremos. Sendo que, se uma unidade de produção de um grupo alcançar um *output* ótimo, as demais unidades do grupo em observação também têm condições de conseguirem (Bogetoft e Otto, 2011).

Principais características do DEA (Cooper *et al.* 2007; Bogetoft e Otto, 2011):

- a) exige o gestor da atribuição prévia de pesos às variáveis;
- b) evidencia a eficiência de cada DMU;
- c) destaca a importância da programação matemática para a alocação de pesos às variáveis para maximizar a eficiência relativa;
- d) mostra que as diferenças no tamanho podem ser observadas com os modelos de rendimentos variáveis à escala;
- e) a fronteira de eficiência pode ser composta por mais DMUs;
- f) os *peers* serão referências para DMUs consideradas ineficientes com as suas informações;
- g) pode-se verificar a evolução da eficiência das DMUs em vários períodos;
- h) permite estudar os fatores que interferem no aumento ou diminuição da eficiência;
- i) possibilita que a Análise Envoltória de Dados seja aplicada em vários ramos da atividade económica.

Na análise envoltória de dados existem os modelos DEA clássicos CCR e BCC. O modelo CCR (Charnes *et al.*, 1978), trabalha com rendimentos constantes à escala (CRS), ou seja, considera a proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*. Já o modelo BCC (Banker *et al.*, 1984), leva em consideração rendimentos variáveis à escala (VRS), ao substituir o axioma da proporcionalidade pelo axioma da convexidade. Para além destes métodos, ainda há o DEA – *Bootstrap*, que permite agregar uma dimensão estocástica ao modelo DEA. Todos eles serão abordados no Capítulo IV que trata da Metodologia da Pesquisa.

3.4 Estudos utilizados em atividades rurais

A partir de Charnes *et al.* (1978), a Análise Envoltória de Dados (DEA) tem sido usada para calcular a eficiência de unidades produtivas em várias atividades económicas. Publicações científicas identificadas em artigos, livros e defesas de teses mostram a importância deste instrumento para o gerenciamento em empresas públicas e privadas, no auxílio à tomada de decisão.

São mais de quatro décadas de utilização do modelo DEA, desde o primeiro artigo produzido por Charnes *et al.* (1978). Muitos investigadores no início da década de 1990 procuraram estudar o uso na agricultura de modelos de fronteiras de produção, entre eles, destacamos Battese (1992) e Coelli (1995). No trabalho desenvolvido por Seiford (1996), do total dos artigos publicados entre 1978 e 1995, dez fazem referências à Análise Envoltória de Dados aplicada em fazendas agrícolas.

Gomes (2008) fez uma revisão da literatura de modelos DEA na agricultura, entre 1980 e 2005, e deu ênfase a artigos e teses publicados no Brasil.

Phillips (2005) fez uma retrospectiva do DEA em homenagem aos seus fundadores e Liu *et al.* (2013) com o trabalho “*a Survey of DEA applications*”, mostraram que cerca de dois terços (63,6%) de artigos sobre o DEA incorporam dados empíricos, enquanto o terço restante é puramente metodológico. Estas publicações citavam relatórios técnicos, teses, artigos em anais de eventos científicos e também em periódicos.

Estes artigos têm contribuído para a otimização dos recursos utilizados na agricultura.

3.4.1 Modelos DEA, CRS e VRS

Reinhard *et al.* (2000) estudaram a eficiência ambiental em 613 fazendas leiteiras, na Holanda, com os dados extraídos da Rede de Informação Contabilística (RICA), para o período 1991-1994. Eles aplicaram o DEA e o SFA com as variáveis trabalho, capital, insumos variáveis, nitrogênio, fósforo, energia e produção. O artigo revelou que os escores médios de eficiência técnica com orientação *output* com SFA foi

89% e o DEA 78% e os escores de eficiência ambiental médios com SFA 80% e DEA 52%.

Shafiq e Rehman (2000) investigaram o uso de recursos ineficientes em 120 fazendas de algodão, em Punjab no Paquistão. Eles usaram a modelagem DEA, e identificaram os ajustes a serem feitos no uso de *inputs* nas fazendas. Os principais *inputs* que são assumidos para determinar o *output* da produção foram: algodão, água de irrigação, nitrogênio, fosfato, trabalho e pesticidas. Os resultados mostraram que, assumido o VRS, quase 30% das DMUs têm um escore de eficiência 1. Os resultados da estimativa de eficiência técnica e alocativa mostram que as fazendas tecnicamente eficientes também foram alocativamente eficientes.

De Koeijer *et al.* (2002), utilizaram índices de eficiência DEA na análise de um grupo de produtores holandeses de beterraba e chegaram à conclusão que o melhoramento da eficiência técnica proporcionaria uma melhora econômica e ambiental. Concluíram que a eficiência técnica média foi de apenas 50% e que existia uma margem considerável para melhorar a sustentabilidade da agricultura, através de uma melhor gestão.

Na Turquia, através da utilização de modelos DEA, os investigadores Abay *et al.* (2004) estudaram o uso de insumos químicos na produção de tabaco com 300 produtores. O *output* foi a produção de tabaco e os *inputs* foram a terra, o trabalho e os insumos químicos. A média da eficiência técnica encontrada foi de 0,456, sendo necessário, portanto, que nos lotes sejam reduzidos os *inputs* em 54,4% para que todos estejam no mesmo nível de produção.

Gomes e Mangabeira (2004) utilizaram o DEA, modelo VRS *inputs*, para medir a eficiência de 71 produtores do município de Holambra, estado de São Paulo. Para estes investigadores, a eficiência relativa dos agricultores poderá ser utilizada como apoio na decisão da produção agrícola, quando menciona as fontes de ineficiências. Do total de produtores investigados, 6 foram avaliados como eficientes, sendo 4 produtores de flores. As variáveis utilizadas foram: área, trabalho, horas-máquina como *inputs* e a renda líquida anual como *output*.

Segundo Osborne e Trueblood (2006), a eficiência econômica da produção agrícola de empresas russas (1993-1998), diminuiu ao longo do período, devido ao

declínio na eficiência técnica e alocativa e que as empresas poderiam ter maior eficiência, ao reduzir o uso de todos os *inputs*, especialmente fertilizantes e combustível. Os dados utilizados para estimar a eficiência vêm de publicações estatísticas de Goskomstat e do Ministério da Agricultura russa de 1999. Os *outputs* foram os valores da produção e os *inputs* as áreas, trabalho, fertilizantes, combustíveis e máquinas.

Binici *et al.* (2006) estudaram a produção agrícola de algodão, localizada na planície de Harran, na Turquia e verificaram que 54 produtores estavam a produzir com um alto nível de eficiência mas, no entanto, 72% das fazendas estavam a usar níveis ineficientes de *inputs*. Verificaram também que existe uma relação estatisticamente significativa e positiva entre a educação dos agricultores e a eficiência técnica na exploração, e ressaltaram a necessidade de investimentos públicos na educação rural.

Malana e Malano (2006) avaliaram o desempenho e produtividade de áreas de cultivo de trigo em 25 áreas do Paquistão e da Índia, com base nos *inputs* irrigação, sementes e uso de fertilizantes. Através da Análise Envoltória de Dados (DEA), com os modelos CRS e VRS, os investigadores verificaram que o grau de ineficiência se encontrava em unidades de produção de trigo, de classificação mais baixa e que o uso excessivo de irrigação, fertilizantes fatores ambientais e práticas agrícolas foram responsáveis pelas principais fontes de ineficiência entre as DMUs no nível regional e inter-regionais. A análise também mostrou que a DMU ineficiente pode utilizar bem os seus recursos, ao adotar as melhores práticas de *benchmarks* de alto desempenho.

Picazo-Tadeo e Reig-Martinez (2006) utilizaram dados fornecidos pelo Ministério da Agricultura, Pesca e Alimentação da Espanha, sobre produção de citrinos, as terras cultivadas, o trabalho agrícola, a mão de obra terceirizada, o capital agrícola e outros insumos, e calcularam as reduções específicas de *inputs* necessários para alcançar a eficiência técnica ao nível da exploração com medidas de eficiência orientada aos *inputs*. Os resultados mostraram que a obtenção de eficiência técnica necessita de uma mudança com relação aos *inputs*, com o favorecimento do trabalho terceirizado e o capital, pois nas unidades mais eficientes, o uso desses *inputs* são maiores. A terceirização surge como uma boa estratégia de gestão para superar as desvantagens da pequena dimensão das propriedades, na maioria das explorações agrícolas.

Ao aplicarem uma pesquisa estruturada com setenta e três fazendas de trutas, na região do Mar Negro, na Turquia, que foram selecionadas por amostragem aleatória, Cinemre *et al.* (2006) calcularam as eficiências técnica, alocativa e económica através dos *inputs* alimentação (ton/ano) e trabalho (milhares de horas/ano) e *output* as quantidades de trutas produzidas em 2011 (toneladas/ano). Entre as 73 fazendas incluídas na análise, 13 eram tecnicamente eficientes, 5 eram alocativamente eficientes e 4 foram economicamente eficientes. A análise da eficiência também revelou que a fazenda ineficiente teria necessidade de reduzir os custos de alimentação e de trabalho em 32%. Os resultados da investigação sugeriram uma relação positiva entre a eficiência de custos, posse da lagoa, a propriedade agrícola, a experiência e o nível de instrução dos trabalhadores, o contato com os serviços de extensão e a disponibilidade de crédito. Eles sugeriram para a melhoria da eficiência técnica, nas fazendas de truta, a investigação na área, incentivo ao crédito, formação de agricultores e programas de extensão.

Para Sauer e Abdallah (2007) a maioria dos 110 produtores de tabaco da Tanzânia produzem com rendimentos crescentes à escala e que existe uma forte correlação positiva entre a eficiência da produção de tabaco e a diversidade da floresta. Concluíram também, que um aumento na eficiência da produção agrícola com relação ao tabaco é propício para a sustentabilidade ambiental naquele país. Eles utilizaram como *output* a produção de tabaco (em kg) e como *inputs* o trabalho, lenha em m³, terra e fertilizantes.

Amores e Contreras (2009) analisaram fazendas de oliveiras na Espanha, que possuíam subsídios da política agrícola comum da UE (PAC), utilizando os modelos DEA com rendimentos constantes à escala orientação *input* (CRS) e de rendimentos variáveis à escala (VRS). Os investigadores concluíram que técnicas modernas são os fatores determinantes na eficiência técnica atualmente nas fazendas com novas plantações e que as eficiências de grandes fazendas são mais homogêneas, mais ainda, que a eficiência está positivamente relacionada ao tamanho da fazenda.

Ao estudar a eficiência da produção de trutas e robalos em nove propriedades no Mar Negro da Turquia, Bozoglu e Ceyhan (2009) empregaram a Análise Envoltória de Dados para calcular a eficiência destas fazendas. Verificou-se que apesar de ter um

maior custo de produção, o robalo teve maior rentabilidade e foi economicamente mais eficiente em comparação com a produção de trutas. Os custos de alimentação e diesel constituíram mais de 75% dos custos totais. Observou-se que as eficiências energéticas alocativas e económicas para truta e robalo foram 0,788 e 0,881, respectivamente e a variável que mais afetou a eficiência económica foi a experiência do operador. A alimentação, óleo diesel, eletricidade e trabalho foram os *inputs* e a produção o *output*.

Um estudo com produtores em Kansas (EUA) entre 1992 e 1999, desenvolvido por Li *et al.* (2010) revelou que os tipos de sistemas de irrigação não pareceram influenciar fortemente os níveis de excesso do uso da água. Concluíram que as técnicas de gestão e de campo são componentes importantes para a eficiência no uso da água e que as fazendas maiores e com jovens gestores foram mais eficientes. As variáveis água, trabalho, capital, semente, fertilizantes, precipitações e a produção de trigo, soja, sorgo, milho e feno foram os *inputs/outputs* utilizados.

Os investigadores Pahlavan *et al.* (2012) quantificaram, através do DEA, as eficiências técnicas e de escala de 29 produtores de rosas no Irão em relação ao uso de energia para a produção agrícola. A aplicação dos modelos DEA revelaram que a média de eficiência pura, técnica e de escala dos agricultores foram de 0,83, 0,68 e 0,79, respectivamente. Para eles, 43,59% da energia total de entrada poderia ter sido economizada sem reduzir o rendimento da produção. Os *inputs* utilizados foram o trabalho, fertilizantes químicos, estrumes, produtos químicos, energia eléctrica e máquinas, enquanto o rendimento da produção de rosas foi o *output*.

Os investigadores Mardani e Salarpou (2015) empregaram o método não paramétrico de análise envoltória de dados (DEA) para analisar a eficiência técnica e de escala da produção de batatas em 23 províncias, no Irão, utilizando dados coletados no anuário estatístico e do Ministério iraniano da Energia. Foram utilizados como *inputs* trabalho, terra, diesel, aluguel das máquinas, custo da água de irrigação, custo de fertilizantes e pesticidas e como *output* o valor bruto da produção. O DEA revelou que a eficiência técnica média é de 90% e a eficiência de escala é de 97%. Isto sugere que as províncias ineficientes podem, potencialmente, reduzir seus custos globais para a produção de batata.

Observando 138 produtoras de leite, na província de Hatay da Turquia, Parlakay

et al. (2015) empregaram o método de Análise Envoltória de Dados para calcular a eficiência técnica de fazendas leiteiras. Foi utilizado como *output* a produção anual de leite e como os *inputs*: o concentrado de ração, os custos veterinários e do trabalho. Os resultados mostraram que os escores de eficiência técnica estimados, em média, para CRS e VRS foram 0,64 e 0,69, respectivamente. Quinze fazendas foram eficientes no modelo VRS e 10 fazendas foram eficientes sob o modelo CRS. Os investigadores consideraram ainda que os ganhos de eficiência são positivamente correlacionados com o tamanho do rebanho, relação de alimentos concentrados e a experiência dos agricultores.

Jiao *et al.* (2015) estimaram a eficiência técnica de atacadistas da uva de mesa, na China, utilizando como *output* o lucro bruto do atacadista e os *inputs* as variáveis capital, ativos fixos, trabalho e o aluguel para comercialização das frutas. Os resultados da investigação revelaram que a eficiência técnica média da amostra foi de 0,544 e 0,860 sob os pressupostos CRS e VRS, respectivamente, e a eficiência de escala (SE) foi 0,620. Os resultados sugerem que, em média, um potencial de redução de 45,6% nos *inputs* poderia alcançar o mesmo nível de *output*, assumida a condição de que não há outras restrições sobre este ajustamento. O estudo também revelou que a maioria dos compradores de uva de mesa operam em pequena escala, em comparação com o tamanho ideal. Quanto aos fatores que influenciaram a eficiência técnica, uma série de fatores operacionais, incluídos as experiências de atacadistas, número de variedades de uvas à venda, os volumes de vendas diárias e relação de venda fixa, estão correlacionadas com a eficiência.

Através das técnicas de análise envoltória de dados, Gadanakis *et al.* (2015) investigaram produtividade e eficiência do uso da água em 66 fazendas na Inglaterra. Eles descobriram que as explorações agrícolas nas amostras podem reduzir as necessidades médias de água em 35% para alcançar o mesmo valor bruto, quando comparados aos seus pares na fronteira. Observou-se que 47% das propriedades operavam sob rendimentos crescentes à escala, o que indicava que as fazendas teriam que desenvolver economias de escala para obterem economias de custos nos *inputs*.

Segundo os investigadores, a reciclagem de água e a instalação de sistemas de gotejamento e linhas de pulverização de irrigação tiveram um impacto positivo na

eficiência do uso da água, enquanto o sistema de irrigação por aspersão teve um efeito negativo sobre a eficiência do uso da água. Observaram ainda que as fazendas consideradas *benchmarks* poderiam ser úteis para identificarem o uso de água em excesso, quando comparadas com outras fazendas na mesma região com as mesmas características. Os *inputs* e o *output* utilizados para calcular a estimação da eficiência nas fazendas foram área cultivada (ha), total de custos agrícolas, uso de água, custo de energia, trabalho total (horas/ha), outros custos agrícolas e o valor bruto da produção.

Gül *et al.* (2016) estimaram a eficiência técnica na criação de cabras na província de Isparta, na Turquia, através do DEA. Os dados utilizados foram recolhidos de 92 fazendas de caprinos, os *inputs* foram o trabalho, concentrados de ração e custos veterinários e o *output* foram os valores da produção. A eficiência média de 92 fazendas de cabra foi calculada em 0,44 e 0,66 para os rendimentos constantes e variáveis à escala, respectivamente. As maiores folgas foram identificadas em concentrados de ração e o trabalho. Os fatores que mais afetaram a eficiência da produção de cabra foram a experiência do agricultor, membro da cooperativa, produção de leite por cabra, a família e o trabalho. As causas das fazendas ineficientes, podem ser tanto inadequação de escala ou de má alocação de recursos. A escala inadequada sugere que a fazenda não está a aproveitar as economias de escala, enquanto a má alocação de recursos refere-se a combinações de *inputs* ineficientes.

Sherzod *et al.* (2018) analisaram 124 fazendas produtoras de trigo, na região de Samarkand no Uzbequistão e constataram que o valor médio dos escores de eficiência técnica dos produtores de trigo foi 0,79 e 0,82, sob as premissas de rendimentos constantes à escala (CRS) e rendimentos variáveis à escala (VRS). Eles perceberam que a idade dos agricultores, o conhecimento técnico sobre a agricultura, a fertilidade do solo e a qualidade das sementes foram os principais determinantes da eficiência técnica na área de estudo.

Oluwatayo e Adedeji (2019) no estado de Lagos, na Nigéria, com uma amostra composta por 43 produtores de bagre de barro, 33 cultivos em gaiola e 37 tanques plásticos estimaram as eficiências técnicas com as especificações de rendimentos variáveis à escala (VRS) e rendimentos constantes à escala (CRS). O estudo concluiu que os projetos de construção mais eficientes e rentáveis são os tanques de terra, devido

à sua relação custo-benefício em termos de *design* e gerenciamento, bem como o impacto limitado sobre o meio ambiente. Os anos de educação formal foram significativos em todos os projetos e que os criadores deveriam ser mais bem informados sobre os perigos inerentes à poluição nas águas.

Os investigadores Sifakas *et al.* (2019) para analisarem a eficiência de fazendas de vacas leiteiras, na Grécia, utilizaram o modelo DEA com CRS e VRS. A orientação foi voltada à produção (produção de leite), com os fatores de produção ração animal, horas de trabalho humano, valor da pecuária, capital investido médio (inclusive terra). Os resultados mostraram que 87,2% das fazendas da amostra eram ineficientes, com uma escala de ineficiência entre 22,09% e 100%, com uma média de 82,73% e um desvio padrão de 19,90%.

3.4.2 Modelos DEA e SFA (Análise de Fronteira Estocástica)

Através da análise de fronteira estocástica e análise envoltória de dados (DEA), Bayarsaihan e Coelli (2003) estudaram quatorze anos do crescimento da produtividade na agricultura da Mongólia, antes do ano de 1990. Os resultados indicaram fraco desempenho global, com uma variação média anual de 1,7% da Produtividade Total dos Factores (TFP) em grão e 0,8% na batata e que os métodos DEA utilizados confirmaram as conclusões gerais, obtidos através da análise de fronteiras estocásticas (SFA). Para eles, houve uma mudança substancial em torno do desempenho de técnicas de cultivo da Mongólia, no início e meados da década de 1980, e concluíram que as novas políticas de melhoria da educação, uma maior autonomia de gestão e melhoria dos incentivos, que foram introduzidas em dois períodos finais de planejamento na década de 1980, tiveram uma influência significativa sobre o desempenho das lavouras neste país.

Latruffe *et al.* (2004) estimaram a eficiência técnica de fazendas agrícolas e pecuárias na Polónia (2000), usaram dados da pesquisa anual de fazendas individuais, realizadas pelo Instituto Polonês de Agricultura e Economia de Alimentos. As estimativas de eficiência calculadas pelo DEA, com rendimentos constantes à escala, são usados para a comparação com as estimativas SFA. A SFA apontou que as fazendas de gado são, em média, mais tecnicamente eficientes do que fazendas de cultivo.

Observou-se também que a eficiência técnica média, estimada pelo DEA, é menor do que a estimada pela SFA e que ambos os métodos confirmam que as maiores fazendas de gado são as mais eficientes, enquanto as fazendas de cultivo de tamanho grande e médio são igualmente eficientes. Eles ainda confirmaram que dois fatores determinantes são provavelmente necessários para a eficiência técnica; a educação e o mercado de integração dos agricultores, para além de serem um dos principais entraves para adoção de novas tecnologias.

Bojnec e Latruffe (2008) investigaram a eficiência técnica, de escala, alocativa e económica de 13 ramos de negócios agrícolas na Eslovénia, no período 1994-2003, com os dados Rede de Informação Contabilística (RICA). Estes investigadores utilizaram modelos DEA com orientação *output* e compararam com uma abordagem paramétrica de fronteira estocástica. Eles descobriram que as fazendas são relativamente eficientes e que cinco ramos de negócios da fazenda (colheita, laticínios, pecuária com uso da própria alimentação, frutas e fazendas florestais) foram totalmente eficientes no que diz respeito a todas as quatro medidas de eficiência calculadas (técnica, escala, alocativa e económica).

3.4.3 Modelos DEA e TFP (Produtividade Total dos Fatores)

Ao utilizar dados de 16 países africanos, Nkamleu (2004) concluiu que no período analisado, a produtividade total dos fatores (TFP) apresentou uma evolução e que o progresso na eficiência técnica contribuiu para um bom desempenho do setor agropecuário. A investigação mostra que a mudança tecnológica tem sido a principal restrição de obtenção de elevados níveis de produtividade total dos fatores, e indica que os fatores institucionais e agroecológicos são importantes determinantes do crescimento da produtividade agrícola.

Coelli e Rao (2005), com base nos dados extraídos do sistema AGROSTAT da Divisão de Estatística da Organização para Agricultura e Alimentação, em Roma, quantificaram o crescimento da produtividade agrícola em 93 países ao longo do período de 1980 a 2000 através do uso dos índices de produtividade *Malmquist* baseado no DEA. Os resultados mostraram um crescimento anual da TFP (Produtividade Total

dos Fatores) em 2,1% e que o melhor desempenho foi o da China, com um crescimento médio anual de 6,0% da TFP no período do estudo. Os *inputs* foram a terra, trator, trabalho, fertilizantes, pecuária e irrigação, e os *outputs* foram as produções agrícola e pecuária.

Lissitsa e Odening (2005) averiguaram a eficiência pela Análise Envoltória de Dados e a produtividade total dos fatores de empresas agrícolas na Ucrânia, no período entre 1990 e 1999. Os estudos indicaram que a diminuição da produção agrícola neste período foi acompanhada da redução na Produtividade Total dos Fatores em 42% com ênfase, principalmente, nos anos iniciais da transformação económica. Concluíram que a principal causa do declínio da produtividade foi a redução na eficiência técnica das empresas. Os investigadores verificaram também que as fazendas que eram relativamente bem sucedidas no início do processo de transformação, melhoraram ainda mais ao longo dos anos.

Chen *et al.* (2008) examinaram o crescimento da produtividade no setor agrícola de vinte e nove províncias chinesas durante o período de 1990-2003, calcularam os índices de produtividade de *Malmquist* orientação *output* e sua decomposição, e utilizaram uma abordagem DEA. A variável de *output* utilizada na análise empírica foram os valores agregados da agricultura, silvicultura, pecuária e pesca em preços constantes brutos de 1990. Os resultados indicaram que a principal fonte de crescimento da produtividade é o progresso técnico e que as disparidades regionais no crescimento da produtividade pioraram com o tempo. Os resultados da regressão mostraram que os principais determinantes do progresso técnico na agricultura da China foram os cortes de impostos agrícolas, bem como os investimentos públicos em P&D, infraestrutura e mecanização.

Analisando 185 fazendas classificadas como: lavoura de campo, suínos e laticínios, nas regiões de Mazowsze e Podlasie, Polónia, durante os anos de 2014 a 2016, Syp e Osuch (2018) aplicaram o Método *Data Envelopment Analysis* (DEA) e índice *Malmquist* para avaliar a eficiência agrícola e a mudança de produtividade. Concluíram que a ineficiência técnica das fazendas de culturas de campo ocorre principalmente pela eficiência de escala, enquanto que nas fazendas de suínos e laticínios pela eficiência técnica e de escala. Nas explorações leiteiras, registou-se um

crescimento médio anual da produtividade de 2%. Nas fazendas de suínos houve redução de produtividade de 5,4%.

3.4.4 Modelo DEA e a Técnica *Bootstrap*

Latruffe *et al.* (2005), calcularam eficiências de fazendas polacas especializadas na agricultura e na pecuária, através do modelo DEA. Os resultados foram refeitos após novos intervalos de confiança obtidos através da técnica de *bootstrapping*. Na investigação, observou-se que as explorações pecuárias foram em média mais eficientes do que as explorações agrícolas e que a baixa educação tem implicações nas ineficiências. Verificou-se que, em 2000, 64% das fazendas de gado e 86% das fazendas de cultivo estavam a operar sob rendimentos crescentes à escala, ou seja, os ganhos de eficiência poderiam ser realizados por aumentos no tamanho da fazenda através de melhorias na legislação de arrendamento da terra e um melhor acesso ao crédito.

Gocht e Balcombe (2006) aplicaram a Análise Envoltória de Dados com os modelos CRS e VRS, juntamente com um método *bootstrap* suavizado, para obter *rankings* de eficiência mais confiáveis para 69 explorações agrícolas na Eslovénia. Este artigo usou dados agrícolas eslovenos e verificou que o ranking de eficiência depende das especificações do modelo e como intervalos de confiança podem ser usados para dar mais *insights* sobre a validade dos escores de eficiência. Foram utilizados como *inputs* sementes, fertilizantes, adubos, produtos químicos, outros custos diretos, os salários e serviços em termos monetários e como *outputs* a produção de trigo em toneladas. Os investigadores sugerem, nos estudos, que o DEA deve ser empregado juntamente com um *bootstrapping* para identificar a confiabilidade da classificação da eficiência.

Ao utilizarem dados da produção vegetal e da produção de gado como variáveis de *outputs*; a terra, o trabalho, o capital e o consumo como fatores de *inputs* disponibilizados pela Rede de Informação Contabilística (RICA), Davidova e Latruffe (2007) estudaram a eficiência técnica nas fazendas da República Checa. Os resultados dos modelos DEA e *bootstrapping* mostraram que, em geral, as empresas agrícolas na República Checa são mais agrupadas em direção à fronteira tecnicamente eficiente do que as fazendas individuais e que a experiência e as práticas de gestão nas explorações

nestas unidades agrícolas individuais, pós-reforma, são em média mais deficientes do que os sucessores das antigas fazendas estatais e coletivas.

Dao e Lewis (2013) estimaram a eficiência técnica de 423 fazendas vietnamitas, fazendo o uso da análise envoltória de dados com o método *bootstrap*. Os resultados deste trabalho indicaram a importância da diversificação de culturas e que os produtos orientados para o mercado, tais como culturas industriais anuais, possuem uma maior eficiência do que fazendas com foco em alimentos básicos, como arroz e milho. Do total das amostras, 38% tiveram eficiência de escala, enquanto os restantes (62%) foram ineficientes. Dentre estes, 204 fazendas obtiveram rendimentos crescentes à escala e 60 fazendas obtiveram rendimentos decrescentes à escala. Os *inputs* utilizados foram terra, fertilizantes, sementes, pesticidas, capital (equipamento) e trabalho familiar e o *output* o valor total das culturas.

Numa investigação com produtores de tomate e melão do Uzbequistão, Karimov (2013) utilizou o método DEA com *bootstrap* para configurar agricultores na fronteira com uma dada amostra. Os *inputs* foram terra, trabalho, sementes, fertilizantes nitrogenados, diesel e outras despesas, enquanto que o *output* foi produção. Em todos os casos, as eficiências corrigidas pelo *bootstrap* foram menores que eficiências convencionais, o que demonstrou que os escores estavam superestimados, que por sua vez levaram a distorcer os resultados. O estudo mostrou também que as fazendas têm potencial para elevar a produtividade, com o aumento na utilização dos recursos tecnológicos agrícolas e que os níveis de produção poderiam ser aumentados em 32% e 19%, utilizando as mesmas quantidades de *inputs* na produção de melões e tomates.

Em estudo realizado através do método *bootstrap*, com 292 fazendas que cultivaram milho e arroz em três distritos em Son La, Vietname, Linh *et al.* (2015), analisaram a variabilidade das estimativas de eficiência técnica e corrigiram o enviesamento inerente ao método DEA. O estudo mostrou que as ineficiências técnicas e de escala da cultura de milho e arroz são significativas. Os resultados indicaram que as eficiências técnicas entre os agricultores diferem entre os distritos e que com correção do enviesamento, os escores das culturas de arroz e milho ficaram em 0,55 e 0,46, respectivamente. Sendo que os níveis de *inputs* poderiam diminuir em 45% para o arroz

e 54% para o milho os níveis atuais de produção. Este resultado sugere que se deve continuar a melhorar a gestão dos métodos de produção de culturas e do cultivo anuais para os agricultores.

Silva *et al.* (2017), utilizaram o método DEA em dois estágios com a técnica *bootstrap* para calcular a eficiência técnica dos produtores de manga do Distrito de Irrigação Senador Nilo Coelho. Os principais resultados apontaram que escolaridade, comércio exterior e interação com instituição de investigação tendem a elevar os níveis de eficiência, enquanto dívidas e outras atividades económicas levam a reduzir tais escores.

3.4.5 Modelos DEA e de Regressão

Ao observarem fazendas no Centro-Oeste do Brasil, com base no Censo Agrícola (1995-1996) — produção agrícola, área trabalhada, trabalho, máquinas e insumos agrícolas —, Helfand e Levine (2004) aplicaram a Análise Envoltória de Dados e técnicas de regressão para encontrar a eficiência técnica. Os seus resultados sugerem que o acesso às instituições de crédito, eletricidade e assistência técnica são fatores significativos e determinantes das diferenças de eficiência, como também o uso de *inputs*, como a irrigação, fertilizantes, práticas de produção e composição do produto. Estes resultados identificam quais tipos de políticas e práticas de produção poderiam contribuir para o aumento da eficiência técnica na região.

Os investigadores Gomes *et al.* (2009), utilizaram modelo DEA BCC, com orientação *input*, as variáveis área cultivada, força de trabalho e de produção, e estimaram a sustentabilidade da agricultura familiar na cidade de Machadinho d'Oeste na região amazónica, no Brasil, para os anos de 1986 e 2002. Uma regressão também foi utilizada para identificar os fatores que afetam as medidas de eficiência. Segundo os autores, os resultados mostraram que muitos agricultores aumentaram a sua eficiência ao longo do tempo.

Haji (2007), num estudo com 150 pequenos agricultores do leste da Etiópia, demonstrou a existência de ineficiências alocativas e económicas nas unidades produtivas. O investigador utilizou os modelos CRS e VRS para calcular as eficiências.

A produção de legumes, sorgo, milho e pecuária foram os *outputs*, e os *inputs* foram a terra, capital (máquinas), trabalho, insumos agrícolas e água para irrigação. Os resultados da análise da regressão *Tobit* mostraram que os níveis de eficiência técnica são afetados significativamente pela renda não agrícola, o tamanho da propriedade, extensão rural e tamanho da família, enquanto ativos, diversificação de culturas, as despesas de consumo e o tamanho da fazenda tiveram um impacto significativo sobre a eficiência alocativa e económica.

Speelman *et al.* (2008) analisaram 60 agricultores de hortaliças na África do Sul e concluíram que sob rendimentos constantes à escala (CRS) e rendimentos variáveis à escala (VRS), os produtores obtiveram ineficiências técnicas, de 49% e 16%, respectivamente. Já para mensurar a eficiência da água utilizada na irrigação, foi aplicado o modelo de eficiência de subvetor, proposto por Fare *et al.* (1994). As eficiências subvetor para a água provaram ser ainda mais baixa, o que indica que os agricultores se tornariam mais eficientes usando a tecnologia atualmente disponível, realocando uma fração da água de irrigação para outras demandas sem prejudicar a sua pequena escala de irrigação. Numa segunda etapa, empregaram técnicas de regressão *Tobit*, verificaram que o tamanho da propriedade, a escolha de culturas e métodos de irrigação aplicados mostrou um impacto significativo sobre a eficiência subvetor para a água. Essa informação é valiosa para os serviços de extensão e ajuda na orientação de políticas para o aumento da eficiência nas propriedades.

Frija *et al.* (2009) mediram a eficiência técnica do uso da água de irrigação dos pequenos agricultores na região de Teboulba, na Tunísia. Através da Análise Envoltória de Dados e do modelo *Tobit*, avaliaram os efeitos das variáveis socioeconómicas e estruturais sobre os níveis de eficiência técnica e de irrigação no uso da água. Eles chegaram à conclusão que os escores de eficiência obtidos com rendimentos constantes à escala (CRS) e rendimentos variáveis à escala (VRS) mostraram que a maioria dos agricultores da amostra estavam a produzir em escala eficiente. Observaram também que a participação dos agricultores na formação técnica, o investimento em água e conservação e como aplicar os fertilizantes aumentaram significativamente o nível de eficiência do uso da água de irrigação, mas que a utilização da área total para a produção de culturas de estufa tem um impacto negativo na eficiência do uso da água

nas áreas irrigadas.

Kilic *et al.* (2009) investigaram, na Turquia, a eficiência da produção de avelã, com 78 agricultores, através da Análise Envoltória de Dados e Análise de Regressão *Tobit*, e utilizaram os seguintes *outputs/inputs*: produção de avelã, capital empregado, capital de giro, trabalho e fertilizantes. Os estudos mostraram que a eficiência técnica ficou em média de 73,5% e que 70,5% das unidades produtivas estavam a usar *inputs* de forma irregular. Ainda segundo os autores, existe uma relação positiva entre a educação do agricultor e a eficiência técnica e que para melhorar o uso eficiente dos *inputs* se faz necessário investimentos públicos na educação rural.

Através de modelos DEA, num estudo realizado em Bangladesh, Begum *et al.* (2010) observaram a existência de ineficiência técnica, alocativa e económica na produção de aves. Sob rendimentos constantes à escala (CRS), eficiência técnica, alocativa e económica foram 88%, 70% e 72%, respectivamente, enquanto que sob rendimentos variáveis à escala (VRS) os ganhos de eficiência foram 89%, 73%, 66%. Modelos de regressão *Tobit* identificaram a escolaridade, experiência, formação e o tamanho da fazenda como os fatores significativos associados a eficiência neste estudo.

Clemente *et al.* (2015), aplicaram a análise envoltória de dados para calcular os níveis de eficiência técnica, e uma abordagem econométrica para conhecer os determinantes da eficiência técnica das propriedades produtoras de laranja do estado de São Paulo. Eles concluíram que grande parte das propriedades citrícolas atua de forma ineficiente, e as variáveis que mais contribuem para aumento da eficiência são escolaridade e tempo como produtor rural. Os *inputs* utilizados foram terra, trabalho, escolaridade e o tempo na propriedade. O *output* foi a produção de laranjas.

Através de um modelo DEA orientado aos *inputs*, os investigadores You e Zhang (2016) analisaram a ecoeficiência da produção agrícola intensiva em 31 províncias da China. Os resultados mostraram que apenas seis províncias podem ser consideradas totalmente eficientes, sendo que as eficiências de escala são geralmente inferiores às eficiências técnicas e que as províncias cujas ecoeficiências são máximas estão localizadas principalmente na China ocidental. O modelo *Tobit* mostrou que as variáveis da área agrícola per capita, renda per capita, população por agregado familiar e coeficiente de carga populacional têm impactos estatisticamente significativos na

eficiência total.

Mitra e Yunus (2018) analisaram os fatores que afetaram a eficiência dos produtores de tomate em Mymensingh, Bangladesh, através do DEA, orientado aos *inputs*, para medir a eficiência técnica e o modelo de regressão *Tobit* com o objetivo de identificar os fatores determinantes. Uma amostragem aleatória de 60 produtores de tomate foi selecionada. A eficiência técnica média para estes produtores foi de 0,83 e aspectos como a educação, o treinamento e a adoção de variedade de alto rendimento tiveram efeito positivo sobre a eficiência, enquanto a idade dos produtores teve efeito negativo sobre a eficiência.

Lee *et al.* (2019) estudaram a eficiência das 400 fazendas de arroz, no Delta do Mekong, no Vietname, usando a abordagem de análise envoltória de dados. Os resultados mostraram que os escores de eficiência média foram de 80,9% para a técnica, 90,7% para alocação, 73,4% para custo e 83,2% para escala, respectivamente. Os resultados da regressão indicaram que o tamanho da propriedade do arroz, o acesso ao crédito e o treinamento tiveram efeitos significativamente negativos sobre a eficiência técnica e de custo das fazendas. Os investigadores sugeriram que a qualidade do acesso ao crédito e programas de treinamento precisavam ser melhorados para aumentar a eficiência técnica e de custos dos agricultores.

Na região Noroeste do estado de São Paulo (Brasil), Sabbag *et al.* (2018) averiguaram a eficiência dos piscicultores, utilizaram o DEA e o modelo *Tobit* para encontrar variáveis explicativas de eficiência. Os resultados mostraram que os piscicultores possuem uma eficiência média de 0,80 para rendimentos constantes e de 0,98 para rendimentos variáveis, com uma eficiência de escala média de 0,81. Com relação às variáveis explicativas constataram-se que as variáveis organização coletiva, assistência técnica e tecnologia adotada influenciaram positivamente e a variável endividamento influenciou negativamente.

3.4.6 Modelos DEA, de Regressão e a Técnica *Bootstrap*

Karimov *et al.* (2014), numa investigação no Sul do Oeste da Nigéria, estimaram a eficiência de escala em fazendas produtoras de milho. Para calcular o desempenho

dessas fazendas eles utilizaram uma abordagem DEA com modelo econométrico de regressão. A abordagem *bootstrap* foi utilizada para obter escores de eficiência mais robustos. O estudo concluiu que ainda há espaço para melhorias de eficiência na produção de milho atual, como também identificou variáveis socioeconômicas, tais como trabalho, educação, serviços de extensão e de crédito que impactaram positivamente na eficiência técnica. O modelo DEA foi com orientação *input* (trabalho, implementos, custo dos produtos químicos, sementes e a área do plantio) e teve como *output* o valor da venda do milho.

Todos os investigadores citados referem-se sempre a estudos com dados de diversos períodos de tempo, no sentido de acompanhar a evolução do desempenho das unidades produtivas. A maior parte dos artigos encontrados não faz uso exclusivo de modelos DEA. Os autores usam modelos DEA e comparam seus resultados com os de outros modelos como modelos SFA. Usam os resultados do DEA como variável dependente de modelos de regressão, para identificar os fatores que afetam as medidas de eficiência. As variáveis usadas na modelagem DEA na área agrícola representam, na maioria dos casos, área, capital, trabalho como *inputs* e a produção agrícola como *output*. O Quadro 3 apresentado logo a seguir, consolida estas informações.

Como pode ser observado acima o modelo DEA-*Bootstrap* é mais utilizado para avaliar a eficiência nos empreendimentos agrícolas. Os agricultores com as informações sobre o escore de eficiência da sua unidade produtiva e quais soluções seriam necessárias para otimização dos recursos disponíveis poderão melhor gerir os seus negócios.

Os artigos investigados demonstraram a importância de aplicação do DEA na atividade rural. Eles mostraram as avaliações de desempenho de produtores, fazendas, cooperativas, centros agropecuários e regiões geográficas.

Na revisão da literatura sobre estudos empíricos de análise de eficiência da atividade rural apresentada acima, foram identificados alguns pontos que ainda precisam ser analisados, abrindo lacunas para novos estudos como:

- a) análise da eficiência em multiculturas e em especial a produção de frutas; e
- b) análise da eficiência em grandes projetos de irrigação.



Estudos sobre eficiência em empreendimentos onde a produção se caracteriza pela multicultura estão sendo pouco explorados. Notadamente um grande projeto de irrigação, ao evidenciar que existem investigações a serem feitas em futuras investigações, principalmente na área da fruticultura irrigada, representa uma lacuna a ser preenchida.

O Brasil tem destaque mundial na produção de frutas. Na região do submédio do Vale do São Francisco, denominado Polo de Fruticultura Irrigada, tem as cidades de Petrolina-PE e Juazeiro-BA que formam um complexo agroindustrial, com indústrias para o beneficiamento e processamento da produção agrícola. São indústrias de insumos para a agricultura irrigada, que produzem implementos agrícolas, fertilizantes, equipamentos de irrigação e materiais de embalagens.

Ao acompanharem este crescimento industrial, outras indústrias de atividades económicas diferentes, instalaram-se na região para atender o consumo da população. Desta maneira este polo da agricultura irrigada, possui características de um *Cluster*.

No caso do projeto Senador Nilo Coelho, a fruticultura constitui-se uma especialidade. Ele formou uma nova estrutura produtiva na região que contribuiu para mudanças significativas, pois tornou dinâmica a economia, está a gerar riquezas, tornar as terras mais produtivas e aumentar a renda da população do Vale do São Francisco.

Logo, com relação à medição da eficiência na agricultura não foram percebidos trabalhos voltados para um grande projeto de irrigação onde a unidade produtiva com cultivo de frutas variadas fosse analisada. Os trabalhos pesquisados se concentram na produção de uma ou duas culturas, no valor agregado da produção referente a um país ou região especificamente, isto evidencia que existem explorações a serem feitas em futuras investigações, principalmente na área da fruticultura irrigada.

Portanto, este polo, ou *Cluster* da agricultura irrigada no Nordeste do Brasil é muito importante economicamente e precisa que os seus projetos de irrigação sejam estudados, e nomeadamente a eficiência dos seus produtores.

Quadro 3 — Resumo dos investigadores citados com os modelos e *inputs/outputs* utilizados

Investigadores	Modelos DEA e Outros modelos	<i>Inputs (I)/Outputs (O)</i>	Ano
Reinhard <i>et al.</i>	VRS	(I) Trabalho, capital, insumos agrícolas, energia (O) Leite	2000
Shafiq e Rehman	VRS	(I) Trabalho, água, insumos agrícolas (O) Algodão	2000
De Koeijer <i>et al.</i>	CRS VRS	(I) Insumos poluentes (O) Produção de beterrabas	2002
Bayarsaihan e Coelli	DEA SFA	(I) Terra, trabalho, capital, insumos agríc. (O) Valor agregado da produção agrícola	2003
Abay <i>et al.</i>	CRS VRS	(I) Terra, trabalho, insumos químicos (O) Tabaco	2004
Gomes e Mangabeira	VRS	(I) Terra, trabalho, horas máquinas (O) Valor da produção de flores	2004
Helfand e Levine	CRS	(I) Terra, trabalho, capital, insumos agríc. (O) Valor bruto da produção	2004
Latruffe <i>et al.</i>	CRS SFA	(I) Terra, trabalho, capital, consumo (O) Valor da produção	2004
Nkamleu	DEA PTF	(I) Terra, trabalho, capital, insumos agríc. (O) Valor agregado da produção	2004
Coelli e Rao	DEA PTF	(I) Terra, trabalho, capital, insumos agríc. (O) Valor da produção agrícola e pecuária	2005
Latruffe <i>et al.</i>	CRS VRS- <i>Bootstrap</i>	(I) Terra, trabalho, capital (O) Valor da produção agrícola e pecuária	2005
Lissitsa e Odening	CRS VRS-PTF	(I) Terra, trabalho, capital (O) Valor da produção agrícola	2005
Binici <i>et al.</i>	CRS VRS	(I) Terra, trabalho, insumos agrícolas (O) Algodão	2006
Cinemre <i>et al.</i>	CRS VRS	(I) Trabalho, ração (O) Trutas	2006
Gocht e Balcombe	CRS VRS- <i>Bootstrap</i>	(I) Trabalho, insumos agrícolas (O) Produção de trigo	2006
Malana e Malano	CRS VRS	(I) Água, insumos agrícolas (O) Trigo	2006
Osborne e Trueblood	CRS VRS	(I) Terra, trabalho, capital, ins. agríc., comb. (O) Valor da produção	2006
Picazo-Tadeo e Reig-Martinez	CRS/VRS	(I) Terra, trabalho, capital, insumos agríc. (O) Citrus	2006
Davidova e Latruffe	CRS VRS- <i>Bootstrap</i>	(I) Terra, trabalho, capital, insumos agríc. (O) Produção agrícola	2007
Haji	CRS VRS- <i>Tobit</i>	(I) Terra, trabalho, capital, insumos agríc. (O) Produção de legumes, milho e pecuária	2007
Sauer e Abdallah	CRS VRS	(I) Terra, trabalho, lenha, insumos agrícolas (O) Tabaco	2007
Bojnec e Latruffe	CRS VRS	(I) Terra, trabalho, capital (O) Valor da prod. de várias ativ. agrícolas	2008

Investigadores	Modelos DEA e Outros modelos	Inputs (I)/Outputs (O)	Ano
Speelman <i>et al.</i>	CRS VRS-Tobit	(I) Terra, trabalho, água (O) Hortaliças	2008
Chen <i>et al.</i>	DEA Malmquist Tobit	(I) Trabalho, ração, insumos agrícolas (O) Valores da produção agrícola e pecuária	2008
Amores e Contreras	CRS VRS	(I) Terra, trabalho, capital (O) Oliveiras	2009
Bozoglu e Ceyhan	CRS VRS	(I) Trabalho, ração, óleo, energia (O) Trutas e robalos	2009
Frija <i>et al.</i>	CRS VRS-Tobit	(I) Terra, capital, águas (O) Horticultura de estufas	2009
Gomes <i>et al.</i>	VRS	(I) Terra, trabalho (O) Produção de arroz, milho e café	2009
Kilic <i>et al.</i>	CRS VRS-Tobit	(I) Trabalho, capital, insumos agrícolas (O) Avelãs	2009
Begum <i>et al.</i>	CRS VRS-Tobit	(I) Terra, trabalho, capital, ração (O) Produção de aves	2010
Li <i>et al.</i>	CRS VRS	(I) Trabalho, capital, insumos agrícolas, água (O) Produção de trigo, milho, sorgo, feno	2010
Pahlavan <i>et al.</i>	CRS VRS	(I) Trabalho, capital, insumos agríc., energia (O) Produção de rosas	2012
Dao e Lewis	CRS VRS	(I) Terra, fertilizantes, sementes, pesticida, capital (equipamento), trabalho familiar (O) Valor total das culturas	2013
Karimov, A.	CRS VRS-Bootstrap regressão	(I) Terra, trabalho, sementes, fertilizantes nitrogenados, diesel e outras despesas (O) Produção	2013
Karimov <i>et al.</i>	CRS VRS-Bootstrap	(I) Trabalho, implementos, custo dos produtos químicos, sementes e terra (O) Valor da produção	2014
Chebil <i>et al.</i>	CRS VRS-Tobit	(I) Água, sementes, fertilizantes e máquinas (O) Valor da produção de trigo	2015
Gadanakis <i>et al.</i>	CRS VRS	(I) Terra, custos agrícolas, água, custo de energia, trabalho, outros custos agrícolas (O) Valor bruto da produção	2015
Jiao <i>et al.</i>	CRS VRS	(I) Capital, ativos fixos, trabalho e o aluguel para comercialização das frutas (O) Lucro bruto do atacadista	2015
Linh <i>et al.</i>	CRS VRS-Bootstrap	(I) Terra, trabalho, semente, fertilizante (O) Valor da produção	2015
Mardani e Salarpour	CRS VRS	(I) Trabalho, terra, diesel, aluguel das máquinas, custo da água de irrigação, custo de fertilizantes e pesticidas, custo (O) Valor bruto da produção de batatas	2015
Parlakay <i>et al.</i>	CRS VRS	(I) Concentrado de ração, os custos veterinários e do trabalho (O) Produção anual de leite	2015
Clemente <i>et al.</i>	CRS VRS-Bootstrap	(I) Insumos, mão-de-obra (O) Produção	2015

Investigadores	Modelos DEA e Outros modelos	Inputs (I)/Outputs (O)	Ano
	<i>Tobit</i>		
Gül <i>et al.</i>	VRS	(I) Trabalho, concentrados de ração e custos veterinários (O) Valores da Produção de caprinos	2016
Silva <i>et al.</i>	VRS- <i>Bootstrap Tobit</i>	(I) Trabalho, capital, insumos, mão-de-obra (O) Produção de manga	2017
You e Zhang	CRS VRS- <i>Tobit</i>	(I) Trabalho, máquinas, pesticidas, fertilizantes químicos e óleo diesel (O) Amônia, emissão de nitrogênio e emissão de fósforo	2016
Mitra e Yunus	VRS	(I) Dias de homem de trabalho, custo de semente, custo de fertilizante, custo de irrigação, aluguel da terra (O) Produção de tomate	2018
Sherzod <i>et al.</i>	CRS VRS- <i>Tobit</i>	(I) Sementes, trabalho, fertilizantes (Kg/ha) (O) Produção do trigo	2018
Syp e Osuch	CRS VRS- <i>Tobit</i>	(I) Hora trabalhada, total e valor dos ativos (O) Produção total	2018
Lee <i>et al.</i>	CRS VRS- <i>Tobit</i>	(I) Sementes, adubos, fertilizantes, trabalho (O) Produção de arroz	2019
Oluwatayo e Adedeji	VRS CRS Reg. linear	(I) Rações, trabalho familiar, mão-de-obra contratada, capacidade de estocagem, preços dos insumos (O) Produtos dos pescado	2019
Sabbag <i>et al.</i>	CRS VRS- <i>Tobit</i>	(I) Água, Terra, trabalho, custo de produção (O) Quantidade produzida	2019
Siafakas <i>et al.</i>	VRS CRS	(I) Ração animal, horas de trabalho humano, valor da pecuária, capital médio investido (incluindo terra) (O) Produção de leite	2019

Fonte: Investigação direta (2019).

Para utilizar análise envoltória de dados deve ser observada a seleção das DMUs que serão objeto da análise e a seleção das variáveis (*inputs* e *outputs*) que são importantes para definir a eficiência relativa das DMUs selecionadas.

A literatura sobre avaliação do desempenho das unidades produtivas revela um dos grandes problemas na aplicação do modelo DEA que se prende com a escolha das variáveis *inputs* e *outputs* a serem utilizadas.

A definição da quantidade de DMUs e dos itens a serem considerados como *inputs* e *outputs* são tarefas imprescindíveis para aplicação dos modelos. Logo,

questiona-se sobre quais seriam os melhores *inputs* e *outputs* a serem empregados na análise envoltória de dados aplicada à agricultura?

As variáveis mais citadas na modelagem DEA na agricultura de acordo com a investigação (Quadro 3) na base de dados *Web of Science*, *Scielo* e *Google Acadêmico* como *inputs* foram a mão-de-obra (trabalho), área (terra), capital e os insumos agrícolas (ração, óleo, sementes, fertilizantes, pesticidas, água, aluguer de máquinas). Como *outputs* foram a produção vegetal expressa em unidades físicas ou valor.

Verificou-se também que o item água, que é um *input* importante para a produção foi pouco explorado pelos investigadores, conforme demonstra esta pesquisa bibliográfica. Apenas um artigo trabalhou com variáveis poluentes, como também não foram identificadas variáveis referentes à degradação ou salinização da terra que podem impactar na eficiência dos produtores. Isto ocorre provavelmente pela falta de registro de dados pelos produtores, particularmente os pequenos.

Quadro 4 — Frequência dos *inputs* e *outputs* utilizados pelos investigadores

<i>inputs/outputs</i>	Frequência
Água	10
Capital	26
Trabalho	41
Terra	27
Valor da produção	15

Fonte: Investigação direta (2018).

O levantamento no Quadro 4 acima mostra a frequência dos *inputs* água, terra, capital e trabalho e o *output* o valor da produção que foram utilizados pelos investigadores. Do total de 50 citações os *inputs* capitais, terra e trabalho aparecem em mais de 50% dos artigos.



Capítulo IV – METODOLOGIA

Neste capítulo, referente à metodologia, são apresentados os conceitos concernentes aos modelos básicos DEA, CCR e BCC. No modelo DEA–*Bootstrap* definiram-se 2.000 amostragens para os escores de eficiências dos produtores rurais. O modelo *Tobit* econométrico de regressão foi definido para identificar os fatores determinantes da eficiência dos produtores, pois nas referências deste estudo foi o mais citado entre os modelos de regressão. O método hierárquico *Ward* de análise de *cluster* foi estabelecido para caracterizar o perfil do produtor.

As variáveis investigadas agruparam-se nos aspectos sócio-económicos, de produção e gestão. Com o teste piloto aplicado, as questões do inquérito ficaram estabelecidas. Com a definição do público alvo, produtores de fruta até 7 hectares foi mensurado o tamanho da amostra.

Dimensionou-se em 6 etapas a investigação. Para cada etapa determinou-se o objeto, a amostra investigada e o método/técnica de avaliação. Os softwares “R”, STATA e SPSS foram os escolhidos para a estimação e compilação dos dados.

4.1 Os modelos

Nesta secção são evidenciados os conceitos referentes aos modelos básicos DEA e o modelo DEA–*Bootstrap*.

Comparar as unidades tomadoras de decisão de modo a avaliar a eficiência, só é válido se as mesmas operacionalizam atividades similares. A definição do que se deseja observar nas DMUs (*Decision Making Units*) é passo inicial para se chegar ao modelo DEA.

A primeira etapa do modelo DEA é definir o que se quer medir com as DMUs. Deve-se ressaltar que para avaliar a eficiência, as DMUs devem realizar tarefas similares, de modo que a comparação entre elas faça sentido.

Para alguns autores como Golany e Roll (1989), o cuidado com o tamanho da amostra é necessário para relacionar as variáveis e que muitas DMUs poderão influir na homogeneidade do conjunto estudado. De acordo com Andersen e Petersen (1993), a utilização do DEA requer ponderação para que a quantidade de variáveis de *input* e *output* não seja excessiva.

Para Cooper *et al.* (2007) quando a soma de *inputs* e *outputs* for maior que o número de DMUs pode proporcionar uma quantidade maior de DMUs na fronteira eficiente.

Nunamaker (1985) e Bowlin (1998) defendem que o tamanho da amostra para a modelação do DEA deveria ser pelo menos três vezes a soma do número de variáveis de *inputs* e *outputs* utilizados. Para eles, sendo o número de DMUs pequeno em relação a esta soma, a média de eficiência tende a aumentar. Segundo Habibov e Fan (2010) o número de DMUs deve ser no mínimo o dobro do número de *inputs* e *outputs*, para que o modelo apresente resultado satisfatório.

Os modelos DEA básicos são:

- Modelo CCR (Charnes, Cooper e Rhodes; 1978);
- Modelo BCC (Banker, Charnes e Cooper; 1984).

A eficiência produtiva está relacionada ao controle de perdas, buscando a utilização do mínimo de recursos para atingir determinada produção. Dela, extrai-se a eficiência de escala e a eficiência técnica.

O modelo CCR original, apresentado por Charnes, Cooper e Rhodes, em 1978 foi concebido inicialmente como um modelo orientado à entrada (*input*) e trabalha com rendimento constante à escala (CRS), isto é, qualquer variação nas entradas (*inputs*) produz variação proporcional nas saídas.

Cálculo da eficiência:

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{soma ponderada dos outputs}}{\text{soma ponderada dos inputs}} \quad (1)$$

O modelo permite que seja atribuído um conjunto de pesos (multiplicadores). Para Charnes *et al.* (1978) cada DMU poderá definir o seu próprio conjunto de pesos na busca pela maximização da eficiência, só que esta eficiência atingiria o máximo de 1.

4.1.1 Modelo CCR

Uma variação do modelo CCR originou o modelo de Programação Linear conhecido como modelo dos multiplicadores. Surgiu com uma variação no modelo

CCR, que visava encontrar valores para os pesos dos *outputs* (u_j) e *inputs* (v_i) de forma a maximizar a soma ponderada dos *outputs* dividida pela soma ponderada dos *inputs*.

Para cada DMU analisada são encontrados valores para os pesos (multiplicadores) que determinarão o valor das suas eficiências relativas. O modelo dual (modelo envelope) é construído com base no modelo primal e apresenta o mesmo valor ótimo para a função objetivo. A Formulação matemática dos modelos multiplicadores e envoltórios apresentam-se em seguida (Coelli *et al.*, 2005).

CCR – orientação *input* (multiplicadores) CCR – orientação *input* (dual)

$$\text{Max } h_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} \quad (2)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, K = 1, 2, \dots, n$$

$$u_j \text{ e } v_i \geq 0 \forall j, i$$

$$\text{Min } \theta \quad (4)$$

Sujeito a:

$$\theta x_{j0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad i = 1, \dots, r$$

$$-y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad j = 1, \dots, s$$

$$\lambda_k \geq 0 \forall k$$

CCR – orientação *output* (multiplicadores)

$$\text{Min } h_0 = \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} \quad (3)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, K = 1, 2, \dots, n$$

$$u_j \text{ e } v_i \geq 0 \forall j, i$$

CCR – orientação *output* (dual)

$$\text{Max } \theta \quad (5)$$

Sujeito a:

$$-\theta y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad j = 1, \dots, s$$

$$x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad i = 1, \dots, r$$

$$\lambda_k \geq 0 \forall k$$

Sendo:

h_0 e θ – eficiência;

u_j , v_i – pesos de *outputs* e *inputs* respectivamente;

x_{ik} , y_{jk} – *inputs* ‘i’ e *outputs* ‘j’ da DMU ‘k’;

x_{i0} , y_{j0} – *inputs* ‘i’ e *outputs* ‘j’ da DMU 0;

λ_k – k-ésima coordenada da DMU 0 numa base formada pelas DMUs de referência.

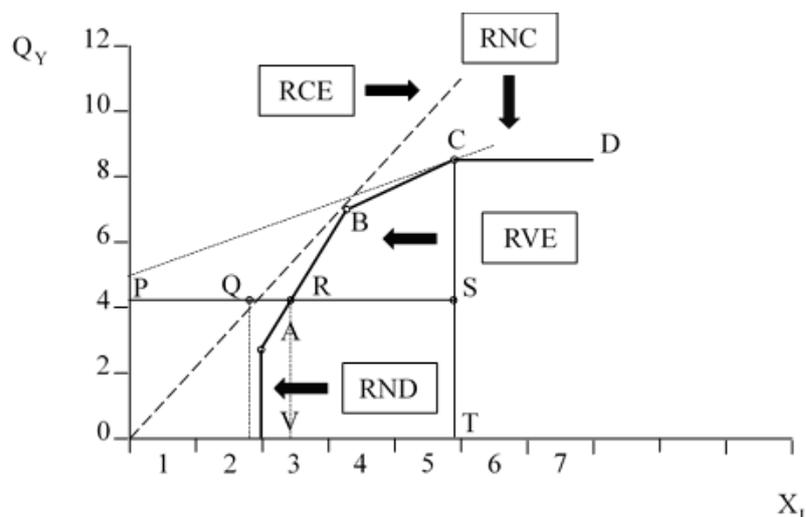
Em linhas gerais, o modelo CCR surgiu como um envoltório linear com rendimentos constantes à escala, e que um aumento proporcional nos *inputs* proporciona um aumento proporcional nos *outputs* (Coelli *et al.*, 2005).

4.1.2 Modelo BCC

O modelo BCC (Banker, Charnes e Cooper, 1984) ou VRS (*Variable Return Scale*), mostra DMUs que possuem rendimentos variáveis à escala. Na fronteira VRS um aumento no *input* poderá promover um acréscimo no *output*, podendo ser proporcional, crescente ou decrescente. O modelo BCC surgiu como uma forma de eficiência resultante da divisão do modelo CCR em dois componentes: eficiência técnica e eficiência de escala.

Segundo o modelo BCC a eficiência técnica identifica a correta utilização dos recursos na operacionalização da DMU e a eficiência de escala seria igual ao quociente da eficiência BCC com a eficiência CCR.

Figura 5 — Fronteira de possibilidades de produção com rendimentos variáveis



Fonte: Adaptado de Cook e Zhu (2008).

Sobre a reta pontilhada 0Q situam-se os pontos de Rendimentos Constantes à Escala (RCE), logo, as variações nos *inputs* resultam em variações proporcionais nos

outputs. Em relação aos segmentos da reta VA e RB, preponderam os rendimentos não decrescentes à escala (RND), conseqüentemente as variações nos *inputs* resultam em variações mais do que proporcionais nos *outputs*. Nos segmentos da reta BC, excluídos o ponto B e o segmento CD, observam-se rendimentos não crescentes à escala (RNC), ou seja, as variações nos *inputs* resultam em variações menos do que proporcionais nos *outputs*. Seguem abaixo os modelos envelope BCC (Cook e Zhu, 2008).

BCC – orientação *inputs*

BCC – orientação *outputs*

Min θ (6)

Max θ (7)

Sujeito a:

Sujeito a:

$$\theta x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad i = 1, \dots, r$$

$$x_{i0} + \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad \forall i$$

$$-y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad j = 1, \dots, s$$

$$-\theta y_{i j_0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad \forall j$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k$$

$$\lambda_k \geq 0 \quad \forall k$$

RVE *acrescentar*: $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$

RVE *acrescentar*: $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$

RNC *acrescentar*: $\sum_{k=1}^n \lambda_k \leq 1$

RNC *acrescentar*: $\sum_{k=1}^n \lambda_k \leq 1$

RND *acrescentar*: $\sum_{k=1}^n \lambda_k \geq 1$

RND *acrescentar*: $\sum_{k=1}^n \lambda_k \geq 1$

Se o valor do rendimento, em qualquer circunstância, for ‘1’ encontramos uma DMU eficiente; abaixo de ‘1’ a DMU será ineficiente. As DMUs eficientes definem as fronteiras, portanto, a redução dos insumos não deve ser superior ao valor fronteiroço.

O peso λ é um vetor ($n \times 1$) que é utilizado para calcular a solução ótima. Para uma DMU ineficiente, os valores de λ serão empregados a partir da combinação linear de DMUs eficientes, e projeta a DMU ineficiente na fronteira encontrada.

Portanto, as unidades eficientes irão contribuir com pesos calculados para a

construção de uma DMU virtual da unidade ineficiente mediante combinação linear. Essas unidades eficientes serão os *benchmarks*, que representam referenciais de excelências.

Tal como no modelo CCR, no modelo BCC para encontrar a medida relativa de eficiência, torna-se necessário que o modelo seja aplicado para cada uma das DMUs existentes. No modelo BCC para alcançar uma melhor situação para uma DMU, sugere-se combinar os modelos de rendimentos constantes à escala e variáveis à escala, no mesmo conjunto de dados. Caso exista diferença nos valores de eficiência técnica de uma determinada DMU, conclui-se que essa DMU tem ineficiência de escala.

A natureza da escala de uma determinada DMU pode ser verificada da seguinte forma: $ET_{RNC} = ET_{RVE}$ (rendimentos decrescentes), $ET_{RNC} \neq ET_{RVE}$ (rendimentos crescentes), $ET_{RND} = ET_{RVE}$ (rendimentos crescentes) e sendo $ET_{RND} \neq ET_{RVE}$ (rendimentos decrescentes) (Cook e Zhu, 2008), sendo:

ET_{RNC} (Eficiência técnica de rendimentos não crescentes)

ET_{RVE} (Eficiência técnica de rendimentos variáveis)

ET_{RND} (Eficiência técnica de rendimentos não decrescentes)

4.1.3 DEA-*Bootstrap*

O *Bootstrap* é caracterizado como um método estatístico cujo objetivo é calcular a precisão de medidas estatísticas. Este método é considerado derivado do método Monte Carlo que foi elaborado por Efron (1979). Com reamostragens com mesmo tamanho e realizada com reposição, o *Bootstrap* executa muitas simulações com geração de dados. Portanto, o *Bootstrap* é um método que por substituição de uma amostra de dados, replica o processo e gera dados e estimativas que são usadas para o cálculo estatístico.

Os métodos de reamostragem, permitem quantificar a incerteza, calcula os erros padrões e intervalos de confiança, bem como realiza testes de significância. Logo, obtida uma amostra (y_1, y_2, \dots, y_n) , retira-se dela uma amostra de tamanho 'n' com reposição. Sendo a amostra *Bootstrap*, $B = (y^*, y^*, \dots, y^*)$, o y^* é uma seleção aleatória de (y^*, y^*, \dots, y^*) . Para $j = 1, 2, \dots, m$, calcula-se amostras *Bootstrap*.

Uma vez que o DEA tem uma abordagem determinística, qualquer resultado diferente da eficiência total pode ser interpretado como ineficiência. Entre outros fatores, essa falsa-eficiência poderá induzir a erros de coleta de dados que comprometerá as estimativas feitas sobre os escores (Dong e Featherstone, 2004). Com o objetivo de corrigir essa fragilidade, é que são sugeridos o uso do *Bootstrap* para resultados mais consistentes.

Sendo um dos primeiros a utilizar o *Bootstrap* e a Análise Envoltória de Dados (DEA), Simar e Wilson (2007), defendem que na prática, é factível uma distribuição verdadeira de estimativas DEA, e realização de inferência estatística. Em resumo, a aplicação do método *Bootstrap*, reproduz variações na amostra primeira e possibilita pontuações de eficiência válidas com base na estatística.

Com o método *Bootstrap*, pode-se testar hipóteses, elaborar intervalos de confiança pertinentes ao escores de eficiência, e que a distribuição desses se inclina aos verdadeiros valores dos parâmetros que se deseja estimar (Coelli *et al.*, 2005). Portanto, este método, propicia uma roupagem estatística ao modelo DEA, quando possibilita verificar nos escores de eficiência, variação nas observações, além de permitir a inferência estatística.

Na aplicação do *smoothed-bootstrap* na DEA, calcula-se primeiramente a DEA com a amostra observada, onde são obtidos escores estimados de eficiência das 'k' DMUs (\hat{E}_k onde $k = 1, 2, \dots, K$) (Bogetoft e Otto, 2011). Logo depois são realizadas B réplicas para conseguir os escores *Bootstrap*. Esses escores são corrigidos pelo viés conforme sequência:

- a) são feitas amostras *Bootstrap* \hat{E}_k para cada uma das DMUs ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$);
- b) variáveis aleatórias independentes com padrão normal $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_k$ são simuladas;
- c) determina-se o alisamento conforme abaixo:

$$\widetilde{E}_k = \begin{cases} \beta k + h\epsilon_k & \text{se } \beta k + h\epsilon_k \leq 1, \\ 2 - \beta k + h\epsilon_k & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (8)$$

Como o DEA possui valores de eficiência entre 0 e 1, a reflexão surge para reparar possíveis problemas com valores próximos de 1.

- d) ao regular \widetilde{E}_k , tem-se os parâmetros para a variância assintótica, para que

aconteça estimação da variância:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^K (\widehat{E}_k - \overline{E_k})^2 \quad (9)$$

e) ao estimar a variância os cálculos podem ser realizados:

$$E_k^* = \bar{\beta} + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{h^2}{\sigma^2}}} (E_k - \bar{\beta}), \quad (10)$$

$$\bar{\beta} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^k \beta_k \quad (11)$$

As falsas amostras são conseguidas para cada DMU 'k', quando o *Bootstrap* é repetido.

Aplicadas no DEA, essas amostras possibilitam calcular os estimadores $E_1^b, E_2^b, \dots, E_k^b$. Onde $b = 1, 2, \dots, B$. Ao final, $(E_k^b - \hat{E}_k) | \hat{P} \sim (\hat{E}_k - E_k)$, onde P e P' são dados estimados e originais, tem-se $(E_k^b - \hat{E}_k)$ e $(\hat{E}_k - E_k)$, com distribuição de probabilidades semelhantes.

Neste estudo, o *Bootstrap* foi utilizado para estabelecer intervalos de confiança que possibilitam realizar inferências confiáveis sobre as diferenças de eficiência entre os produtores rurais com 2.000 reamostragens.

4.1.4 Tobit

O modelo econométrico de regressão *Tobit* foi utilizado para identificar os fatores determinantes da eficiência dos produtores do projeto senador Nilo Coelho. Este modelo foi desenvolvido por James Tobin, em 1958, também é conhecido como modelo de regressão censurada e é uma extensão do também modelo econométrico *Probit* (Gujarati, 2000).

Neste estudo o modelo *Tobit* apresenta-se mais apropriado, uma vez que a variável dependente é uma variável censurada, variando entre 0 e 1, ou seja, o escore de eficiência gerado. Quando a variável dependente é truncada, este modelo se torna uma opção ao Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).

Muitos investigadores, como Coelli *et al.* (2002) que analisaram a eficiência de

406 produtores de arroz de Bangladesh e outros já citados durante o levantamento bibliográfico (ver Quadro 3), utilizaram o modelo *Tobit*, conjuntamente com a análise DEA para identificar os determinantes da eficiência. Simar e Wilson (2007) afirmam que depois de estimados os escores de eficiência (DEA), use-se regressão truncada e procedimento de reamostragem *Bootstrap*.

O modelo *Tobit* padrão é assim definido por Greene (2012):

$$y_i^* = \beta' x_i + \varepsilon_i \quad (12)$$

Sendo:

$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$, distribuição normal, média zero e variância constante;

y_i^* - variável-índice;

y_i - escore DEA;

x_i - vetor das variáveis explicativas;

β - vetor dos parâmetros a serem estimados;

ε_i - termo de erro.

Conforme Greene (2012), o modelo de regressão *Tobit* pode ser utilizado quando a variável dependente se encontra entre faixas de valores, com pontos iguais a um valor limite. Sendo o modelo *Tobit* uma solução desse problema, pois se utiliza de técnicas estatísticas e realiza inferências para toda a população.

Apesar do escore de eficiência ter limite superior igual a um, ele optou pela fórmula abaixo com a truncagem em zero e transforma o escore de eficiência da DEA:

$$y_i = (1/\theta) - 1$$

O escore de eficiência da DMU quando for igual a 1 será transformado em zero. Sendo assim, os escores menores que 1 tornam-se valores positivos. Portanto, a equação estimada (12) mostra quais as variáveis que reduzem a ineficiência.

Diante do exposto, o modelo *Tobit* padrão passa a ser definido da seguinte forma:

Se $y_i^* > 0$, então $y_i = y_i^*$

Se $y_i^* \leq 0$, então $y_i = 0$

4.2 Análise de *Clusters*

A análise de *Clusters* foi utilizada para caracterizar o perfil do produtor do Projeto Senador Nilo Coelho. Este tipo de análise constitui uma técnica usada para separar elementos em grupos, de uma forma em que elementos dentro de um mesmo grupo tenham propriedades homogêneas entre si, mas diferentes de outros grupos.

Portanto, a análise de *Clusters* pretende situar as observações homogêneas em grupos, com a finalidade de definir uma estrutura para os dados (Hair *et al.*, 2014). As etapas para aplicação da análise de agrupamento são: a medida de similaridade dos dados; a formação dos agrupamentos e a escolha de quantos grupos deverão ser formados através de formas de validação. Portanto, a questão a ser observada é como medir similaridade, como formar os agrupamentos e quantos grupos formar.

Existem diversos algoritmos de agrupamento que podem suceder em diferentes padrões de agrupamento. Os hierárquicos caracterizam em agrupamentos sucessivos ou divisões sucessivas e são utilizados em casos considerados exploratórios. No algoritmo hierárquico, os indivíduos são separados em grupos em diferentes etapas, formam no final uma árvore de classificação (dendograma) são utilizados vários métodos para avaliar a distância entre grupos, sendo mais comuns o método de Ward e o método *Average Linkage Between Groups*..

O algoritmo não hierárquico é realizado quando ocorre interação entre ‘k’ grupos e utiliza alguns critérios que fazem com que se minimize a variância intergrupos. Inicialmente define-se o número ‘k’ de grupos, e depois destina ‘n’ objetos aos ‘k’ grupos de maneira a buscar uma alocação ótima.

Vários critérios para agrupamentos encontram-se no método hierárquico. Para Hair *et al.* (2014) o método de *Ward* consiste num procedimento de agrupamento hierárquico no qual a medida de similaridade usada para juntar agrupamentos é calculada como a soma de quadrados entre os dois agrupamentos feita sobre todas as variáveis. Segundo eles, este critério de agrupamento de subgrupos seria o mais eficiente desde que sejam consideradas determinadas situações.

Neste estudo de investigação foi empregado o método hierárquico e os critérios de *Ward* e *Average Linkage Between Groups*.. Estes métodos foram escolhidos devido à

natureza exploratória da análise. Normalmente, quando se tem variáveis quantitativas, é usada a distância euclidiana ao quadrado como medida de distância.

Esta medida pode ser encontrada com base na fórmula abaixo:

$$D_{i,j}^2 = \sum_{k=1}^p (x_{i,k} - x_{j,k})^2 \quad (15)$$

Sendo que:

$D_{i,j}^2$ = quadrado da distância entre os pares de variáveis 'i' e 'j';

$x_{i,k}$ = valor da k-ésima variável para o i-ésimo par de variáveis;

$x_{j,k}$ = valor da k-ésima variável para o j-ésimo par de variáveis;

p = número de variáveis.

Técnicas de validação foram utilizadas com objetivo de decidir acerca do número de *clusters*, já que a análise de *clusters* não é uma análise inferencial. Inicialmente diferentes critérios foram usados para verificar se existem diferenças de agrupamento. Neste estudo, preferiu-se expor resultados obtidos com o critério de *Ward*, pois não foram percebidas diferenças significativas. Foram avaliadas e comparadas a percentagem resultante da proporção da dispersão entre grupos (Soma dos Quadrados do Erro – SQE) versus dispersão total (Soma dos Quadrados Total – SQT) e o gráfico do cotovelo resultantes das ANOVAS para cada proposta de aglomeração.

4.3 Montagem da Base de Dados

Para atingir os objetivos propostos por esta investigação, foi feita uma pesquisa de campo com os pequenos produtores do Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, em Petrolina-PE, no período compreendido entre os anos de 2011 e 2013.

4.3.1 Elaboração do Questionário

Para elaboração do questionário, foi feita uma revisão de literatura com

trabalhos que mensuraram a eficiência da produção agrícola. Com intuito de definir quais as variáveis que deveriam ser introduzidas no questionário. Após a construção do questionário foi realizado um teste piloto, o qual foi ajustado até chegar ao questionário ideal para pesquisa.

4.3.2 Definição das Variáveis

A definição das variáveis para mensurar a eficiência dos pequenos produtores foi com base nos seguintes autores: Reinhard *et al.* (2000), Lissitsa *et al.* (2005), Coelli *et al.* (2005), Gomes *et al.* (2009), Picazo-Tadeo *et al.* (2006), Frija *et al.* (2009), Begum *et al.* (2010), Li *et al.* (2010), Pahlavan *et al.* (2012), Dao e Lewis (2013), Karimov (2013), Karimov *et al.* (2014), Gadanakis *et al.* (2015), Mardani *et al.* (2015).

Sendo assim, as variáveis foram divididas em *inputs* (entradas/insumos na propriedade) e *outputs* (saídas/produtos do lote) e utilizadas na aplicação da DEA. Para Thanassoulis (2001), a seleção das variáveis para compor os *inputs* e *outputs* podem impactar diretamente na modelagem e análise dos dados da avaliação DEA.

Os investigadores devem usar a experiência e o bom senso para o momento da seleção das variáveis, já que as mesmas são instrumentos importantes para a tomada de decisão.

Os investigadores Golany e Roll (1989) mencionaram que o processo de seleção de variáveis envolve: a) a causalidade; b) distinção das variáveis (se é *input* ou *output*); e exclusão de variáveis que a priori não se mostrarem significativas para o modelo.

Zhu (2014) explica que a escolha das variáveis de *inputs* e *outputs* deve ser feita através da observação de critérios estabelecidos com base numa lista de variáveis ligadas às DMUs. As variáveis usadas na modelagem DEA, na agricultura, representam na maioria dos casos terra, capital e trabalho como *inputs* e a produção agrícola ou valor da produção como *output*.

Nesta investigação optou-se por pequenos produtores de até 7 hectares de terra. Foi observado que a maioria não tinha registro e controle dos seus dados, o que dificultou a escolha de variáveis ligadas a custo de produção.

Considerada a disponibilidade das informações e o Quadro 3, onde é mostrado o

resumo dos investigadores citados com os modelos *inputs/outputs* utilizados; considerado que este quadro informa quais os *Inputs/Outputs* mais utilizados para o cálculo da eficiência dos produtores foi que se optou pela utilização dos *inputs* água (m³), capital (R\$), trabalho (quantidade de homens por colheita) e terra (hectares utilizados) e o *output* o valor da produção.

No caso do capital, trabalho e terra eles são utilizados como *inputs* em mais de 50% dos artigos relacionados.

Quadro 5 – Variáveis investigadas

Aspectos pessoais	Aspectos da produção	Aspectos de gestão
Escolaridade	Trabalho empregado	Assistência técnica
Tempo no lote	Capital investido	Cooperativismo/Associativismo
Idade	Água	Exportação
Sexo	Terra	Controle financeiro
	Valor da produção	Atualização de conhecimento

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O Quadro 5 apresenta um resumo das variáveis utilizadas na investigação. Para avaliar o perfil dos produtores, por cultura, foram observados os aspectos sociais (escolaridade, tempo no lote, idade e sexo) e os aspectos gerenciais (assistência técnica, cooperativismo/associativismo, exportação, controle financeiro, atualização de conhecimento). Estas variáveis qualitativas são importantes, pois permitiram correlacionar o perfil dos produtores eficientes com os aspectos qualitativos.

4.3.3 Cálculo da Amostra

Os dados utilizados nesta investigação no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, em Petrolina-PE, para o período de 2011 a 2013 foram coletados entre o segundo semestre de 2014 e o primeiro trimestre 2015. Com intuito de avaliar os pequenos produtores foram considerados apenas os produtores com área até sete hectares.

O Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho é formado por 2.317 unidades produtivas (composta pelos setores Nilo Coelho e Maria Tereza). Destes, 1.961 são

produtores familiares (até 7 hectares) e 356 são unidades produtivas com áreas de 7 e 10 a 50 hectares.

Para mensurar o tamanho da amostra foi utilizado o método de amostra aleatória simples, considerada uma população de 1.961 produtores e um erro amostral de 5%, o que resultou numa amostra de 311 produtores.

4.3.4 *Software*

Para mensurar a eficiência dos pequenos produtores do Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho foi o utilizado *software* R (versão 3.4) e o *package Benchmarking* desenvolvido por Bogetoft e Otto (2011). Para estimar o modelo DEA-*Bootstrap* foi utilizado o *package* FEAR (versão 2.0) desenvolvido e disponibilizado por Paul Wilson (2008), mediante a solicitação por e-mail. A Análise de *Clusters* foi realizada com recurso ao SPSS (versão 22.0). A estimação do modelo de regressão foi realizada com o apoio do *software* STATA (versão 14.0).

4.3.5 Preparação dos arquivos de dados para análise

Para a fase final da investigação o Quadro 6, apresentado a seguir, alinha os objetos de análise, os métodos e o tamanho da amostra.

Quadro 6 — Etapas da investigação

Etapa	Objeto	Amostra	Método/Técnica de avaliação
I	Avaliar o perfil das unidades produtivas	311	Análise de <i>cluster</i>
II	Determinar a eficiência dos produtores	306 ^(*)	DEA
III	Determinar a eficiência dos produtores por cultura	306	DEA- <i>Bootstrap</i>
IV	Correlacionar o perfil dos produtores identificados nos <i>clusters</i> e seus respectivos escores de eficiência	306	Análise de <i>cluster</i> DEA- <i>Bootstrap</i>
V	Correlacionar o perfil dos produtores eficientes com os aspectos qualitativos	306	DEA Análise qualitativa
VI	Identificar os fatores determinantes da eficiência dos produtores do Projeto Senador Nilo Coelho	306	DEA- <i>Bootstrap</i> <i>Tobit</i>

Fonte: Elaboração do próprio autor.



(*) A partir da Etapa II foram excluídos os produtores de maracujá, uma vez que a quantidade de variáveis utilizadas como *inputs* e *outputs* é exatamente igual aos números das DMUs.

Para a compilação dos dados, foram utilizados os *softwares*:

1. SPSS – para determinar o perfil dos produtores;
2. R (*package* ‘*Benchmarking*’) – para determinar a eficiência das unidades avaliadas (modelos DEA);
3. STATA – para a estimação do modelo de regressão que visa conhecer os determinantes da eficiência.



**Capítulo V – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS
RESULTADOS**

A análise de resultados foi distribuída em 7 secções mais a síntese. Primeiro apresenta-se uma análise descritiva e uma análise que caracteriza o perfil do produtor e da propriedade. Logo após, é feita uma análise da eficiência técnica dos produtores rurais no período compreendido entre os anos de 2011 e 2013.

A eficiência técnica foi calculada através dos modelos de rendimentos constantes à escala e rendimentos variáveis à escala para se obter a medida de eficiência técnica dos produtores. Na quarta secção foi cruzado o perfil dos produtores eficientes com os aspectos qualitativos.

A secção seguinte, mostrou resultado médio da eficiência por cada cultura durante o período analisado com as informações de desempenho com e sem *Bootstrap*. E por fim, nas últimas secções observou-se a eficiência *VRS-Bootstrap* por *Cluster*, e a identificação dos fatores determinantes que influenciaram a eficiência dos produtores.

A amostra foi estratificada nas seguintes culturas: acerola, banana, coco, goiaba, manga, maracujá e uva. Neste estudo, foram consideradas as variáveis de produção: valor da produção, consumo de água, mão-de-obra (trabalho), investimento (capital), área (terra) e as variáveis socioeconómicas e gerenciais utilizadas na análise de *clusters*.

5.1 Análise descritiva dos produtores do Projeto Senador Nilo Coelho

Na Tabela 4, é apresentada uma análise descritiva, onde são sintetizados os dados qualitativos e de produção, dessa forma, é permitido que se tenha uma visão global da amostra referente aos 311 produtores.

Na análise descritiva desta tabela, observou-se que na amostra dos 311 produtores, apenas 19,94% cursaram o ensino secundário e que apenas 16,72% possuem nível superior. Com relação à idade desses produtores, 59,16% estão com mais de 51 anos e apenas 4,18% são caracterizados como jovens produtores. Já no tempo de residência, 38,26% estão com mais de 20 anos no lote.

Tabela 4 — Estatística descritiva dos produtores

	Frequência	Percentual
Escolaridade – Anos de Estudo		
Sem instrução formal	76	24,44%
1º grau menor (1.º ao 5.º ano)	100	32,15%
1º grau maior (6.º ao 9.º ano)	21	6,75%
2º grau completo (ensino secundário)	62	19,94%
Nível superior	52	16,72%
Idade do produtor		
Entre 20 e 30 anos	13	4,18%
Entre 31 e 40 anos	38	12,22%
Entre 41 e 50 anos	76	24,44%
Entre 51 e 60 anos	71	22,83%
Acima de 60 anos	113	36,33%
Tempo de residência no lote		
Entre 4 a 10 anos	72	23,15%
Entre 11 a 15 anos	52	16,72%
Entre 16 a 20 anos	68	21,87%
Acima de 20 anos	119	38,26%

Fonte: Dados da investigação.

Tabela 5 — Estatística descritiva das propriedades

	Frequência	Percentual
Assistência técnica		
Empresa que presta serviço ao Perímetro Irrigado	209	67,20%
Consultoria Particular	102	32,80%
Controle financeiro-contábil		
Realiza controle financeiro/controla custos	60	19,29%
Relaciona receitas e despesas	144	46,30%
Nenhum controle	107	34,41%
Exportação		
Sim	69	22,19%
Não	242	77,81%
Participações em cooperativas, associações ou grupos		
Participa	84	27,01%
Não participa	227	72,99%
Atualização de conhecimentos agrícolas		
Atualiza-se através de cursos, seminários etc.	72	23,15%
Espera os encontros com a assistência técnica	239	76,85%

Fonte: Dados da investigação.

Pode-se observar na Tabela 5, que pouco mais de 32% dos produtores preferem

assistência técnica particular à oferecida pelo próprio distrito de irrigação. No Controle financeiro-contábil, apenas 19,29% sabem realmente os seus custos de produção e 34,41% não possuem nenhum controle.

Os produtores exportadores estão em torno de 22%. Somente 27,01% responderam no inquérito que participam de cooperativas, associações ou grupos que viabilizam a comercialização dos seus frutos. Muitos produtores ainda estão limitados ao conhecimento ou informações da própria assistência técnica do perímetro. Apenas 23,15% procuram atualizar-se sobre o mercado e as técnicas de produção através de cursos, encontros ou outros meios que possibilitem o melhoramento na produção e comercialização das suas frutas.

Tabela 6 – Valor médio das variáveis no período de 2011 a 2013

	Acerola	Banana	Coco	Goiaba	Manga	Maracujá	Uva
VBP (R\$)	76.426,00	76.770,00	94.171,00	104.261,88	89.794,00	69.074,00	252.894,92
Máximo	225.233,00	146.762,00	244.800,00	391.013,00	247.183,00	128.350,00	683.667,00
Mínimo	24.893,00	32.560,00	41.400,00	24.763,00	24.800,00	43.897,00	49.540,00
Desvio Padrão	34.628,02	34.008,00	44.858,00	62.611,00	45.546,00	34.797,00	143.300,17
Água (m ³)	95,20	81,83	80,05	81,32	68,83	78,61	75,42
Máximo	253,83	133,53	164,53	202,70	152,76	99,08	208,59
Mínimo	43,51	43,09	49,54	21,82	21,04	65,81	24,71
Desvio Padrão	39,98	30,98	34,36	38,87	32,45	12,66	33,90
Capital (R\$)	33.366,56	40.836,30	58.398,96	45.189,62	33.636,96	31.594,60	126.482,06
Máximo	49.000,00	66.500,00	351.833,00	188.683,00	70.567,00	42.723,00	206.000,00
Mínimo	4.500,00	23.000,00	44.833,00	14.950,00	8.833,00	19.750,00	22.400,00
Desvio Padrão	9.090,34	13.003,51	67.475,52	27.829,58	12.872,78	9.891,31	58.088,69
Trabalho (H/colheita)	1.079,11	206,40	188,96	137,32	97,80	93,80	944,23
Máximo	1.864,00	281,00	287,00	245,00	141,00	147,00	1.871,00
Mínimo	101,00	123,00	212,00	51,00	23,00	39,00	289,00
Desvio Padrão	330,82	56,36	34,85	43,68	31,49	40,39	294,59
Terra (ha)	5,12	5,28	5,54	5,20	5,05	4,24	5,09
Máximo	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	5,83	7,00
Mínimo	0,50	3,10	4,20	2,57	1,17	1,90	2,17
Desvio Padrão	1,32	1,27	0,79	1,26	1,57	1,50	1,26

Fonte: Dados da investigação.

Nas variáveis de produção (Tabela 6), os produtores de uva foram os que apresentaram a melhor média no triênio, com relação ao valor bruto de produção como também no capital investido. A cultura da acerola é a que apresentou o maior consumo de água médio anual no período, como também na quantidade de trabalho na colheita das frutas. No que concerne à utilização da terra para produção, praticamente em média, os produtores utilizam em torno de 5 hectares do total de 7 hectares disponíveis para a

produção. Apenas os produtores de maracujá utilizam 4,2 hectares, em média.

5.2 Análise de Cluster

Para esta caracterização foram utilizados dados primários e secundários referentes à aplicação de 311 questionários aos produtores rurais de até 7 hectares do projeto de irrigação Senador Nilo Coelho. Os dados secundários referentes aos valores da produção, consumo de água e a área cultivada foram levantados junto à empresa PLANTEC (Planejamento e Engenharia Agrícola Ltda.) e ao DINC (Distrito de irrigação Nilo Coelho), relativos à média da produção dos anos de 2011, 2012 e 2013. O inquérito utiliza questões referentes à escolaridade, idade, tempo no lote, forma de comercialização, gênero, assistência técnica, aspectos gerenciais, trabalho, capital e o tipo de cultura mais relevante economicamente. Todos os dados, primários e secundários, foram classificados por tipo de cultura.

Com a utilização do *software* SPSS 22.0 e os procedimentos descritos no capítulo anterior, os resultados mostram a obtenção de dois *clusters* com as informações sobre os dados referentes à média das produções dos anos de 2011, 2012 e 2013 por hectare (valor da produção, água consumida, mão-de-obra e capital). Com base no método de *Ward*, foram constituídos dois *clusters*. O primeiro Grupo ficou com 218 e o segundo com 93 produtores. Apenas para efeito de visualização, no Apêndice B apresenta-se o dendograma obtido com o método hierárquico, critério de *Ward*.

De modo a melhor compreender e conhecer os *clusters*, é apresentada a Tabela 7 que inclui algumas estatísticas dos grupos obtidos.

Tabela 7 — Estatística descritiva dos grupos obtidos com a análise de clusters

Critério de <i>Ward</i> – Grupo		N	Média	Desvio-padrão
Água	1	218	17,115	10,361
	2	93	16,694	19,901
Capital	1	218	6.890,702	1.612,844
	2	93	27.152,525	11.039,543
Trabalho	1	218	82,763	89,552
	2	93	162,492	68,513
VBP	1	218	15.957,607	5.123,305
	2	93	53.170,853	22.688,088

Fonte: Resultados da investigação.

Para identificar as variáveis que tiveram maior peso na formação dos *clusters* foi aplicada a análise de variâncias. Neste contexto foi realizada uma comparação dos valores médios das variáveis de interesse. Identificando assim as diferenças entre os grupos, no que concerne aos dados sociais, de comercialização e de gestão (Tabela 8).

Como pode ser observado na Tabela 8, foi identificado que as variáveis valor da produção (VBP), Capital e mão-de-obra (Trabalho) por hectares apresentam médias que são estatisticamente diferentes entre os dois grupos, concluindo-se assim que foram as que mais contribuíram para a formação dos *clusters*.

Tabela 8 — Teste de comparação de médias

		Soma de Quadrados	gl	Quadrados Médios	F	p-value
Água	Entre grupos	705,08	3	235,03	1,222	0,302
	Dentro dos grupos	59.036,84	307	192,30		
	Total	59.741,92	310			
Capital	Entre grupos	29.347.944.640,29	3	9.782.648.213,43	326,734	0,000
	Dentro dos grupos	9.191.787.942,35	307	29.940.677,34		
	Total	38.539.732.582,63	310			
Trabalho	Entre grupos	470.032,48	3	156.677,49	22,727	0,000
	Dentro dos grupos	2.116.444,30	307	6.893,96		
	Total	2.586.476,78	310			
VBP	Entre grupos	126.783.213.884,60	3	42.261.071.294,87	784,127	0,000
	Dentro dos grupos	16.545.980.283,75	307	53.895.701,25		
	Total	143.329.194.168,35	310			

Fonte: Resultados da investigação.

5.2.1 Caracterização do perfil do produtor

Para criar o perfil do pequeno produtor do Projeto de Irrigação Nilo Coelho, foi utilizada estatística descritiva para descrever os aspectos sociais dos colonos. Com relação à escolaridade do produtor, observa-se na Tabela 9 que no *cluster 2*, 51,6% dos produtores têm nível superior e que 74,3% do *cluster 1* não completaram o 1º grau maior, ou seja, não concluíram o 9º ano de ensino fundamental. Em qualquer unidade de produção, comercial ou de serviço, a escolaridade é um fator que contribui para um bom gerenciamento na tomada de decisão.

Tabela 9 — Nível de Escolaridade

Escolaridade		Cluster		Total
		1	2	
Sem formação	Qtd.	72	4	76
	Perc.	33,0%	4,3%	24,4%
1º grau menor	Qtd.	90	10	100
	Perc.	41,3%	10,8%	32,2%
1º grau maior	Qtd.	18	3	21
	Perc.	8,3%	3,2%	6,8%
2º Grau (ensino médio)	Qtd.	34	28	62
	Perc.	15,6%	30,1%	19,9%
Nível superior	Qtd.	4	48	52
	Perc.	1,8%	51,6%	16,7%
Total	Qtd.	218	93	311
	Perc.	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: Resultados da investigação.

No que se refere à idade dos produtores, pode-se observar na Tabela 10 que o *cluster 2* apresenta uma concentração maior de produtores entre 51 e 60 anos com 54,8% do total, enquanto no *cluster 1*, aproximadamente 47,7% se encontram com idade superior a 60 anos. Observa-se, portanto, que 36% dos produtores têm idade acima de 60 anos e que o *cluster 1* é o que possui o maior número.

Tabela 10 — Idade dos produtores

Idade		Cluster		Total
		1	2	
Entre 20 e 30 anos	Qtd.	13	0	13
	Perc.	6,0%	0,0%	4,2%
Entre 31 e 40 anos	Qtd.	30	8	38
	Perc.	13,8%	8,6%	12,2%
Entre 41 e 50 anos	Qtd.	51	26	77
	Perc.	23,4%	28,0%	24,8%
Entre 51 e 60 anos	Qtd.	20	51	71
	Perc.	9,2%	54,8%	22,8%
Acima de 60 anos	Qtd.	104	8	112
	Perc.	47,7%	8,6%	36,0%
Total	Qtd.	218	93	311
	Perc.	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: Resultados da investigação.

Na Tabela 11, pode se observar a relação ao gênero, a mulher participa com 17% da gestão do lote. No *Cluster 2* ela tem maior participação com 23,7%, enquanto no *Cluster 1* sua participação relativa é de apenas 14,2% do total do seu *cluster*.

Tabela 11 — Gênero dos produtores

Gênero		Cluster		Total
		1	2	
Feminino	Qtd.	31	22	53
	Perc.	14,2%	23,7%	17,0%
Masculino	Qtd.	187	71	258
	Perc.	85,8%	76,3%	83,0%
Total	Qtd.	218	93	311
	Perc.	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: Resultados da investigação.

Com isto, pode se afirmar que o *Cluster 1* é constituído por pessoas predominantemente do sexo masculino, com pessoas com idade acima dos 60 anos e com baixa escolaridade. O *Cluster 2*, é constituído pela grande maioria do sexo masculino, com idade entre 50 e 60 anos e com nível de escolaridade elevado.

5.2.2 Caracterização do perfil da propriedade

Para criar o perfil da propriedade do pequeno produtor do Projeto de Irrigação Nilo Coelho, foi utilizado estatística descritiva para descrever os aspectos da propriedade.

Na Tabela 12, mostra o tempo que o produtor está com o lote, como pode ser observado o *Cluster 2* tem 58,1% dos seus produtores na faixa de 16 a 20 anos de residência no lote. O *Cluster 1* contém os produtores com mais tempo no Projeto de Irrigação Nilo Coelho, que estão na faixa acima de 20 anos. Pode se observar também, que o *Cluster 1* possui produtores com mais idade, conforme descrito na análise na Tabela 12.

Tabela 12 — Tempo de permanência no lote

Tempo no Lote		Cluster		Total
		1	2	
De 4 a 10 anos	Qtd.	60	12	72
	Perc.	27,5%	12,9%	23,2%
De 11 a 15 anos	Qtd.	39	13	52
	Perc.	17,9%	14,0%	16,7%
De 16 a 20 anos	Qtd.	15	54	69
	Perc.	6,9%	58,1%	22,2%
Acima de 20 anos	Qtd.	104	14	118
	Perc.	47,7%	15,1%	37,9%
Total	Qtd.	218	93	311
	Perc.	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: Resultados da investigação.

A assistência técnica é um fator importante na gestão do lote. Muitos produtores seguem as orientações do técnico vinculado à empresa que presta serviço ao perímetro irrigado. Outros produtores optam por consultores externos. Pela Tabela 13, constata-se que 48,4% dos produtores do *Cluster* 2, preferem a assistência técnica de particulares, sendo justificada esta tendência em virtude do predomínio da cultura da uva neste agrupamento, já que ela exige um controle maior no processo produtivo devido, principalmente, às exportações.

Tabela 13 — Assistência técnica

		Cluster		Total
		1	2	
Empresa que presta serviço ao perímetro irrigado	Qtd.	161	48	209
	Perc.	73,9%	51,6%	67,2%
Consultoria particular	Qtd.	57	45	102
	Perc.	26,1%	48,4%	32,8%
Total	Qtd.	218	93	311
	Perc.	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: Resultados da investigação.

As formas participativas em associações tornam-se importantes para que uma unidade produtiva tenha bom desempenho na comercialização, além de possibilitar a troca de informações sobre as novas tecnologias de produção. A Tabela 14 mostra que

54,8 dos produtores no *Cluster 2* participam de algum tipo de associativismo. No *Cluster 1*, 84,9% preferem a venda direta aos intermediários ou levar a produção para comercialização direta nos mercados abastecedores.

Tabela 14 — Cooperativa ou associações

		<i>Cluster</i>		Total
		1	2	
Cooperativas, associações ou grupos.	Qtd.	33	51	84
	Perc.	15,1%	54,8%	27,0%
Não participa de cooperativas, associações ou grupos	Qtd.	185	42	227
	Perc.	84,9%	45,2%	73,0%
Total	Qtd.	218	93	311
	Perc.	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: Resultados da investigação.

O uso de ferramentas gerenciais é necessário em qualquer ambiente empresarial. A Tabela 15 demonstra que 52,7% dos produtores do *Cluster 2* afirmaram que fazem controle financeiro e de custos, enquanto no *Cluster 1*, 50% citaram que apenas relacionam as receitas e despesas. Os produtores rurais que não fazem nenhum controle correspondem a 34,4% da amostra que é um percentual considerável.

Tabela 15 — Controle financeiro-contábil

		<i>Cluster</i>		Total
		1	2	
Controle financeiro/custos	Qtd.	11	49	60
	Perc.	5,0%	52,7%	19,3%
Relaciona Receitas e despesas	Qtd.	109	35	144
	Perc.	50,0%	37,6%	46,3%
Nenhum controle	Qtd.	98	9	107
	Perc.	45,0%	9,7%	34,4%
Total	Qtd.	218	93	311
	Perc.	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: Resultados da investigação.

Referente às exportações, a Tabela 16 mostra que 54% dos produtores do

Cluster 2, direcionam sua produção para a exportação e que a uva é a cultura que impulsiona esta comercialização com 42 produtores dos 93. No *Cluster 1*, as exportações participam apenas com 8,7%.

Tabela 16 — Exportação

	<i>Cluster 1</i>		<i>Cluster 2</i>		Total
	Exporta	Não exporta	Exporta	Não exporta	
Acerola	10	45	2		57
Banana		10			10
Coco		21		4	25
Goiaba	4	55	4	5	68
Manga	1	53	2		56
Maracujá		5			5
Uva	4	10	42	34	90
Subtotal	19	199	50	43	
Total		218		93	311

Fonte: Resultados da investigação.

A agricultura exige sempre atualização de tecnologias e conceitos. Manter-se atualizado é fator essencial para estar vivo no mercado. A Tabela 17 mostra que 65,6% dos produtores do *Cluster 2* procuram atualização dos conhecimentos agrícolas. No *Cluster 1* ficou evidenciado que os produtores rurais, na sua maioria, não se esforçam pela procura de novos conhecimentos ou tecnologias já que 94,0% dos entrevistados esperam pelos encontros com a assistência técnica do perímetro irrigado.

Nesta análise de *Clusters*, as variáveis socioeconômicas, produtivas e de gestão mostraram as diferenças entre os produtores de até sete hectares do projeto Senador Nilo Coelho com a formação dos *Clusters 1 e 2*.

Tabela 17 — Atualização de conhecimentos agrícolas

		<i>Cluster</i>		Total
		1	2	
Atualiza-se através de cursos, revistas, internet, encontros, seminários etc.	Qtd.	13	61	74
	Perc.	6,0%	65,6%	23,8%
Espera os encontros com a assistência técnica do perímetro irrigado	Qtd.	205	32	237
	Perc.	94,0%	34,4%	76,2%
Total	Qtd.	218	93	311
	Perc.	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: Resultados da investigação.

Foram identificadas algumas diferenças marcantes entre os dois *Clusters* analisados.

A análise indica que no *Cluster 2*:

- a) o nível superior é preponderante no item escolaridade;
- b) a maior faixa etária se encontra entre 51 e 60 anos, diferentemente do *Cluster 1* que é acima de 60 anos;
- c) a cultura predominante é a uva;
- d) a sua produção é mais direcionada ao mercado externo;
- e) na sua maioria, os produtores estão entre 16 e 20 anos no lote;
- f) quase 50% dos colonos procuram consultoria particular, em virtude da características da cultura que exige mais tecnologia;
- g) procuram agrupar-se em cooperativas e/ou grupos de exportação visando bom rendimento financeiro;
- h) mais de 50% possuem controle financeiro contábil;
- i) estão sempre em busca de atualização de tecnologias e conceitos; e,
- j) os investimentos são bem superiores ao *Cluster 1*.

Quadro 7 — Comparativo das características predominantes por variáveis para cada *cluster*

Variáveis	<i>Cluster 1</i>	<i>Cluster 2</i>
Escolaridade	Conclusão do 1º grau menor	Nível superior
Idade (faixa etária)	Acima de 60 anos	Entre 51 e 60 anos
Cultura	Goiaba	Uva
Destino da produção	Mercado Interno	Mercado Externo
Gênero	Masculino	Masculino
Tempo de permanência no lote	20 anos	Entre 16 e 20 anos
Assistência técnica	Consultoria no perímetro irrigado	Consultoria particular
Participação em grupos/associações	Não participam	Participam
Controle financeiro-contábil	Apenas relacionam as receitas e despesas	Realizam controle financeiro-contábil
Atualizações em tecnologias e mercados	Não buscam atualizações	Buscam atualizações

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O *Cluster 1* caracteriza-se por baixo investimento e valor bruto da produção. É possível que o nível de escolaridade baixa possa ter tido influência num menor controle financeiro, na baixa demanda pelo associativismo e na procura pela atualização de conhecimentos agrícolas constantes.

5.3 Análise de modelos DEA

Os procedimentos para a realização da investigação estão constituídos nos seguintes passos: a coleta de dados, escolha das ferramentas para trabalhar os dados, as opções pelas variáveis, os *softwares* para rodar o DEA, análise e interpretação dos resultados e as conclusões finais.

A opção pelas variáveis: valor da produção, água, capital, trabalho e área (terra)

foi em virtude do levantamento bibliográfico (capítulo 3), que demonstrou que estas variáveis são comumente as mais utilizadas em artigos pelos investigadores que empregam os modelos DEA.

Os dados foram coletados junto ao DINC e a empresa PLANTEC, além dos dados coletados por meio de formulários de campo junto aos produtores rurais. O *software* empregado foi o programa “R” junto com os pacotes “*BENCHMARKING*” e “*FEAR*”.

Num universo de 1.384 produtores (setor Nilo Coelho) foi feita uma amostra com 311 produtores com lotes de até 7 hectares, que trabalham prioritariamente com uma cultura como fonte de renda.

Os lotes estudados possuem características semelhantes, ou seja, o mesmo tamanho e a mesma infraestrutura disponível pelo governo como: canais, vilas e assistência técnica. Esta similaridade permite que o DEA compare os insumos e a produção de cada DMU como os gastos e valores de produção das demais DMUs selecionadas.

Foram utilizados os métodos DEA CRS, VRS e o DEA-*Bootstrap* para avaliar a eficiência por cultura. A escolha pela orientação *input* teve como principal influência a perspectiva do agricultor ter possibilidade maior de reduzir os seus gastos com a produção, isso justifica-se devido à ineficiência estar mais correlacionada com a utilização de insumos.

Com os modelos DEA, VRS, CRS foram avaliadas as eficiências técnica e de escala de produção dos produtores das culturas de acerola, banana, coco, goiaba, manga e uva com orientação *inputs*. Os anos observados foram 2011, 2012 e 2013.

Foram feitas as seguintes análises:

1. análise da eficiência dos produtores através dos modelos CRS, VRS para os anos de 2011, 2012 e 2013;
2. análise de eficiência utilizando DEA-*Bootstrap* por cultura nos três anos;
3. análise dos produtores com rendimentos variáveis à escala com a Análise de *Cluster*;
4. análise dos produtores eficientes com os aspectos qualitativos.

Para a seleção dos insumos e produtos foram levados em consideração os dados disponíveis referentes às unidades produtivas, como também pesquisa bibliográfica que indicou as variáveis *inputs* e *outputs* comumente utilizadas nos modelos DEA nas investigações em propriedades rurais conforme mostrado no item 4.3.2.

Foram considerados como *inputs* e *output*:

- a) *input* 1: capital investido (máquinas agrícolas, sistema de irrigação);
- b) *input* 2: trabalho (homens/colheita);
- c) *input* 3: consumo de água (metro cúbico);
- d) *input* 4: terra (hectares utilizados);
- e) *output*: valor da produção (R\$).

No *input* capital e no valor bruto da produção, que são representados em valores monetários, são utilizados valores deflacionados.

5.3.1 Análise dos modelos DEA utilizados para os anos de 2011, 2012 e 2013 por cultura

5.3.1.1 Análise dos Produtores de Acerola

Na Tabela 18, foram utilizados os modelos de rendimentos constantes à escala e variáveis à escala para se obter a medida de eficiência técnica dos produtores. Com os resultados dessas medidas foram calculadas as medidas de eficiências de escala. Considerando o escore médio de CRS (2011) de 0,3822, o nível de ineficiência corresponde a 0,6178. Para que os produtores não comprometam a sua produção, em média, devem reduzir 61,78% da utilização dos seus gastos com os *inputs*, com base naqueles produtores com eficiência técnica igual a um (1).

Admitindo os rendimentos constantes à escala, as ineficiências observadas podem surgir em função da escala incorreta de produção. No caso dos produtores de acerola, apenas 2 não tiveram problemas de escala nos anos 2011 e 3 em 2012 e 2013.

Observando os rendimentos variáveis à escala (VRS), 6 produtores tiveram medida de eficiência técnica igual a 1 nos anos 2011 e 2012, com média de eficiência de 0,70584 e 0,74174 respectivamente. Esses produtores são referência para os outros

produtores estudados. Pode-se afirmar que estes produtores poderiam obter, em média, redução de 29,5% (2011) e 26% (2012) no montante de insumos empregados, sem comprometer os níveis de produção. Apenas a DMU 43 obteve eficiência ótima nos três anos, pois foi eficiente.

Tabela 18 — Eficiência dos produtores de acerola, segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala

ANO	2011			2012			2013		
	VRS	SE	CRS	VRS	SE	CRS	VRS	SE	CRS
Intervalos									
$0,1 \leq E < 0,2$	-	1	3	-	-	-	-	-	1
$0,2 \leq E < 0,3$	-	3	15	-	-	-	-	-	10
$0,3 \leq E < 0,4$	-	7	24	-	1	10	-	2	20
$0,4 \leq E < 0,5$	3	12	6	1	-	17	20	5	12
$0,5 \leq E < 0,6$	16	14	4	9	10	12	12	10	2
$0,6 \leq E < 0,7$	9	9	3	14	18	9	11	9	7
$0,7 \leq E < 0,8$	12	6	-	16	6	4	5	10	-
$0,8 \leq E < 0,9$	10	2	-	6	7	1	4	9	1
$0,9 \leq E < 1,0$	1	1	-	4	12	1	2	9	1
$E = 1,0$	6	2	2	7	3	3	3	3	3
Total	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Média	0,71	0,55	0,38	0,74	0,75	0,55	0,61	0,72	0,45
Mínimo	0,40	0,15	0,14	0,47	0,39	0,31	0,42	0,32	0,43
Máximo	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Desvio Padrão	0,16	0,18	0,17	0,15	0,17	0,17	0,16	0,19	0,20

Fonte: Resultados da investigação.

A queda em 2013 da eficiência VRS (Tabela 18) com relação aos anos anteriores teve como causa o aumento da quantidade de DMUs nos intervalos 0,4 a 0,5. Os *inputs* que mais apareceram como folgas nas DMUs ineficientes foram o capital e a terra nos anos 2011 e 2012. Em 2013, os *inputs* capital, terra e o trabalho foram os responsáveis diretos pela diminuição na média do escore VRS, pois aparecem como folgas 51, 33 e 32 vezes, respectivamente (Apêndice C).

A razão entre as medidas de eficiência entre os modelos constantes à escala e com rendimentos variáveis é caracterizada como a eficiência de escala (SE). A razão sendo abaixo de 1, o produtor será considerado tecnicamente como ineficiente (não operando na escala ótima). Sendo igual a 1 estaria o produtor produzindo na escala ótima.

No caso dos produtores de acerola, como a eficiência de escala foi em média 0,7229 (2013), eles poderiam experimentar um aumento médio de 27,71%, se regulassem as escalas de produção conforme a capacidade existente.

Os tipos de rendimentos à escala dos produtores de acerola podem ser observados na Tabela 19. Em que, 10,52% (2011) e 12,28% (2012) dos produtores obtiveram eficiência técnica, portanto, não apresentaram problemas na utilização dos *inputs*. Contudo, mais de 85%, nestes dois anos, utilizaram em excesso os insumos, podendo assim reduzi-los sem comprometer o *output*. Apenas 2 DMUs (2011), 3 em (2012) e 3 em (2013) não possuíram problemas de escala de produção nem de ineficiência na aplicação desses *inputs*.

No ano de 2013, dois produtores operaram com rendimentos decrescentes, logo precisarão reduzir a produção ou melhorar a produtividade dos fatores de produção para atingirem a fronteira da eficiência.

Tabela 19 — Distribuição dos produtores de acerola segundo o tipo de rendimento

	2011			2012			2013		
	Efi.	Inef.	Total	Efi.	Inef.	Total	Efi.	Inef.	Total
Crescente	4	51	55	4	50	54	-	52	52
Constante	2	-	2	3	-	3	3	-	3
Decrescente	-	-	-	-	-	-	-	2	2
Total	6	51	57	7	50	57	3	54	57

Fonte: Resultados da investigação.

O objetivo da Análise Envoltória de Dados não está circunscrito à identificação de produtores eficientes, mas fornecer informações para que os ineficientes busquem corrigir seus problemas através dos seus pares eficientes.

A Tabela 20 evidencia os principais *benchmarks* para os produtores de acerola ineficientes considerando os rendimentos variáveis à escala.

A mesma tabela demonstra ainda que a DMU 03 é considerada a principal parceira de excelência para o maior número de DMUs ineficientes em 2011 e 2012. A DMU 43 considerada eficiente nos 5 escores de eficiência destaca-se por ser referência nos três anos.

Tabela 20 — Principais *benchmarks* para os produtores de acerola ineficientes ao considerar os rendimentos variáveis à escala

2011		2012		2013	
<i>Benchmark</i>	DMUs Ineficientes	<i>Benchmark</i>	DMUs Ineficientes	<i>Benchmark</i>	DMUs Ineficientes
DMU 03	48	DMU 06	17	DMU 22	31
DMU 06	23	DMU 07	12	DMU 36	50
DMU 36	7	DMU 22	34	DMU 43	40
DMU 43	22	DMU 34	41		
DMU 47	3	DMU 36	13		
DMU 53	48	DMU 43	30		
		DMU 47	9		

Fonte: Resultados da investigação.

5.3.1.2 Análise dos Produtores de Banana

Do total de 10 produtores de banana (Tabela 21), sob os rendimentos constantes à escala, apenas 1 obteve a eficiência técnica em todos os anos. Considerando o escore médio de VRS (2011), a eficiência foi de 0,82592. Sendo o nível de ineficiência correspondente apenas a 0,17408. Sendo assim, para que os produtores não comprometam a sua produção, em média, devem reduzir aproximadamente 17% da utilização dos seus gastos com os insumos.

No modelo SE a média de escore ficou acima de 0,68 nos três anos. Os escores evidenciaram que o nível de ineficiência correspondeu a 0,2474 em 2011 e a 0,32 para os anos de 2012 e 2013. Casos os produtores de banana desejem manter o mesmo nível de produção, devem reduzir em torno de 24,74% e 32% o uso dos insumos utilizando como parâmetro DMUs eficientes.

Tabela 21 — Eficiência dos produtores de banana segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala

ANO	2011			2012			2013		
	VRS	SE	CRS	VRS	SE	CRS	VRS	SE	CRS
Intervalos									
$0,1 \leq E < 0,2$	-	-	-	-	-	1	-	-	-
$0,2 \leq E < 0,3$	-	1	1	-	-	-	-	-	-
$0,3 \leq E < 0,4$	-	1	1	-	2	1	-	-	-
$0,4 \leq E < 0,5$	-	2	2	-	1	1	-	2	3
$0,5 \leq E < 0,6$	-	1	1	1	1	2	-	2	3
$0,6 \leq E < 0,7$	4	2	2	-	1	2	2	2	1
$0,7 \leq E < 0,8$	-	-	-	1	2	-	-	-	1
$0,8 \leq E < 0,9$	2	-	-	2	-	1	1	3	1
$0,9 \leq E < 1,0$	-	-	-	-	1	-	2	-	-
$E = 1,0$	4	3	3	6	2	2	5	1	1
Total	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Média	0,83	0,76	0,64	0,89	0,68	0,62	0,90	0,69	0,61
Mínimo	0,60	0,45	0,27	0,50	0,35	0,19	0,62	0,40	0,40
Máximo	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Desvio Padrão	0,20	0,28	0,37	0,16	0,24	0,26	0,14	0,19	0,18

Fonte: Resultados da investigação.

Analisando as DMUs conclui-se que das dez analisadas, apenas a DMU 5 foi tecnicamente a mais eficiente. Esta apresentou médias de eficiência máxima nos modelos VRS, CRS, SE, DRS e IRS sugerindo que opera sem problemas de escala em todos os anos.

Conforme a Tabela 22, 40% dos produtores em 2011, 60% em 2012 e 50% em 2013 possuem eficiência técnica, portanto, não apresentam problemas na utilização dos *inputs*. Sendo que 60% usaram em excesso os insumos em 2011, 40% em 2012 e 50% em 2013, podendo reduzir os gastos nestes percentuais sem comprometer a produção.

Somente um produtor não teve problemas de escala de produção nem de ineficiência na aplicação desses *inputs* no triênio. Os produtores considerados eficientes e que apresentaram rendimento crescente à escala possuem problemas na escala incorreta de produção. As DMUs no período, caracterizadas como ineficientes tiveram problemas de sobras no uso dos insumos e na escala de produção.

A DMU 05 considerada tecnicamente eficiente, obteve na relação valor da produção por hectare, pelo menos o dobro com relação aos produtores considerados ineficientes ou eficientes com problemas de escala incorreta em todos os anos. No caso

de 2013, o índice foi de R\$37.970,00/ha para a DMU 05 e R\$15.472,00 para as demais DMUs.

Tabela 22 — Distribuição dos produtores de banana, segundo o tipo de rendimento

	2011			2012			2013		
	Efi.	Inef.	Total	Efi.	Inef.	Total	Efi.	Inef.	Total
Crescente	1	6	7	4	4	8	4	5	9
Constante	3	-	3	2	-	2	1	-	1
Decrescente	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	4	6	10	6	4	10	5	5	10

Fonte: Resultados da investigação.

A DMU 05 (Tabela 23) é considerada a principal parceira de excelência para as DMUs. Observando o ano de 2013, 3 DMUs apareceram simultaneamente com estes 2 *inputs* terra e capital como folgas (Apêndice C).

Tabela 23 — Principais *benchmarks* para os produtores de banana ineficientes ao considerar os rendimentos variáveis à escala

2011		2012		2013	
<i>Benchmark</i>	DMUs Ineficientes	<i>Benchmark</i>	DMUs Ineficientes	<i>Benchmark</i>	DMUs Ineficientes
DMU 01	3	DMU 03	1	DMU 03	2
DMU 04	6	DMU 05	3	DMU 05	5
DMU 05	3	DMU 09	3	DMU 07	2
DMU 07	5	DMU 10	3	DMU 09	3

Fonte: Resultados da investigação.

5.3.1.3 Análise dos Produtores de Coco

Dos 25 produtores, somente duas DMUs (03 e 17) foram eficientes sob os rendimentos constantes e variáveis à escala nos três anos. No CRS (2011), o escore médio foi de 0,65972 correspondendo a uma ineficiência de 34%. Percentual este que, em média, os produtores podem reduzir os insumos sem comprometer a sua produção. Como exemplo, a DMU 22 que obteve o menor escore entre os produtores possui eficiência técnica igual 0,26824 (2011). Neste caso, esta DMU precisava reduzir os insumos em 73,17% para atingir a fronteira de produção. Esses resultados podem ser

observados na Tabela 24.

Com o modelo VRS (2012), a média de eficiência foi de 0,8680 e as DMUs 03, 09, 13, 17 e 24 tiveram medida de eficiência técnica igual a 1. As DMUs ineficientes desejando atingir a eficiência terão que reduzir o percentual médio em 16,70%.

Tabela 24 — Eficiência dos produtores de coco segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala

ANO	2011			2012			2013		
	VRS	SE	CRS	VRS	SE	CRS	VRS	SE	CRS
Intervalos									
0,1 ≤ E < 0,2	-	-	-	-	1	1	-	-	2
0,2 ≤ E < 0,3	-	-	1	-	-	1	-	-	3
0,3 ≤ E < 0,4	-	-	4	-	1	3	3	2	7
0,4 ≤ E < 0,5	-	3	3	-	3	6	5	-	2
0,5 ≤ E < 0,6	3	1	4	1	3	1	6	-	3
0,6 ≤ E < 0,7	5	3	5	5	4	4	1	7	1
0,7 ≤ E < 0,8	5	4	-	4	3	3	3	6	1
0,8 ≤ E < 0,9	1	8	-	4	6	3	3	3	2
0,9 ≤ E < 1,0	3	3	2	6	1	-	-	4	1
E = 1,0	8	3	6	5	3	3	4	3	3
Total	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Média	0,82	0,79	0,66	0,83	0,70	0,60	0,64	0,77	0,54
Mínimo	0,50	0,41	0,27	0,55	0,15	0,15	0,37	0,35	0,24
Máximo	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Desvio Padrão	0,17	0,19	0,25	0,14	0,21	0,24	0,21	0,17	0,27

Fonte: Resultados da investigação.

No período de três anos, os produtores eficientes de coco (Tabela 25) decresceram de 8 para 4. Em 2013, o número de DMUs ineficientes foram 21. Logo, 84% utilizaram em excesso os insumos. Apenas dois produtores (DMUs 03 e 17) obtiveram eficiência técnica e de escala em 2011, 2012 e 2013.

Tabela 25 — Distribuição dos produtores de coco segundo o tipo de rendimento

	2011			2012			2013		
	Efi.	Inef.	Total	Efi.	Inef.	Total	Efi.	Inef.	Total
Crescente	2	17	19	2	20	22	1	21	22
Constante	6	-	6	3	-	3	3	-	3
Decrescente	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	8	17	25	5	20	25	4	21	25

Fonte: Resultados da investigação.

Observou-se com a Tabela 26, que a DMU 03 é a principal parceira de excelência para maiores números de DMUs ineficientes no período de 3 anos. A DMU 18 que surgiu como eficiente só em 2013 foi referência para 20 produtores neste ano, ou seja, sendo o principal parceiro de excelência.

Os *inputs* trabalho e terra foram os que mais surgiram como folgas nas DMUs ineficientes. Em 2013, dos 25 produtores, 11 apresentaram folgas em três *inputs* e 9 com dois *inputs*, estes surgimentos das folgas são confirmados com a queda da média VRS no período, passando de 0,81674 em 2011 para 0,63924 em 2013 (Apêndice C).

Tabela 26 — Principais *benchmarks* para os produtores de coco ineficientes ao considerar os rendimentos variáveis à escala

2011		2012		2013	
<i>Benchmark</i>	DMUs Ineficientes	<i>Benchmark</i>	DMUs Ineficientes	<i>Benchmark</i>	DMUs Ineficientes
DMU 03	16	DMU 03	15	DMU 03	12
DMU 10	13	DMU 09	13	DMU 17	11
DMU 13	16	DMU 13	4	DMU 18	20
DMU 25	16	DMU 17	12	DMU 21	4
		DMU 24	18		

Fonte: Resultados da investigação.

5.3.1.4 Análise dos Produtores de Goiaba

Analisando os intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala, na Tabela 27, ficou evidenciado que ocorreu queda durante o período analisado. Isto se deu em função da diminuição da quantidade de DMUs na faixa entre 0,8 e 0,9 de eficiência e consequente aumento na faixa de 0,5 e 0,6. As DMUs 03, 53 e 59 saíram de escores em torno de 0,9 em 2011 para 1, em 2012 e 2013.

Tabela 27 — Eficiência dos produtores de goiaba segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala

ANO	2011			2012			2013		
	VRS	SE	CRS	VRS	SE	CRS	VRS	SE	CRS
Intervalos									
0,1 ≤ E < 0,2	-	4	20	-	3	7	-	-	4
0,2 ≤ E < 0,3	-	16	25	-	2	12	2	1	10
0,3 ≤ E < 0,4	2	19	9	2	6	16	13	-	16
0,4 ≤ E < 0,5	12	12	2	10	4	11	12	2	16
0,5 ≤ E < 0,6	8	5	5	19	8	7	19	3	11
0,6 ≤ E < 0,7	6	4	2	11	10	5	9	6	2
0,7 ≤ E < 0,8	11	4	1	5	16	2	3	14	2
0,8 ≤ E < 0,9	14	-	2	5	8	1	-	21	1
0,9 ≤ E < 1,0	7	3	1	7	6	2	4	17	2
E = 1,0	8	1	1	9	5	5	6	4	4
Total	68	68	68	68	68	68	68	68	68
Média	0,73	0,43	0,32	0,69	0,67	0,46	0,57	0,81	0,47
Mínimo	0,39	0,18	0,13	0,36	0,07	0,68	0,25	0,27	0,14
Máximo	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Desvio Padrão	0,30	0,41	0,44	0,20	0,23	0,23	0,21	0,15	0,21

Fonte: Resultados da investigação.

Mais de 86% dos 68 produtores demonstraram rendimentos crescentes à escala no triênio (Tabela 28). Oito (8) foram eficientes no modelo VRS (2011), destes, sete (7) tiveram rendimentos crescentes, sugerindo problemas na escala de produção.

Tabela 28 — Distribuição dos produtores de goiaba segundo o tipo de rendimento

	2011			2012			2013		
	Efi.	Inef.	Total	Efi.	Inef.	Total	Efi.	Inef.	Total
Crescente	7	60	67	4	59	63	2	61	63
Constante	1	-	1	5	-	5	4	-	4
Decrescente	-	-	-	-	-	-	-	1	1
Total	8	60	68	9	59	68	6	62	68

Fonte: Resultados da investigação.

Conforme a Tabela 29, as DMUs 15, 03 e 04 foram as principais parceiras de excelência para maior número de DMUs. A DMU 27 que se mostrou eficiente em todos os modelos foi referência nos três anos. Os problemas com folgas cresceram nos anos de 2012 e 2013 (Apêndice C), sendo comprovadas com as quedas nas médias da eficiência VRS (Tabela 26). Das 59 DMUs ineficientes em 2012, 22 tiveram excessos

na utilização da água e da terra e 32 com o capital e a terra. Já em 2013, 35 DMUs tiveram folgas com água e 55 com a terra. Vinte e seis (26) DMUs apresentaram folgas com os *inputs* água e terra, simultaneamente.

Tabela 29 — Principais *benchmarks* para os produtores de goiaba ineficientes ao considerar os rendimentos variáveis à escala

2011		2012		2013	
<i>Benchmark</i>	DMUs Ineficientes	<i>Benchmark</i>	DMUs Ineficientes	<i>Benchmark</i>	DMUs Ineficientes
DMU 06	28	DMU 03	56	DMU 03	38
DMU 14	24	DMU 05	10	DMU 04	59
DMU 15	53	DMU 14	29	DMU 27	47
DMU 27	49	DMU 18	39	DMU 39	12
DMU 38	30	DMU 27	8	DMU 53	23
DMU 45	22	DMU 45	20	DMU 59	3
DMU 56	9				

Fonte: Resultados da investigação.

5.3.1.5 Análise dos Produtores de Manga

Com base na Tabela 30, do total de 56 produtores de manga, apenas as DMUs 03 e 24 foram eficientes em todos os anos e modelos. O ano que teve a menor média de eficiência técnica, com rendimentos constantes à escala para as 56 propriedades foi 2012, com 30,7%. Este escore indica que os produtores de manga poderiam reduzir, em média, o uso de todos os insumos em 69,3% operando tecnicamente eficiente sem diminuir a produção. Neste ano, do total das DMUs ineficientes, 27 tiveram problemas com folgas em pelo menos 2 *inputs* (Apêndice C). Os *inputs* trabalho e terra foram os que mais se repetiram.

Também em 2013 estes *inputs* estavam presentes em quase 50% das DMUs ineficientes. A DMU 33 com o menor escore entre os produtores de manga com eficiência técnica VRS igual 0,29491 (2012), teria que reduzir os seus gastos em média de 70,59% com a água, capital e o trabalho para atingir a fronteira de eficiência mantendo a produção.

Tabela 30 — Eficiência dos produtores de manga segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala

ANO	2011			2012			2013		
	VRS	SE	CRS	VRS	SE	CRS	VRS	SE	CRS
Intervalos									
0,1 ≤ E < 0,2	-	-	-	-	3	13	-	1	4
0,2 ≤ E < 0,3	-	-	-	1	10	23	-	3	11
0,3 ≤ E < 0,4	-	1	11	13	6	11	7	3	13
0,4 ≤ E < 0,5	1	3	10	15	1	3	15	6	11
0,5 ≤ E < 0,6	7	7	9	7	11	3	8	4	6
0,6 ≤ E < 0,7	11	16	10	6	5	-	5	5	4
0,7 ≤ E < 0,8	9	4	5	4	6	1	7	6	2
0,8 ≤ E < 0,9	7	8	6	2	10	-	3	7	1
0,9 ≤ E < 1,0	11	12	-	2	2	-	2	19	2
E = 1,0	10	5	5	6	2	2	9	2	2
Total	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Média	0,80	0,75	0,60	0,57	0,57	0,31	0,64	0,73	0,45
Mínimo	0,49	0,36	0,31	0,29	0,08	0,06	0,31	0,10	0,10
Máximo	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Desvio Padrão	0,26	0,32	0,35	0,16	0,18	0,20	0,23	0,25	0,22

Fonte: Resultados da investigação.

Aproximadamente 89% dos produtores (Tabela 31) apresentaram rendimentos crescentes à escala em 2011. Sendo que 45 são rotulados como ineficientes e 5 foram eficientes no modelo VRS. Houve um crescimento no número de DMUs com rendimentos decrescentes. Passando de 1 em 2011 para 6 em 2013.

Tabela 31 — Distribuição dos produtores de manga segundo o tipo de rendimento

	2011			2012			2013		
	Efi.	Inef.	Total	Efi.	Inef.	Total	Efi.	Inef.	Total
Crescente	5	45	50	4	50	54	7	41	48
Constante	5	-	5	2	-	2	2	-	2
Decrescente	-	1	1	-	-	-	-	6	6
Total	10	46	56	6	50	56	9	47	56

Fonte: Resultados da investigação.

As DMUs 03 e 24 são *benchmarks* (Tabela 32) das DMUs ineficientes nos três anos. A DMU 03 é considerada a principal parceira para o maior número de DMUs nos anos de 2012 e 2013.

Tabela 32 — Principais *benchmarks* para os produtores de manga ineficientes ao considerar os rendimentos variáveis à escala

2011		2012		2013	
<i>Benchmark</i>	DMUS Ineficientes	<i>Benchmark</i>	DMUS Ineficientes	<i>Benchmark</i>	DMUS Ineficientes
DMU 03	15	DMU 03	49	DMU 03	45
DMU 10	19	DMU 05	33	DMU 05	25
DMU 15	7	DMU 10	2	DMU 15	26
DMU 24	7	DMU 15	25	DMU 16	11
DMU 41	4	DMU 24	21	DMU 24	8
DMU 42	13			DMU 45	3
DMU 49	4				
DMU 52	35				
DMU 53	26				

Fonte: Resultados da investigação.

5.3.1.6 Análise dos Produtores de uva

Verificou-se na Tabela 33, que ocorreu uma queda na média de eficiência técnica nos modelos VRS, CRS e SE, em virtude da redução do número de DMUs com eficiência “1” no período. Em 2011, o escore médio calculado no modelo CRS foi de 0,588. Portanto, com um nível médio de ineficiência de 0,412. Para que os produtores não comprometam a sua produção, em média, devem reduzir até 41,2% na utilização dos seus gastos com os *inputs*. Este percentual aumentou no ano de 2013 para 49,15%.

Mais de 84% dos 90 produtores apresentaram rendimentos crescentes à escala nos três anos (Tabela 34). Sete (7) DMUs foram eficientes no modelo VRS em 2011, seis (6) em 2012 e cinco (5) em 2013, com rendimentos crescentes, sugerindo problemas na escala de produção. Três produtores em 2011 e 2013 e cinco em 2012 foram considerados ineficientes, pois apresentaram problemas de sobras no uso dos *inputs* e problemas na escala de produção.

Com base na Tabela 35 das DMUs com eficiência ótima, foram *benchmarks* apenas as DMUs 12 e 81 (2011), 07 e 62 (2012) e 04, 06 e 14 (2013). A DMU 62 foi referência nos três anos. As outras DMUs foram eficientes só no modelo VRS. Em 2013, por exemplo, a DMU 09 foi referência para 75 DMUs ineficientes, mesmo com uma receita de R\$42.000,00 cultivando apenas um hectare, bem abaixo da média de

todos os produtores de uva. Isto aconteceu em virtude desta DMU ter aplicado bem os recursos disponíveis.

Tabela 33 — Eficiência dos produtores de uva segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala

ANO	2011			2012			2013		
	VRS	SE	CRS	VRS	SE	CRS	VRS	SE	CRS
Intervalos									
0,1 ≤ E < 0,2	-	-	2	-	2	3	1	2	8
0,2 ≤ E < 0,3	-	1	8	-	-	8	1	-	13
0,3 ≤ E < 0,4	-	4	9	1	5	19	11	3	16
0,4 ≤ E < 0,5	10	5	15	6	8	15	19	5	15
0,5 ≤ E < 0,6	12	6	16	18	7	10	11	8	13
0,6 ≤ E < 0,7	17	9	14	19	10	9	14	8	7
0,7 ≤ E < 0,8	24	13	10	15	15	9	12	24	5
0,8 ≤ E < 0,9	8	15	2	12	8	7	6	19	4
0,9 ≤ E < 1,0	5	30	7	8	30	5	5	16	4
E = 1,0	14	7	7	11	5	5	10	5	5
Total	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Média	0,73	0,79	0,59	0,73	0,76	0,56	0,63	0,75	0,49
Mínimo	0,42	0,29	0,19	0,37	0,11	0,06	0,20	0,17	0,52
Máximo	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Desvio Padrão	0,29	0,36	0,41	0,17	0,23	0,24	0,21	0,19	0,25

Fonte: Resultados da investigação.

Tabela 34 — Distribuição dos produtores de uva segundo o tipo de rendimento

	2011			2012			2013		
	Efi.	Inef.	Total	Efi.	Inef.	Total	Efi.	Inef.	Total
Crescente	7	73	80	6	74	80	5	77	82
Constante	7	-	7	5	-	5	5	-	5
Decrescente	-	3	3	-	5	5	-	3	3
Total	14	76	90	11	79	90	10	80	90

Fonte: Resultados da investigação.

Quem mais contribuiu para o número de DMUs ineficientes com folgas foi o *input* trabalho, aparecendo 47 vezes em 2011, 52 em 2012 e 47 em 2013 (Apêndice C). Quatorze (14) DMUs apresentaram tanto folgas no *input* trabalho como no *input* terra.

Tabela 35 — Principais *benchmarks* para os produtores de uva ineficientes ao considerar rendimentos variáveis à escala

2011		2012		2013	
<i>Benchmark</i>	DMUs Ineficientes	<i>Benchmark</i>	DMUs Ineficientes	<i>Benchmark</i>	DMUs Ineficientes
DMU 12	42	DMU 10	51	DMU 06	23
DMU 38	14	DMU 12	23	DMU 09	75
DMU 39	48	DMU 35	26	DMU 14	36
DMU 46	46	DMU 39	6	DMU 39	10
DMU 53	4	DMU 46	40	DMU 59	47
DMU 62	13	DMU 56	8	DMU 62	18
DMU 81	41	DMU 62	47		
DMU 87	3				

Fonte: Resultados da investigação.

Nesta secção foram analisadas as eficiências dos produtores das culturas acerola, banana, coco, manga, goiaba, manga e uva, segundo intervalos de medidas de eficiência técnica e de escala; os principais *benchmarks* para os produtores ineficientes considerando os rendimentos variáveis à escala, bem como a identificação dos *inputs* utilizados com folgas nas unidades de produção que não atingiram a eficiência.

Constatou-se que os produtores rurais trabalharam na sua maioria com rendimentos crescentes à escala, e que os produtores ineficientes estão acima de 80% para o período entre 2011 e 2013, conforme pode ser observado na distribuição dos produtores por cultura segundo o tipo de rendimento (Tabelas 19, 22, 25, 28, 31 e 34). Com relação às folgas, o *input* terra está presente na maioria das propriedades consideradas ineficientes (Apêndice C).

5.4 Análise do perfil dos produtores eficientes com os aspectos qualitativos

Nesta secção serão mostrados os aspectos qualitativos, neste caso socioeconómicos, dos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80. É natural, na coleta com dados primários, que alguma falha de anotação de dados ocorra. Este facto pode incluir na fronteira alguma DMU que se encontra fora das condições não observadas, fugindo assim da realidade. Os produtores que obtiverem este índice mínimo de eficiência são considerados

eficientes para efeito de análise nesta secção. Neste período, apenas 86 produtores conseguiram atingir o escore mínimo de 80% de eficiência.

Dos 86 produtores eficientes (Tabela 36), 30 terminaram o ensino médio e destes, 25 concluíram o ensino superior, e 65% não concluíram o ensino médio. Mais de 70% dos produtores de uva possuem nível superior. Ao passo que os produtores de acerola e banana se concentram praticamente na faixa de ‘sem escolaridade’ ou do ‘1º ciclo’. Entre as seis culturas, estas duas tem baixo investimento e menores valores brutos de produção.

Tabela 36 — Escolaridade dos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80

Escolaridade	Acerola	Banana	Coco	Goiaba	Manga	Uva	Total
Sem formação	6	4	0	5	2	2	19
1º ciclo	5	3	5	5	8	1	27
2º e 3º ciclos	0	1	1	4	2	2	10
Ensino secundário	0	0	2	0	1	2	5
Ensino Superior	1	0	1	4	1	18	25
Total	12	8	9	18	14	25	86

Fonte: Resultados da investigação.

Conforme a Tabela 37, mais de 54% dos produtores eficientes se encontram há mais de 16 anos no lote. Produtores no intervalo de 4 a 10 anos são 19%. No caso de produtores de uva, onde se observa maior número de DMUs eficientes, 68% se encontram na faixa de 16 a 20 anos.

Tabela 37 — Tempo no lote dos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80

Tempo no lote	Acerola	Banana	Coco	Goiaba	Manga	Uva	Total
De 4 a 10 anos	2	1	2	7	2	2	16
De 11 a 15 anos	2	1	2	1	4	3	13
De 16 a 20 anos	3	0	2	3	3	17	28
Acima de 20 anos	5	6	3	7	5	3	29
Total	12	8	9	18	14	25	86

Fonte: Resultados da investigação.

A Tabela 38 apresenta os produtores eficientes de acerola e banana que se encontram com os maiores percentuais acima de 60 anos com relação as suas quantidades. Os produtores de uva têm sua maior concentração na faixa de 41 a 50 anos. Dos 86 produtores, 76 estão com idades acima de 40 anos.

Tabela 38 — Idade dos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80

Idade	Acerola	Banana	Coco	Goiaba	Manga	Uva	Total
Entre 20 e 30 anos	0	1	0	1	1	0	3
Entre 31 e 40 anos	1	0	1	1	3	1	7
Entre 41 e 50 anos	1	1	4	2	5	10	23
Entre 51 e 60 anos	2	0	1	6	1	11	21
Acima de 60 anos	8	6	3	8	4	3	32
Quantidade	12	8	9	18	14	25	86

Fonte: Resultados da investigação.

Os produtores eficientes (Tabela 39) são do gênero masculino em sua maioria (em torno de 81%). Os produtores de goiaba, manga são os que possuem a maior concentração do gênero feminino como eficientes em termos absolutos. Os produtores de banana são 100% do gênero masculino.

Tabela 39 — Gênero dos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80

Gênero	Acerola	Banana	Coco	Goiaba	Manga	Uva	Total
Feminino	3	0	1	5	4	3	16
Masculino	9	8	8	13	10	22	70
Total	12	8	9	18	14	25	86

Fonte: Resultados da investigação.

Excetuando os produtores de uvas (Tabela 40), que em torno de 52%, procuram a consultoria particular, pois exige maior cuidado com o manejo da cultura e altos valores de investimentos (capital), os outros produtores eficientes das demais culturas (71%) optam, em sua maioria, pela assistência técnica oferecida pelo próprio distrito de irrigação.

Tabela 40 — Assistência técnica dos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80

Assistência Técnica	Acerola	Banana	Coco	Goiaba	Manga	Uva	Total
Assistência técnica do próprio Distrito	9	7	7	14	10	12	61
Consultoria Particular	3	1	2	4	4	13	25
Total	12	8	9	18	18	25	86

Fonte: Resultados da investigação.

Conforme a Tabela 41, mais de 66% dos produtores considerados eficientes, não são cooperados ou não participam de associações ou grupos. No caso dos produtores de uva 64% participam de associações ou grupos visando principalmente o comércio internacional.

Tabela 41 — Participações em cooperativas ou associações pelos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80

Cooperativa/Associações	Acerola	Banana	Coco	Goiaba	Manga	Uva	Total
Participa	4	0	0	3	6	16	29
Não Participa	8	8	9	15	8	9	57
Total	12	8	9	18	14	25	86

Fonte: Resultados da investigação.

As exportações têm predominância entre os produtores eficientes de uva (Tabela 42). Pois do total dos 24 produtores que exportam, 17 são produtores de uva, sendo que os produtores de banana e coco visam apenas o mercado interno.

Tabela 42 — Exportação pelos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80

Exportação	Acerola	Banana	Coco	Goiaba	Manga	Uva	Total
Sim	2	0	0	3	2	17	24
Não	10	8	9	15	12	8	62
Total	12	8	9	18	14	25	86

Fonte: Resultados da investigação.

Apenas 31 dos 86 (Tabela 43) possuem controle financeiro e de custos e que na sua maioria são produtores de uva. Mais de 50% apenas relacionam as despesas e

receitas sem se preocupar com os custos e o equilíbrio financeiro.

Tabela 43 — Controle financeiro-contábil dos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80

Controle Financeiro/contábil	Acerola	Banana	Coco	Goiaba	Manga	Uva	Total
Controle financeiro/controla custos	4	0	1	3	3	20	31
Relaciona receitas e despesas	6	5	5	7	8	5	36
Nenhum controle	2	3	3	8	3	0	19
Total	12	8	9	18	14	25	86

Fonte: Resultados da investigação.

A Tabela 44 mostra que 65% dos produtores eficientes ainda preferem que assistência técnica do projeto de irrigação tragam informações atualizadas sobre a produção e comercialização das suas culturas. Somente 30 produtores procuraram a atualização dos seus conhecimentos. Entre eles encontram-se inseridos aqueles produtores de acerola, goiaba, manga e uva que optaram por participarem de cooperativas ou grupos e pela exportação.

Tabela 44 — Atualização de conhecimentos pelos produtores que obtiveram eficiência média VRS dos anos 2011, 2012 e 2013 igual ou acima de 0,80

Atualização	Acerola	Banana	Coco	Goiaba	Manga	Uva	Total
Atualizar-se através de cursos, seminários etc.	4	0	2	3	3	18	30
Espera os encontros com a assistência técnica	8	8	7	15	11	7	56
Total	12	8	9	18	14	25	86

Fonte: Resultados da investigação.

5.5 Análise utilizando DEA *Bootstrap*

Esta secção apresenta o resultado médio da eficiência por cada cultura, para os anos de 2011, 2012 e 2013, com as informações de desempenho com e sem *Bootstrap*. Os níveis de eficiência *Bootstrap* permitem observar as distâncias produto corretas, com os seus intervalos de confiança quando estabelecem uma fronteira de produção mais

próxima do real do que sua apresentação evidenciada

Na Tabela 45, analisando como exemplo apenas os produtores de banana, dentre os 6 com eficiência VRS igual a 1, a DMU 10 foi a que apresentou melhor índice de eficiência *Bootstrap* com 2.000 reamostragem.

Após as 2.000 replicações *Bootstrap*, os níveis de eficiência são inferiores aos índices estimados pelo método DEA com Rendimentos Variáveis à Escala com o enviesamento positivo. Sugerindo uma superestimação dos níveis de eficiência por este método. Esta superestimação não aconteceu só com os produtores de banana, mas também com os de acerola, coco, goiaba, manga e uva conforme as Tabelas 45 e 46.

Tabela 45 — Produtores de banana 2012, níveis de eficiência do modelo DEA-VRS e seus resultados com relação aos níveis de eficiência *Bootstrap*, o viés estimado, e o intervalo de confiança para um nível de significância de 5% e 2.000 re replicações

DMU	Eficiência	Eficiência com o <i>Bootstrap</i>	Enviesamento	Intervalo	
3	1,000	0,889	0,111	0,784	0,994
4	1,000	0,899	0,101	0,794	0,994
5	1,000	0,866	0,134	0,668	0,994
7	1,000	0,904	0,096	0,814	0,995
9	1,000	0,872	0,128	0,723	0,994
10	1,000	0,913	0,087	0,810	0,994
6	0,877	0,809	0,068	0,714	0,872
1	0,838	0,786	0,052	0,729	0,832
2	0,718	0,656	0,062	0,587	0,715
8	0,500	0,461	0,039	0,406	0,498

Fonte: Resultados da investigação.

Pelos resultados verificou-se a redução na eficiência média em virtude da influência significativa dos índices de eficiência com as variações das amostras. Observou-se que os valores diferentes da eficiência média corrigida, em algumas culturas, são significativos quando comparados com os valores originais. Observe, por exemplo, o caso dos produtores de coco que após a aplicação de *Bootstrap* tiveram seu índice corrigido de 76,3% para 66,7%.

Na verdade, o que se verifica é que se fazendo uma análise puramente determinística, sem considerar a influência do viés estatístico, os resultados encontrados estão superestimados.

Tabela 46 — Média de eficiência técnica e corrigida

Cultura	Ano	Eficiência	Eficiência Corrigida
Acerola	2011	0,711	0,636
	2012	0,742	0,662
	2013	0,609	0,514
	Média	0,687	0,604
Banana	2011	0,826	0,727
	2012	0,893	0,806
	2013	0,900	0,819
	Média	0,873	0,784
Coco	2011	0,817	0,728
	2012	0,833	0,753
	2013	0,639	0,520
	Média	0,763	0,667
Goiaba	2011	0,730	0,659
	2012	0,688	0,607
	2013	0,570	0,472
	Média	0,663	0,579
Manga	2011	0,796	0,722
	2012	0,573	0,484
	2013	0,636	0,550
	Média	0,668	0,585
Uva	2011	0,731	0,650
	2012	0,727	0,645
	2013	0,634	0,549
	Média	0,697	0,615
Média geral		0,725	0,639

Fonte: Resultados da investigação.

Este ponto demonstra a importância de se realizar a análise de *Bootstrap* ao se estimar os índices de eficiências de DMUs, e indica que deve haver grande cautela ao se realizar análises comparativas de eficiência entre unidades por meio da aplicação de DEA.

Com a finalidade de evitar problemas com *outliers* foram usadas todas as observações de produtores, com exceção dos que alcançaram o nível de eficiência igual à unidade para estimar os intervalos de confiança *Bootstrap* na análise da média de eficiência técnica e corrigida (Tabela 46). Para Banker e Chang (2005), os *outliers* são algumas observações extremas determinadas pela fronteira de produção nos modelos

DEA e que são causadas por erros de medição tanto nos *outputs* como nos *inputs*.

Observou-se flutuações do índice de eficiência, obtidos por meio da metodologia DEA, ao longo dos três anos. No entanto, por meio da técnica de *Bootstrap* aplicado ao DEA, corrigiu-se esses valores que estavam superestimados. Corrigindo-se o viés dos índices, a eficiência média dos produtores reduziu-se para 63,9%, ou seja, o potencial médio para redução dos *inputs* eficientes dos produtores passou de 27,5% para 36,1%.

O método DEA *Bootstrap* com as suas reamostragem contribuiu para análise de desempenho se comparados com os métodos de estimação de eficiências tradicionais. O método *Bootstrap* ao comparar a confiabilidade das estimativas sobre as estatísticas derivadas de escore de eficiência, possibilita equalizar as estimações nos modelos não paramétricos DEA.

5.6 Eficiência VRS-*Bootstrap* por *Cluster*

Nesta secção são comparadas as médias das eficiências dos produtores rurais pelo modelo dos Rendimentos Variáveis à Escala corrigidos para os anos de 2011, 2012 e 2013. Com os *Clusters* '1' e '2' formados conforme a secção 5.2.

A Tabela 47 mostra a eficiência média corrigida dos anos 2011, 2012 e 2013 por *cluster*. No resultado do cruzamento há indícios que nos três anos, o *Cluster 2* apresentou médias de eficiências dos produtores superiores ao *Cluster 1*.

Tabela 47 — Eficiência corrigida por *Cluster* (anos 2011, 2012 e 2013)

Eficiência	<i>Cluster</i>	N	Média	Desvio Padrão
2011	1	213	0,671	0,151
	2	93	0,674	0,133
2012	1	213	0,606	0,173
	2	93	0,666	0,135
2013	1	213	0,512	0,168
	2	93	0,577	0,165
Média	1	213	0,596	-
	2	93	0,639	-

Fonte: Resultados da investigação.

Com vista a melhor inferir a significância das diferenças nas médias anuais da eficiência, foi aplicado o teste para comparação de médias com recurso à estatística *t-Student*. Os resultados são apresentados na Tabela 48.

Tabela 48 — Teste de comparação das médias anuais das eficiências entre os 2 clusters

Eficiência		<i>F-Snedcor</i>	<i>p-value</i>	<i>t-Student</i>	<i>gl</i>	<i>p-value</i>
2011	Variâncias iguais	0,337	0,562	-0,899	304	0,369
	Variâncias não iguais			-0,909	180,064	0,364
2012	Variâncias iguais	1,112	0,292	-3,267	304	0,001
	Variâncias não iguais			-3,397	192,461	0,001
2013	Variâncias iguais	3,272	0,071	-3,108	304	0,002
	Variâncias não iguais			-2,996	161,507	0,003
Média	Variâncias iguais	1,574	0,308	-2,425	304	0,124
	Variâncias não iguais			-2,434	178,011	0,123

Fonte: Resultados da investigação.

Como se pode verificar, há uma diferença significativa nos anos 2012 e 2013 e na média global. Observou-se que o Cluster 2 apresenta maiores níveis médios de eficiência. Ao cruzar esta informação com a caracterização dos clusters realizada atrás, verifica-se que o Cluster 2 é o cluster cujos indivíduos têm maior nível de escolaridade, cuja permanência no lote se situa essencialmente entre os 16 e 20 anos, que realiza maior nível de controle financeiro e de custos e onde os indivíduos se atualizam através de cursos, revistas, internet, encontros, etc. Diferentemente, o cluster 1 concentra-se baixa escolaridade, produtores com maior tempo no lote e idade, 5% possuem controle financeiro contábil, vendem basicamente para o mercado interno, não procuram consultoria externa e dependem da assistência técnica do perímetro irrigado. As médias superiores do *Cluster 2* nos três anos denotam que os produtores deste *cluster* são mais eficientes na alocação dos seus recursos, e que as variáveis qualitativas predominantes entre os seus produtores foram decisivas para que as mesmas fossem superiores ao *Cluster 1*.

5.7 Identificação dos fatores determinantes da eficiência dos produtores do Projeto Senador Nilo Coelho

No prosseguimento da análise, utiliza-se o modelo de regressão *Tobit* com utilização das eficiências técnicas corrigidas pelo modelo *DEA-bootstrap* à fim de verificar os efeitos das variáveis escolaridade, tempo no lote, idade e controle financeiro como determinantes da eficiência dos produtores.

A opção por testar essas variáveis, se deu em virtude da escolaridade superior (Tabela 9) e o controle financeiro (Tabela 15) estarem presentes na maioria das unidades produtivas do *cluster 2*, que apresentou a melhor média de eficiência. Já as variáveis idade e tempo no lote (Tabelas 10 e 12), com os intervalos entre 51 a 60 anos e entre 16 e 20 anos, respectivamente, alcançaram mais de 50% entre os produtores do *cluster 2*. Além disso, muitos investigadores que utilizam a regressão para verificar fatores determinantes da eficiência dos produtores rurais, salientam a importância dessas variáveis no desempenho das propriedades agrícolas.

Os coeficientes estimados através do modelo *Tobit* (Tabela 49) apresentaram ajustamento aceitável. Observando o teste de Razão de Verossimilhança, verificou-se que esse modelo pode ser considerado significativo, pois o seu valor 11,42 foi superior ao X^2 tabelado (9,2), a 1% de significância.

Tabela 49 — Fatores determinantes da ineficiência técnica dos produtores do Projeto Senador Nilo Coelho

Variáveis	Coef.	Std. Err.	P-value	Significância
Escolaridade	-0,011	0,007	0,10	*
Tempo no lote	0,004	0,008	0,59	NS
Idade	-0,016	0,008	0,01	**
Controle financeiro	-0,042	0,020	0,01	**
Constante	0,413	0,45	0,00	

(*) Significância a 10%; (**) Significância a 1%; (NS) Não Significativo

Fonte: Resultados da investigação.

O modelo estimado é estatisticamente significativo, cujas variáveis mostram poder de influência sobre a variável dependente, eficiência técnica.

A variável ‘escolaridade’ apresentou sinal negativo, indicando que um maior grau de instrução diminui o nível de ineficiência. Dos produtores analisados, apenas 16,7% tinham ensino superior e mais de 56% não concluíram o ensino fundamental maior. Logo, a baixa escolaridade dos produtores pode acabar prejudicando a absorção de novas tecnologias e práticas agrícolas. Com relação à idade, percebeu-se que a relação negativa com a ineficiência representa maiores níveis de eficiência. A variável ‘controle financeiro’ apresentou efeito negativo sobre a ineficiência, evidenciando que produtores com habilidades na área financeira são mais eficientes. Por fim, a variável ‘tempo no lote’, apesar de ser importante, não foi significativa.

5.8 Síntese

Nesta secção, através de uma análise descritiva, foram condensados os dados qualitativos e de produção, permitindo dessa forma que se tenha uma visão global da amostra referente aos 311 produtores.

Na secção 5.1 mostrou-se que quase 25% dos produtores estão sem instrução formal, 58% estão acima de 50 anos, dependem da assistência técnica para desenvolver as suas atividades a contento e quase 80% não sabem lidar com os custos da propriedade. Com relação ao valor médio da produção, destacam-se os produtores de uva, sendo confirmada esta posição com a realização da Análise de *Cluster*. Nesta análise, os produtores de uva são dominantes no *Cluster 2* (secção 5.2).

Na secção seguinte foram utilizados os modelos DEA, para os anos de 2011, 2012 e 2013 por cultura. Verificou-se que entre as 6 culturas, a banana, o coco e a uva apresentaram a melhor média de eficiência técnica. Contudo, a média geral da eficiência atingida no período foi de 72,5%. Os produtores de goiaba tiveram a média mais baixa durante o período, sendo que os considerados ineficientes apresentaram folgas na utilização dos *inputs* água, terra e capital.

Na secção 5.4 foi feita uma análise do perfil dos produtores eficientes com os aspectos qualitativos considerando o escore de eficiência de 0,80. Entretanto, apenas 86 produtores dos 306 atingiram 80% de eficiência técnica e destes, 29% são produtores de uva. Estes produtores são os que detêm maior escolaridade, associativismo, controle

financeiro, consultoria particular, os que mais exportam e se atualizam e na sua maioria estão entre 40 e 60 anos.

Com o *Bootstrap* (secções 5.5 e 5.6) foi possível obter uma série de estimativas mais confiáveis para os índices de eficiência técnica média, para as culturas que estavam superestimadas. Ocorreu uma queda na média geral de 72,5% para 63,9%. Os escores de eficiência já corrigidos foram cruzados com análise de *cluster* mostrando que os produtores que estão no *cluster* 2, na média são mais eficientes do que aqueles que se encontram no *cluster* 1.

Os resultados decorrentes da aplicação do modelo econométrico *Tobit*, por abordagem de eficiência apresentado na secção 5.7 permitiram identificar quais as variáveis que influenciaram a eficiência dos produtores no processo produtivo.

Os resultados observados na aplicação da Análise de *Clusters* e dos modelos DEA e DEA *Bootstrap*, apresentados nas secções anteriores, permitem concluir que as variáveis de produção influenciam a eficiência do produtor rural e que os aspectos qualitativos como escolaridade superior, assistência técnica externa, cooperativismo, exportação e controle financeiro estão presentes na maioria dos produtores eficientes.

Constatou-se que altos investimentos, o mercado externo, o controle financeiro e cooperativismo estão presentes, em sua maioria, nas culturas mais rentáveis e que impulsiona o produtor à procura da eficiência. Também, que os *inputs* ‘terra’ e ‘trabalho’ são as variáveis que mais contribuiram negativamente para a eficiência.

Os resultados obtidos com a estimação do modelo de regressão *Tobit* mostraram que as variáveis escolaridade e o controle financeiro foram fatores determinantes na eficiência dos produtores do Projeto Senador Nilo Coelho. Este facto confirma a Análise de *Cluster*, quando esta análise agregou produtores mais eficientes no *Cluster* 2 que possuem o maior grau de escolaridade e gestão de controle financeiro-contábil.



Capítulo VI – CONCLUSÕES

Este trabalho de investigação teve como objetivo principal analisar a eficiência e respectivos determinantes das pequenas propriedades rurais no projeto de irrigação Senador Nilo Coelho no período compreendido entre os anos de 2011 e 2013.

Diante da importância socioeconómica que se reveste o projeto, torna-se necessário estudar o desempenho desses produtores através da eficiência produtiva, a fim de contribuir cientificamente com os resultados, não só para o Projeto Senador Nilo Coelho, mas para todos os projetos de irrigação administrados pela CODEVASF.

Para isso, foram levantados dados de produção, pessoais e de gestão. Dois objetivos principais foram definidos: a) analisar o nível de eficiência dos pequenos produtores; e b) analisar os determinantes que interferem nos níveis de eficiência encontrados. Com base nestas questões de investigação foram utilizados os modelos de medição de eficiência e econométrico.

A literatura sobre medição de eficiência é extensa e tem se desenvolvido com o objetivo de incorporar novas variáveis, as quais influenciam os resultados dos produtores rurais quando utilizam os métodos paramétricos e não paramétricos na determinação da eficiência de unidades produtivas.

Na pesquisa bibliográfica observou-se que os estudos relacionados com a aplicação do modelo DEA, num grande projeto de irrigação envolvendo várias culturas foi pouco explorado na agricultura irrigada. Este estudo inédito para estas características teve como alvo avaliar a eficiência relativa dos produtores rurais utilizando como abordagem a Análise Envoltória de Dados.

Na aplicação dos modelos DEA optou-se por uma orientação *input*, partindo do pressuposto de que a ineficiência verificada é devido a falhas na utilização de *inputs* e que nas propriedades é mais propício controlar os gastos do que a produção. Os *inputs* e o *output* escolhidos resultou da pesquisa na literatura, que evidenciou os mais utilizados pelos investigadores com relação a propriedades agrícolas.

Como forma de obter resultados mais robustos, para além de modelos de eficiência padrão aplicou-se modelos de DEA *Bootstrap*. A eficiência média *Bootstrap* apresentou uma média e o desvio padrão inferiores ao modelos de eficiência DEA, em virtude desse modelo ser mais severo na consideração de DMUs eficientes.

Logo depois foram analisados os determinantes da eficiência, através dos

modelos de regressão *Tobit* identificando algumas variáveis que influenciam a eficiência dos produtores.

Na análise dos modelos DEA por cultura, utilizados para os anos de 2011, 2012 e 2013, verificou-se que mais de 90% dos produtores trabalharam com rendimentos crescentes à escala, nos três anos. Em 2013 foi o ano que apontou a maior quantidade de rendimentos decrescentes com as culturas da acerola, goiaba, manga e uva significando 4% do total dos produtores. A cultura da manga apresentou o maior quantitativo de DMUs com rendimentos decrescentes. Os produtores considerados ineficientes ficaram em torno de 83%, 85% e 88% para os anos 2011, 2012 e 2013, respectivamente.

A ‘terra’ foi o *input* da produção que mais apresentou folga (Apêndice C). Isso significa que este é um dos principais *inputs* que deve ser analisado pelos produtores, para aumentar a eficiência. Observando o período dos três anos, os produtores ineficientes de banana, coco e manga tiveram problemas com folgas, na sua maioria nos *inputs* ‘trabalho’ e ‘terra’.

Os produtores de acerola tiveram dificuldades com os *inputs* ‘capital’ e ‘terra’. Contudo, o *input* ‘capital’ foi relevante na definição da ineficiência desses produtores, denotando uma necessidade maior de controle sobre os investimentos. No caso da uva, a folga que surgiu mais vezes foi o *input* ‘trabalho’. A cultura da uva exige uma mão-de-obra muito especializada. A mesma sendo utilizada com folgas contribui para um desempenho ineficiente do produtor rural. Na pesquisa ficou evidente que os *inputs* ‘trabalho’ e ‘terra’ foram os principais responsáveis diretos pelo escore dos produtores ineficientes.

A investigação demonstrou que do total de 306 produtores que foram calculados os escores de eficiência, apenas 7 conseguiram manter o escore de eficiência de escala igual a 1 para os três anos (acerola com a DMU 43, banana com a DMU 05, coco com as DMUs 03 e 17, goiaba com a DMU 27 e a manga com as DMUs 03 e 24). Estes produtores foram também considerados *benchmarks* nos três anos. Apesar de nenhum produtor de uva estar inserido entre os 7, as DMUs 39, 46, 62 e 81 obtiveram escore de eficiência de escala em torno de 0,9 num ano e o escore 1 nos outros dois anos.

Na análise do perfil dos produtores eficientes VRS com os aspectos qualitativos observou-se que 28% (86 produtores de 306), atingiram escores de 80% de eficiência.

Em torno de 88% dos produtores estão acima de 40 anos. O gênero masculino foi preponderante, 81% dos produtores. No geral, os produtores de uva possuem assistência técnica particular, são cooperados, possuem controle financeiro e de custos, participam de cooperativas ou grupos, objetivam a exportação e buscam a atualização dos seus conhecimentos.

Procurou-se também fazer uma caracterização do perfil do produtor utilizando a Análise de *Clusters*. Esta análise mostrou as diferenças entre os produtores das culturas e a formação dos *clusters* 1 e 2. Os produtores de uva destacaram-se nesta análise, já que são na sua maioria do *cluster* 2. A maior parte destes produtores possuem nível superior e estão entre 50 e 60 anos de idade.

Algumas recomendações para a melhoria do desempenho dos produtores que se concentram no *cluster* 1 podem estar relacionadas, em linhas gerais, à escolaridade, aos aspectos gerenciais dos produtores, à assistência técnica, ao trabalho associativo e a um melhor aproveitamento no coeficiente de utilização da terra.

Na segunda etapa da análise de eficiência foram aplicados modelos de eficiência DEA com *Bootstrap*, sendo posteriormente analisados os determinantes da eficiência, através do modelo econométrico de regressão *Tobit*.

As eficiências com o *Bootstrap* foram utilizadas para equalizar as estimações nos modelos DEA, o que se constatou é que ocorreu superestimação nos índices. A eficiência média dos produtores no triênio caiu de 72,5% para 63,9%. Neste caso, eles precisariam de uma redução maior na utilização dos *inputs* para atingirem a eficiência. Os níveis de eficiência *Bootstrap*, portanto, possibilitou uma fronteira de produção mais realista nos índices de eficiência dos produtores rurais.

Com relação à eficiência média VRS *Bootstrap* dos produtores por *cluster* verificou-se que o *cluster* 2 é superior em quase 4,3% nos três anos analisados, em relação à média dos produtores do *cluster* 1.

Dentre os fatores determinantes da eficiência dos produtores, o modelo *Tobit* demonstrou que a idade, a escolaridade e o controle de custos financeiro estão correlacionados positivamente à eficiência desses produtores.

Recomendações que podem ser retiradas deste estudo:

- a) A gestão do distrito de irrigação Senador Nilo Coelho, com a sua consultoria

-
- poderia dar um tratamento prioritário aos produtores ineficientes;
- b) o trabalho e a utilização da terra foram determinantes para o grande número de produtores ineficientes, por isso, estes *inputs* devem ter uma atenção especial pelos produtores;
 - c) e que as DMUs consideradas *benchmarks* possam ser analisadas nas suas características de produção e qualitativas, servindo como modelo para os seus pares.

Finalizando, a contribuição deste estudo possibilitou mensurar e avaliar a eficiência relativa dos produtores rurais do Projeto Senador Nilo Coelho, por meio das abordagens DEA que poderão se tornar um grande instrumento de gestão para as unidades produtivas, bem como para os outros 25 projetos de irrigação gerenciados pela CODEVASF. Infelizmente ainda é muito alto o índice de produtores ineficientes, demonstrando que estes produtores precisam melhor gerir os seus recursos para atingirem a eficiência.

6.1 Limitações do estudo e sugestões de investigação futura

A falta de controle dos custos, referentes aos valores dos insumos agrícolas e o valor da mão-de-obra aplicada pela maioria dos produtores impossibilitou que mais *inputs* fossem utilizados para o cálculo de eficiência nos modelos DEA.

Na área da eficiência dos produtores existem várias oportunidades de investigação futura. No campo empírico poderão ser estudados os efeitos de outras variáveis como o número de familiares que trabalham na propriedade; produtores que trabalham com várias culturas e participam de mais de uma cooperativa; se a comercialização é a granel ou com embalagem; se existe intermediário; se o produtor possui outras atividades económicas ou se existe terceirização na produção.

Quanto às variáveis externas poderão ser utilizadas variáveis suscetíveis de influenciar a eficiência, tais como a verificação da relação da eficiência produtiva com os preços das *commodities* e/ou taxa de câmbio com relação aos produtores exportadores. Como sugestão para outras investigações que não foram contempladas neste estudo, seria investigar a eficiência técnica dos produtores com áreas produtivas



de 10 a 50 hectares e acima de 50 hectares.

Assim, conclui-se que é importante que os produtores rurais tenham consciência da existência de ineficiência. É provável que uma possível limitação das análises de eficiência seja atribuída à dificuldade de compreensão dos produtores, que não possuem formação específica, sendo que a mesma pode ser atenuada por técnicos extensionistas do Distrito Senador Nilo Coelho, com cursos destinados a capacitações gerenciais.

Portanto, existe a possibilidade, em futuras investigações, de investigar as principais causas determinantes da ineficiência, através da aplicação de técnicas econométricas, onde sejam incluídas novas variáveis não limitadas apenas aos escores de eficiência determinados pela análise DEA.

BIBLIOGRAFIA

- Abay, C.; Miran, B.; Gunden, C. (2004). An analysis of input use efficiency in tobacco production with respect to sustainability: The case study of Turkey. *Journal of Sustainable Agriculture*, 24 (3), 123-143.
- Ablas, L. (1988). Agricultura Irrigada e Desenvolvimento Regional. *Revista Econômica do Nordeste*, 19 (2), 155-174.
- Aigner, D.; Lovell, C. A. K.; Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation is stochastic frontier production functions models. *Journal of Econometrics*, 6, 21-37.
- Amores, A.; Contreras, I. (2009). New approach for the assignment of new European agricultural subsidies using scores from data envelopment analysis: Application to olive-growing farms in Andalusia (Spain). *European Journal of Operational Research*, 193 (3), 718-729.
- Andersen, P.; Petersen, N. C. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management science*, 39, 1261-1264.
- Araújo, J. L. P. (1987). *Caracterização sócio-econômica dos parceiros do Projeto de Irrigação de Bebedouro (Petrolina-Pernambuco)*. Viçosa, UFV.
- Araújo, J. L. P.; Correia, R.; Araújo, E. P. (2008). Análise dos custos de produção e rentabilidade da cultura da banana na região do Vale do Submédio São Francisco. *In Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: Encontro Sober Regional Nordeste, 3., 2008, Mossoró. Fruticultura e bioenergia: estratégias de desenvolvimento para o Nordeste. Mossoró: UFRN: SOBER: Banco do Nordeste.
- Banker, R. D.; Chang, H. (2005). The superefficiency procedure for outlier identification, not for ranking efficient units. *European Journal of Operational Research*, 4 August.
- Banker, R. D.; Charnes, A.; Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30 (9), 1078-1092.
- Barros, E. S.; Sampaio, Y. S. B. (2001). Impactos diretos e indiretos sobre o emprego e a renda na área do polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA. In: *Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural*, 39, 2001, Recife. Anais, Brasília: SOBER.
- Battese, G. E. (1992). Frontier production functions and technical efficiency: a survey of empirical applications in agricultural economics. *Agricultural Economic*, 7 (3-4), 185-208.
- Bayarsaihan, T.; Coelli, T. J. (2003). Productivity growth in pre-1990 Mongolian agriculture: spiralling disaster or emerging success? *Agricultural Economics*, 28 (2), 121-137.

- Begum, I. A.; Buysse, J.; Alam, M. J.; Van Huylenbroeck, G. (2010). Technical, allocative and economic efficiency of commercial poultry farms in Bangladesh. *World's Poultry Science Journal*, 66, 465-76.
- Berger, A. N.; Humprey, D. B. (1997). Efficiency of financial institutions: International survey and directions for future research. *European Journal of Operational Research*, 98 (2), 175-212.
- Binici, T.; Zulauf, C. R.; Kacira, O. O.; Karli, B. (2006). Assessing the efficiency of cotton production on the Harran Plain, Turkey. *Outlook On Agriculture*, 35 (3), 227-232.
- Bogetoft, P.; Otto, L. (2011). *Benchmarking with DEA, SFA and R*. New York: Springer.
- Bojnec, S.; Latruffe, L. (2008). Measures of farm business efficiency. *Industrial Management & Data Systems*, 108 (1-2), 258-270.
- Bowlin, W. F. (1998). Measuring performance: an introduction data envelopment analysis (DEA). *Journal of cost analysis*, 3-27.
- Bozoglu, M.; Ceyhan, V. (2009). Energy conversion efficiency of trout and sea bass production in the Black Sea, Turkey. *Energy*, 34 (2), 199-204.
- Charnes, A.; Cooper, W. W.; Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Chebil, A.; Frija, A.; Thabet, C. (2015). Economic efficiency measures and its determinants for irrigated wheat farms in Tunisia: a DEA approach. *New medit: Mediterranean Journal of Economics, Agriculture and Environment = Revue méditerranéenne d'économie, agriculture et environnement*, (2), 32-38.
- Chen, P.; Yu, Ming-Miin.; Chang, C.; Hsu, S. (2008). Total factor productivity growth in China's agricultural sector. *China Economic Review*, 19 (4), 580-593.
- Cinemre, H. A.; Ceyhan, V.; Bozoglu, M.; Demiryurek, K.; Kiliç, O. (2006). The cost efficiency of trout farms in the Black Sea Region, Turkey. *Aquaculture*, 251 (2-4), 324-332.
- Clemente, F.; Gomes, M. F. M.; Lírio, V. S. (2015). Análise da eficiência técnica de propriedades citrícolas do estado de São Paulo. *Economia Aplicada*, v. 19, n. 1, p. 63-79.
- CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (2012). *Projetos de irrigação no Vale do São Francisco*, Retirado de <http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/elenco-de-projetos/senador-nilocoelho>
- CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (2019a). Retirado de <https://www.codevasf.gov.br/area-de-atuacao/bacia-hidrografica/sao-francisco>
- CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (2019b). Retirado de

<https://www.codevasf.gov.br/noticias/2014/producao-de-perimetros-irrigados-da-codevasf-cresce-14-e-alcanca-r-1-72-bi-em-2013/>

- CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (2019c). Retirado de <https://www.codevasf.gov.br/linhas-de-negocio/irrigacao/projetos-publicos-de-irrigacao/elenco-de-projetos/elencos-de-projeto>
- Coelho, E. F.; Coelho Filho, M. A.; Oliveira, S. L. de. (2005). Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. *Bahia Agrícola*, 7 (1), 57-60.
- Coelli, T. J. (1995). Recent developments in frontier modelling and efficiency measurement. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 39 (3), 219-245.
- Coelli, T. J.; Rahman, S.; Thirtle, C. (2002) Technical, allocative, cost and scale efficiencies in Bangladesh rice cultivation: a non-parametric approach. *Journal of Agricultural Economics*, v. 53, n. 3, p. 607-626.
- Coelli, T. J.; Rao, D. S. P.; O'Donnell, C. J.; Battese, G. E. (2005). An introduction to efficiency and productivity analysis (2ª ed.). New York: Springer.
- Coelli, T. J.; Rao, D. P. (2005b). Total factor productivity growth in agriculture: a Malmquist index analysis of 93 countries, 1980–2000. *Agricultural Economics*, 32 (1), 115-134.
- COMEX STAT. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2018). *Dados estatísticos*. Retirado de: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>
- Cook, W.; Seiford, L. (2009). Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on. *European Journal of Operational Research*, vol. 192,1–17.
- Cook, W. D.; Zhu, J. (2008). Data envelopment analysis: modeling operational processes and measuring productivity. USA: *CreateSpace*.
- Cooper, W. W.; Seiford, L. M.; Tone, K. (2007). Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver Software. Second editions. Springer.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2011). Data envelopment analysis: History, models, and interpretations. In: *Handbook on data envelopment analysis* (pp. 1-39). Springer, Boston, MA.
- Correia, R. C.; Araújo, J. L. P.; Cavalcanti, E. B. (2001). A fruticultura como vetor de desenvolvimento: o caso dos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA. In: *Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural*, 39, 2001, Recife. *Anais*, Brasília, SOBER.
- Dao, G.; Lewis, P. (2013). Technical efficiency of annual crop farms in northern Vietnam. Working Paper, available at: www.murdoch.edu.au
- Davidova, S.; Latruffe, L. (2007). Relationships between technical efficiency and financial management for Czech Republic farms. *Journal of Agricultural Economics*, 58 (2), 269-288.

- De Koeijer, T. J.; Wossink, G. A. A.; Struik, P. C.; Renkema, J. A. (2002). Measuring agricultural sustainability in terms of efficiency: the case of Dutch sugar beet growers. *Journal of Environmental Management*, 66 (9-17).
- Debreu, G. (1951). The Coefficient of Resource Utilization. *Econometrica*, 19 (3), 273-292.
- Deprins, D.; Simar, L.; Tulkens, H. (1984). Measuring labour efficiency in post-offices. In Marchand, M., Pestieau, P., and Tulkens, H., editors, *The performance of public enterprises: concepts and measurement*, pp. 243-267. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, North Holland.
- DINC. Distrito de Irrigação Nilo Coelho (2015). *O perímetro*. Retirado de: http://www.dinc.org.br/?page_id=111
- Dong, F.; Featherstone, A. (2004). Technical and scale efficiencies for Chinese rural credit cooperatives: a bootstrapping approach in data envelopment analysis: working paper. Iowa: Center for Agricultural and Rural Development, 24p.
- EBC. Empresa Brasileira de Comunicação (2013). Retirado de: <http://www.ebc.com.br/noticias/internacional/2013/03/agricultura-e-quem-mais-gasta-agua-no-brasil-e-no-mundo>
- Efron, B. (1979). Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife. *The Annals of Statistics*, 7 (1), 1-26.
- FAO. Food and agriculture organization of the United Nations (2012). Retirado de: <http://www.fao.org/brasil/pt/> .
- Fare, R.; Grosskopf, S.; Lovell, C. A. K. (1994). *Production Frontiers*, Cambridge University Press.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of Royal Statistical Society*, 19 (2), 253-281.
- Ferreira, C. M.de C.; Gomes, A. P. (2009). *Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações*. Viçosa-MG; Editora UFV.
- Frija, A.; Chebil, A.; Speelman, S.; Buysse, J.; Van Huylenbroeck, G. (2009). Water use and technical efficiencies in horticultural greenhouses in Tunisia. *Agricultural Water Management*, 96 (11), 1509-1516.
- Gadanakis, Y.; Bennett, R.; Park, J.; Areal, F. J. (2015). Improving productivity and water use efficiency: a case study of farms in England. *Agricultural Water Management*, 160, 22-32.
- Galvão, O. J. A. (1990). Irrigação no semi-árido nordestino: impactos sobre setores não-agrícolas no Submédio São Francisco. *Revista Econômica do Nordeste (Fortaleza)*, 21 (3-4), 519-552.
- Gocht, A.; Balcombe, K. (2006). Ranking efficiency units in DEA using bootstrapping an applied analysis for Slovenian farm data. *Agricultural Economics*, 35 (2), 223-229.

-
- Golany, Boaz; Roll, Y. (1989). An application procedure for DEA. *Omega*, 17 (3), 237-250.
- Gomes, G. E.; Mello, J. C. C. B. S.; Souza, G. da S.; Meza, L. A.; Mangabeira, J. A. de C. (2009). Efficiency and sustainability assessment for a group of farmers in the Brazilian Amazon. *Annals of Operations Research*, 69 (1), 167-182.
- Gomes, E. G. (2008). Uso de modelos DEA em agricultura: Revisão da literatura. *Engevista*, 10, 27-51.
- Gomes, E. G.; Mangabeira, J. A. C. (2004). Uso de análise de envoltória de dados em agricultura: o caso de Holambra. *Engevista*, 6 (1), 19-27.
- Greene, W. H. (2012). *Econometric analysis*. 7. ed. Stern School of Business, New York University.
- Gujarati, D. N. (2000). *Econometria básica*. 3. ed. Tradução Ernesto Yoshida. São Paulo: Makron Books. 846 p.
- Gül, M.; Demircan, V.; Yilmaz, Hasan; Yilmaz, Hilal (2016). Technical efficiency of goat farming in Turkey: a case study of Isparta Province. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45 (6), 328-335.
- Habibov, N. N.; Fan, L. (2010). Comparing and contrasting poverty reduction performance of social welfare programs across jurisdictions in Canadá using data envelopment analysis (DEA): an exploratory study of the era of devolution. *Evaluation and program planning*, 33, 457-467.
- Hair Júnior J. F.; Anderson, R. E.; Taham, R. L.; Black, W. C. (2014). *Análise de Regressão Múltipla*. 7 ed. Porto Alegre: Bookman.
- Haji, J. (2007). Production efficiency of smallholders' vegetable-dominated mixed farming system in eastern Ethiopia: A non-parametric approach. *Journal Of African Economies*, 16 (1), 1-27.
- Helfand, S. M.; Levine, E. S. (2004). Farm size and the determinants of productive efficiency in the Brazilian Center-West. *Agricultural economics*, 31 (2-3), 241-249.
- Hesterberg, T.; Moore, D. S.; Monaghan, S.; Clipson, A.; Epstein, R. (2003). *Bootstrap methods and permutation tests*. New York: W. H. Freeman.
- Jiao, W.; Fu, Z.; Mu, W.; Zhang, X.; Lu, J.; Xu, M. (2015). Estimating technical efficiency of Chinese table grape wholesalers. *British Food Journal*, 117 (6), 1670-1688.
- Karimov, A. (2013). Productive efficiency of potato and melon growing farms in Uzbekistan: a two stage double bootstrap Data Envelopment Analysis. *Agriculture*, 3 (3), 503-515.
- Karimov, A.; Amoke Awotive, B.; Timothy Amos, T. (2014). Production and scale efficiency of maize farming households in South-Western Nigeria. *International Journal of Social Economics*, 41 (11), 1087-1100.
- Kilic, O.; Binici, T.; Zulauf, C. R. (2009). Assessing the efficiency of hazelnut production. *African Journal Of Agricultural research*, 4 (8), 695-700.

- Koopmans, T. C. (1951). An analysis of production as an efficient combination of activities. In Koopmans, T. C., editor, *Activity Analysis of Production and Allocation*. Jhon Wiley and Sons, Inc. London.
- Latruffe, L.; Balcombe, K.; Davidova, S.; Zawalinska, K. (2004). Determinants of Technical Efficiency of Crop and Livestock Farms in Poland. *Applied Economics* 36 (12), 1255-1263.
- Latruffe, L.; Balcombe, K.; Davidova, S.; Zawalinks, K. (2005). Technical and scale efficiency of crop and livestock farms in Poland: does specialization matter?. *Agricultural Economics*, 32 (3), 281-296.
- Lee, P. P.; Peng, K. C.; Chung, R. H. (2019). Technical and cost efficiency estimates of rice production in Vietnam: a two-stage data envelopment analysis. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 29 (1).
- Li, L.; Tsunekawa, A.; Tsubo, M.; Koike, A.; Wang, J. J. (2010). Assessing total factor productivity and efficiency change for farms participating in Grain for Green program in China: a case study from Ansai, Loess Plateau. *Journal of Food Agriculture & Environment*, 8 (2), 1185-1192.
- Lima, J. R. F.; Almeida, G. V. B.; Pereira, A.; ARAÚJO JÚNIOR, J. N. (2018). Análise do mercado de manga produzida no Vale do São Francisco: cenário atual e perspectivas para o curto prazo. In *Embrapa Semiárido – Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural do Regional Nordeste, 13., 2018, Juazeiro-BA. Novas dinâmicas de desenvolvimento do Semiárido: anais. Juazeiro-BA: UNIVASF: SOBER-NE.
- Linh, T. T.; Nanseki, T.; Chomei, Y. (2015). Productive efficiency of crop farms in Vietnam: A DEA with a smooth bootstrap application. *Journal of Agricultural Science*, 7 (5), 37.
- Lissitsa, A.; Odening, M. (2005). Efficiency and total factor productivity in Ukrainian agriculture in transition. *Agricultural Economics*, 32 (3), 311-325.
- Liu, J. S.; Lu, L. Y.; Lu, W. M.; LIN, B. J. (2013). A survey of DEA applications. *Omega*, 41, 893-902.
- Malana, N. M.; Malano, H. M. (2006). Benchmarking productive efficiency of selected wheat areas in Pakistan and India using data envelopment analysis. *Irrigation And Drainage*, 55 (4), 383-394.
- Mardani, M.; Salarpour, M. (2015). Measuring technical efficiency of potato production in Iran using robust data envelopment analysis. *Information Processing in Agriculture*, 2 (1), 6-14.
- Mello, J. L. P.; Silva, L. D. B. (2007). *Irrigação*. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- Mello, J. C. C. B. S., Meza, L. A., Gomes, E. G., & Neto, L. B. (2005). *Curso de análise de envoltória de dados*. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 37, 2520-2547.

- MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (2012). *Balança comercial Brasileira*. Retirado de: <http://www.mdic.gov.br/sitio>
- Mitra, S.; Yunus, M. (2018). Determinants of tomato farmers efficiency in Mymensingh district of Bangladesh: Data Envelopment Analysis approach. *J Bangladesh Agril Univ*, 16 (1), 93-97.
- Nkamleu, G. B. (2004). Productivity growth, technical progress and efficiency change in African agriculture. *African Development Review-Revue Africaine De Developpement*, 16 (1), 203-222.
- Nunamaker, T. R.; (1985). Using data envelopment analysis to measure the efficiency of non-profit organizations: a critical evaluation. *Managerial and decision economics*. 6 (1), 50-58.
- Oliveira, J. D. M.; Lopes, P. R. C.; Moreira, A. N. (2011). Produção integrada no Vale do São Francisco: situação e perspectivas – a produção integrada de uvas como caso de sucesso. In *Embrapa Semiárido – Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: Congresso Brasileiro de Fitossanidade, 1., Jaboticabal.
- Oluwatayo, I. B.; Adedeji, T. A. (2019). Comparative analysis of technical efficiency of catfish farms using different technologies in Lagos State, Nigeria: a Data Envelopment Analysis (DEA) approach. *Agriculture & Food Security*, 8 (1), 8.
- Osborne, S.; Trueblood, M. A. (2006). An examination of economic efficiency of Russian crop production in the reform period. *Agricultural Economics*, 34 (1), 25-38.
- Pahlavan, R.; Omid, M.; Rafiee, S.; Avval, S. H. M. (2012). Optimization of energy consumption for rose production in Iran. *Energy For Sustainable Development*, 16 (2), 236-241.
- Parlakay, O.; Semerci, A.; Çelik, A. D. (2015). Estimating technical efficiency of dairy farms in Turkey: a case study of Hatay Province. *Custos e Agronegócio On Line*, 11 (3), 106-115.
- Phillips, F. (2005). 25 years of Data Envelopment Analysis. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 4 (3), 317-323.
- Picazo-Tadeo, A. J.; Reig-Martinez, E. (2006). Outsourcing and efficiency: the case of Spanish citrus farming. *Agricultural Economics*, 35 (2), 213-222.
- Pindyck, R. S.; Rubinfeld, D. L. (2002). *Microeconomia*. São Paulo: Prentice Hall.
- Pontes, J. O.; Carneiro, J. A. D. (1979). Causas e efeitos do programa de irrigação do Nordeste semi-árido. *Revista Econômica do Nordeste*, 10 (2), 1605-1638.
- Queiroz, E.; Sampaio, Y. (2001). Diferenciais de produtividade e rentabilidade entre colonos no polo irrigado Petrolina-PE/Juazeiro-BA. In: *Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural*, 39, 2000, Recife. *Anais*, SOBER.
- Reinhard, S.; Lovell, C. A. K.; Thijssen, G. J. (2000). Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables; estimated with SFA and DEA. *European Journal Of Operational Research*, 121 (2), 287-303.

- Sabbag, O. J.; Costa, S. M. A. L.; Barroso, R. M. (2018). Technical efficiency of fish farming by the DEA method in the Northwest region of São Paulo. *Custos e Agronegocio On Line*, 14 (3), 21-36.
- Sarafidis, V. (2002). An assessment of comparative efficiency measurement techniques. *Europe economics*, 21p. (Occasional paper, 2).
- Sauer, J.; Abdallah, M. (2007). Forest diversity, tobacco production and resource management in Tanzania. *Forest Policy and Economics*, 9 (5), 421-439.
- Seiford, L. M. (1996). Data envelopment analysis: the evolution of the state of the art (1978–1995). *Journal of productivity analysis*, 7 (2-3), 99-137.
- Shafiq, M.; Rehman, T. (2000). The extent of resource use inefficiencies in cotton production in Pakistan's Punjab: an application of Data Envelopment Analysis. *Agricultural Economics*, 22 (3), 321-330.
- Sherzod, B.; Kim, K. R.; Lee, S. (2018). Agricultural Transition and Technical Efficiency: An Empirical Analysis of Wheat-Cultivating Farms in Samarkand Region, Uzbekistan. *Sustainability*, 10 (9), 3232.
- Siafakas, S.; Tsiplakou, E.; Kotsarinis, M.; Tsiboukas, K.; Zervas, G. (2019). Identification of efficient dairy farms in Greece based on home grown feedstuffs, using the Data Envelopment Analysis method. *Livestock Science*, 222, 14-20.
- Silva, J. S.; Ferreira, M. O.; Lima, J. R. F. (2017). Eficiência técnica dos produtores de manga do vale do São Francisco. *Brazilian Review of Economics & Agribusiness/Revista de Economia e Agronegócio*, v. 15, n. 1, p. 27-49.
- Silva, T. J. J.; Ferreira, M. D. O.; LIMA, J. R. F. (2016). A competitividade das exportações de manga e uva do Vale Submédio do São Francisco. *Embrapa Semiárido – Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Simar, L.; Wilson, P. W. (1998). Sensitivity Analysis of Efficiency Scores: How to bootstrap in Nonparametric Frontier Models. *Management Science*, 44 (1), 40-61.
- Simar, L.; Wilson, P. W. (2007). Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of econometrics*, 136(1), 31-64.
- Speelman, S.; D’Haese, M.; Buysse, J.; D’Haese, L. (2008). A measure for the efficiency of water use and its determinants, a case study of small-scale irrigation schemes in North-West Province, South Africa. *Agricultural Systems*, 98 (1), 31-39.
- Syp, A.; Osuch, D. (2018). Assessment of Farm Efficiency and Productivity: a Data Analysis Envelopment Approach. *Research for Rural Development*, 2.
- Thanassoulis, E. (2001). Introduction to the theory and application of data envelopment analysis. Dordrecht: *Kluwer Academic Publishers*.
- Wilson, Paul W. (2008) FEAR: A software package for frontier efficiency analysis with R. *Socio-economic planning sciences*, v. 42, n. 4, p. 247-254.
- Wonnacott, P.; Wonnacott, R. (1994). *Economia*. (2 ed.), São Paulo: Makron Books.

- 
-
- You, H.; Zhang, X. (2016). Ecoefficiency of intensive agricultural production and its influencing factors in China: an application of DEA-Tobit analysis. *Discrete Dynamics in Nature and Society*.
- Zhu, J. (2014). *Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: data envelopment analysis with spreadsheets* (vol. 213). Springer.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SOCIOECONÓMICO

LOTE NÚMERO: _____ TIPO DE CULTURA: _____

a) Escolaridade – Anos de Estudo:

- Sem instrução formal;
- 1º grau menor (1º. ao 5º. ano);
- 1º grau maior (6º. ao 9º. ano);
- 2º grau completo (ensino secundário);
- Nível superior.

b) Tempo de residência no lote:

- Entre 4 a 10 anos;
- Entre 11 a 15 anos;
- Entre 16 a 20 anos;
- Acima de 20 anos.

c) Idade do produtor:

- Entre 20 e 30 anos;
- Entre 31 e 40 anos;
- Entre 41 e 50 anos;
- Entre 51 e 60 anos;
- Acima de 60 anos.

d) Gênero dos produtores:

- Feminino;
- Masculino.

e) Assistência técnica:

- Empresa que presta serviço ao Perímetro Irrigado;
- Consultoria Particular.

f) Participações em cooperativas, associações ou grupos:

- Participa;
- Não participa.

g) Exportação:

- Sim;
- Não.

h) Controle financeiro-contábil:

- Realiza controle financeiro/controla custos;
- Relaciona receitas e despesas;
- Nenhum controle.

i) Atualização de conhecimentos agrícolas:

- Atualizar-se através de cursos, seminários etc.;
- Espera os encontros com a assistência técnica.

j) Mão-de-obra utilizada na produção/colheita (homem/ano):

2011: _____

2012: _____

2013: _____

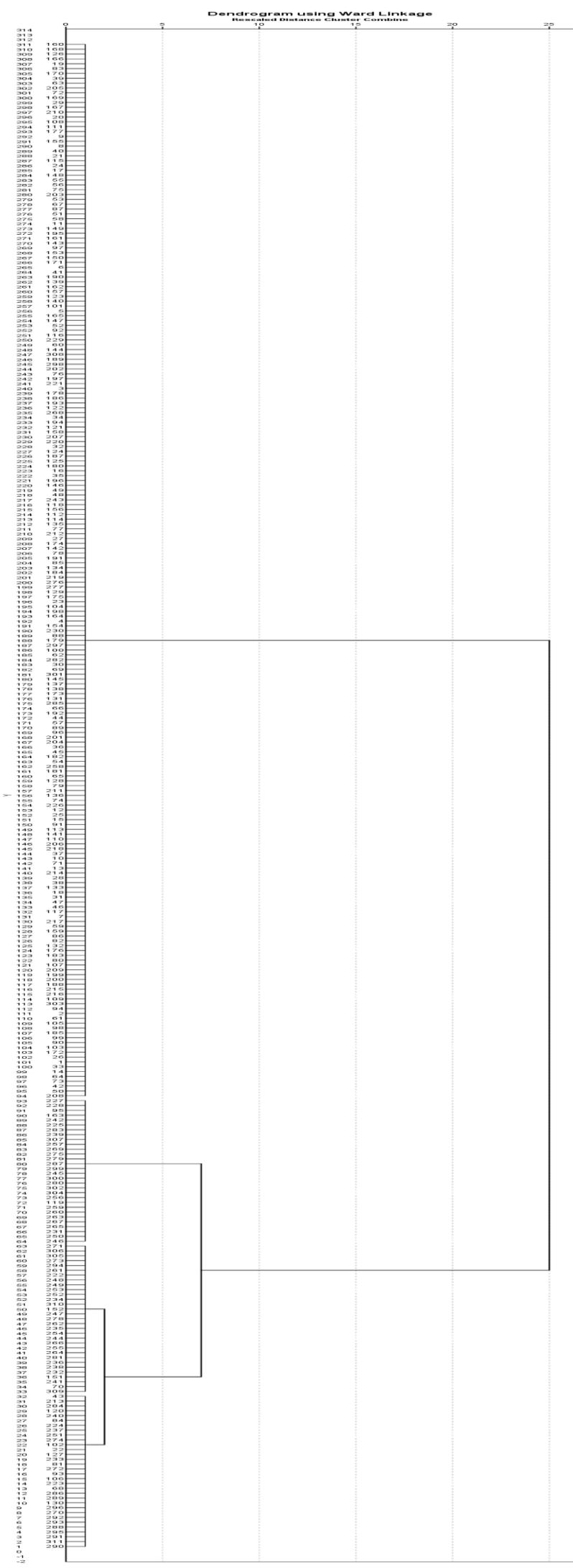
k) Capital investido (R\$/ano):

2011: _____

2012: _____

2013: _____

APÊNDICE B – DENDOGRAMA OBTIDO COM MÉTODO HIERÁRQUICO, CRITÉRIO DE WARD



Fonte: Resultados da investigação.

APÊNDICE C – FOLGAS POR CULTURA PARA OS ANOS 2011, 2012 E 2013

2011	<i>Inputs</i>			
Cultura	Água	Capital	Trabalho	Terra
Acerola	1	37	16	32
Banana	0	1	5	2
Coco	0	0	2	11
Goiaba	4	4	14	32
Manga	6	4	15	30
Uva	11	14	47	29
Total	22	60	99	136

2012	<i>Inputs</i>			
Cultura	Água	Capital	Trabalho	Terra
Acerola	6	25	14	15
Banana	3	1	3	2
Coco	8	6	9	7
Goiaba	24	39	12	40
Manga	13	9	24	27
Uva	11	14	52	24
Total	65	94	114	115

2013	<i>Inputs</i>			
Cultura	Água	Capital	Trabalho	Terra
Acerola	5	51	33	32
Banana	3	2	4	4
Coco	11	8	11	14
Goiaba	36	17	18	58
Manga	18	14	43	25
Uva	11	43	47	23
Total	84	135	156	156