

## EFICIÊNCIA DOS PRODUTORES FRUTÍCOLAS EM PETROLINA: UMA ANÁLISE DE FRONTEIRA ESTOCÁSTICA

### Fruits producers' efficiency in Petrolina: an analysis of stochastic frontier

**Gerrio dos Santos Barbosa**

Economista. Doutorando em Economia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). gerriosantos@gmail.com

**Edward Martins Costa**

Economista. Doutor em Economia. Prof. do Maer/UFC. edwardcosta@ufc.br

**Jair Andrade Araújo**

Engenheiro de Pesca. Doutor em Economia. Prof. do Maer/UFC. Pesquisador de Produtividade do CNPq. jaraujoce@gmail.com

**Gescilene dos Santos Barbosa**

Bacharel em Finanças. Mestre em Economia. gescilenebarbosa@gmail.com

**Resumo:** O objetivo deste estudo é mensurar a eficiência alocativa em 62 propriedades que cultivam fruticultura no perímetro irrigado Nilo Coelho, em Petrolina, no estado de Pernambuco. Para o alcance desta finalidade, foi utilizado o método paramétrico de fronteira estocástica com ineficiência técnica, usando a função de produção do tipo Cobb-Douglas. Os resultados da estimação apontaram termos estatísticos e sinal positivo para a área irrigada, gasto com mão de obra e insumos com elasticidades significantes. No entanto, enquanto área total, tem sinal negativo. Observou-se que a área irrigada e o gasto com mão de obra, respectivamente, apresentam elasticidades mais elevadas em relação ao valor da produção de frutícolas, de 0,63% e 0,41%. Assim foi possível verificar que o perímetro é intensivo em área irrigada e trabalho. Em relação aos gastos com água, a ineficiência da firma é reduzida em torno de 37%. Ademais, quando se compara os sete produtores próximos *versus* os sete distantes da fronteira eficiente, respectivamente, verificou-se uma média de eficiência de 0,78 e 0,20. Por fim, conclui-se que os produtores do perímetro, no geral, alocam seus fatores de produção de forma ineficiente.

**Palavras-chave:** Fronteira; Ineficiência; Cobb-Douglas.

**Abstract:** The objective of this study is to measure the allocative efficiency in 62 properties that grow fruit trees in the Nilo Coelho irrigated perimeter, in Petrolina, state of Pernambuco. For this, the parametric frontier stochastic method with technical inefficiency is used, using the Cobb-Douglas production function. The results of the estimation point to the irrigated area, spent on labor and inputs with statistically significant elasticities and positive sign, while total area has a negative sign. It is observed that the irrigated area and the labor expense, respectively, present higher elasticities in relation to the value of the fruit production, of 0.63% and 0.41%, in this way, it can be verified That the perimeter is intensive in irrigated area and work. With regard to water expenses, the inefficiency of the firm is reduced by around 37%. In addition, when comparing the seven near producers versus the seven distant ones of the efficient frontier, respectively, it is examined that the average efficiency is 0.78 and 0.20. Finally, it can be concluded that perimeter producers, in general, allocate their factors of production inefficiently.

**Keywords:** Frontier; Inefficiency; Cobb-Douglas.

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos no semiárido nordestino, ao longo dos anos, passou por dificuldades, devido, principalmente, a níveis baixos de pluviosidade, o que ocasiona escassez de água nessa região. Com a modernização do processo produtivo estabelecido pela irrigação, a produção frutícola tornou-se a atividade econômica com maior dinâmica no Nordeste, especificamente no polo Petrolina/PE-Juazeiro/BA. Ao adotarem novas técnicas de produção e incorporarem novas tecnologias, os produtores desse polo alcançaram ganhos de produtividade, tendo como consequência direta o aumento dos níveis de emprego e renda.

O crescimento da fruticultura no semiárido nordestino, dotada de maior monetização, orienta-se por meio das exportações e se protege das secas por sistemas de irrigações. Dessa forma, a produção agropecuária regional tem direcionado seus produtos ao mercado externo. Isso ocorre, por exemplo, na fruticultura de Petrolina. Além disso, o abastecimento de água por meio dos avanços tecnológicos, com utilização de sistema de irrigação moderno, possibilita extinguir choques aleatórios, como as estiagens (BNB, 2014). A fruticultura irrigada no mercado internacional tem determinada relevância. Diante disso, torna-se necessário desenvolver vínculos cooperativos e promover inovações para expandir as possibilidades de interação entre os mercados.

Barros, Costa e Sampaio (2004) caracterizaram o polo de desenvolvimento Petrolina-Juazeiro como um importante centro produtivo da fruticultura, iniciado com a implantação do perímetro de irrigação no início da década de sessenta. O setor público é o responsável por distribuir terra intensiva em áreas de baixa densidade demográfica, além de propiciar empreendimentos agrícolas agroindustriais. Esta região se destaca internacionalmente devido à sua produção de frutas tropicais. No entanto, alguns fatores podem ser característicos à região: clima semiárido, recursos hídricos disponíveis, terras propícias ao uso da irrigação e logística de qualidade no escoamento das frutas, tanto para o mercado interno, como externo.

O polo de Petrolina-Juazeiro é conhecido por ter sediado projetos pioneiros de irrigação, configurando um dos maiores perímetros públicos irrigados no Brasil. O Perímetro Irrigado Senador

Nilo Coelho foi o maior desses projetos, propiciando o cultivo de frutas tropicais em uma região semiárida. Por outro lado, o Governo Federal também destinou investimentos nessa região, que foram gerenciados pela Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (Codevasf)<sup>1</sup>, o que proporcionou indiretamente a formação de investimento privado e criou organizações não governamentais (ONGs). Dessa forma, a agricultura irrigada, especificamente, a fruticultura, promoveu uma economia forte com uma maior estrutura urbana, tornando-se o aglomerado mais próspero do Vale do São Francisco. (BUSTAMANTE, 2009).

Os frutos cultivados e escoados nos mercados nacional e internacional são: banana, coco-da-baía, goiaba, limão, mamão, manga, maracujá, melancia, melão e uva. Isso, devido à elevada rentabilidade desses produtos. Na presente pesquisa, as culturas analisadas serão<sup>2</sup>: banana, coco, manga, goiaba, uva, maracujá e o caju.

Diante do exposto, esta pesquisa parte do seguinte questionamento: como se comporta a produção de tais culturas em relação à alocação de fatores no processo produtivo entre essas unidades produtivas? Em resposta, este artigo tem como objetivo mensurar a eficiência técnica dos produtores frutícolas dos distritos de Irrigação Nilo Coelho em Petrolina-PE, no ano de 2014.

A contribuição deste estudo para a literatura consubstancia-se na aplicação direcionada para aquelas culturas com maior produção na região analisada, exibindo a combinação de insumos e produtos que estabelecem fronteiras eficientes. Desta forma, apresenta-se uma discussão relevante para os formuladores de políticas agrícolas e, principalmente, para os pequenos, médios e grandes produtores pertencentes ao distrito.

Além desta introdução, o presente artigo é composto por cinco seções. A segunda seção abordou características econômicas da cidade de Petrolina. Na terceira seção, foram mostrados os métodos econométricos utilizados para mensuração da fronteira estocástica de produção, assim como a fonte de dados e suas estatísticas descritivas. Na

1 Empresa pública vinculada ao Ministério da Integração Nacional que disponibiliza diversos serviços de apoio ao desenvolvimento nas bacias hidrográficas do São Francisco e do Parnaíba, Itapecuru e Mearim. É conhecida principalmente pela implantação de polos de irrigação, a exemplo, o Polo Petrolina-Juazeiro.

2 As escolhas das culturas foram feitas a partir dos questionários aplicados aos produtores.

quarta seção, foram apresentadas as discussões dos resultados da função de produção Cobb-Douglas e a eficiência das firmas. Por fim, a seção quinta foi dedicada às considerações finais.

## 2 CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA DO POLO PETROLINA-JUAZEIRO

O Polo Petrolina-Juazeiro está situado na região mais árida do nordeste brasileiro, no extremo oeste de Pernambuco e Norte da Bahia. É formado por oito municípios, sendo eles: Petrolina, Lagoa Grande, Santa Maria da Boa Vista e Orocó, em Pernambuco, e Juazeiro, Sobradinho, Casa Nova e Curaçá, na Bahia. Sua extensão percorre a cidade de Casa Nova (BA) até o município de Petrolina (PE), perfazendo 20% da área no estado da Bahia e 80% em Pernambuco (DINC, 2015).

O município de Petrolina localiza-se na mesorregião do São Francisco e tem uma população estimada, em 2014, de 326.017 habitantes, com densidade demográfica de 64,44 hab./km<sup>2</sup>. Com uma área territorial de 4.561,87 km<sup>2</sup>, fica a 712 km da capital Recife. Em 2012, o valor bruto do seu PIB era de R\$ 3.786.065 bilhões e o Produto Interno Bruto *per capita* foi de R\$ 12.399,02 mil. Seu ambiente possui condições (solo, clima, topografia etc.) naturais ao cultivo agrícola, entretanto, a principal limitação do perímetro para exercer tais atividades são os baixos níveis pluviométricos, apresentando estiagem de oito meses anual, de abril a novembro (ORTEGA; SOBEL, 2010).

No ano de 1968, a Codevasf implantou o Projeto Bebedouro, que foi pioneiro em irrigação no Nordeste, localizado a 35 km noroeste da sede municipal de Petrolina. Estima-se que este projeto despendeu do tesouro público em cerca de R\$ 30,98 milhões. Por outro lado, no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho (PISNC), calcula-se em R\$ 340,52 milhões. Este é considerado o maior perímetro irrigado do Brasil e foi dividido em dois projetos: Nilo Coelho e Maria Tereza, iniciados em 1984 e 1996, respectivamente (ORTEGA; SOBEL, 2010). Os autores ainda atribuíram o atual dinamismo do polo Petrolina-Juazeiro aos fatores exógenos da região, ou seja, os investimentos governamentais centralizados, que coibiram a participação democrática das comunidades locais. No entanto, este panorama foi modificado no final da década de 1980, com a privatização dos perí-

metros públicos. Assim, o Estado acreditava em maior eficiência com menor intervenção governamental, com enfoque na iniciativa privada. Portanto, criou-se uma nova realidade institucional, com o modelo de gestão denominado de “Distrito de Irrigação”<sup>3</sup>, induzindo a sociedade à efetiva participação das políticas implementadas.

Segundo Bustamante (2009), há cerca de 30 polos de frutícolas, abrangendo mais de 50 municípios de Norte a Sul do Brasil. No entanto, Baixo Jaguaribe-CE, Assu e Mossoró-RN, Alto Piranhas-PB, Juazeiro-BA, Petrolina-PE, Sul de Sergipe e Norte de Minas são os que apresentam vantagens naturais na produção de frutas de padrão internacional durante todo o ano, isto, devido aos projetos de irrigação. Adicionalmente, Sobel et al. (2011) consideram o polo Petrolina o mais importante produtor de frutas do Nordeste, mesmo evidenciando algumas particularidades, tais como, cultivo de produtos perecíveis, incerteza em relação aos preços e a qualidade dos bens. Eles ainda esboçaram o fato de os contratos firmados entre os inúmeros setores apresentarem impactos significativos sobre a eficiência.

Já o DINC (2015) estima que o Projeto Nilo Coelho junto à implantação do setor Maria Tereza e regiões adjacentes ocupam área irrigada de 24.837 hectares, que possibilita beneficiar 90.622 pessoas dentro e fora do perímetro, de forma direta e indireta, com emprego e disponibilidade de negócios com a fruticultura irrigada. De acordo com os últimos dados da FAO, em 2013, o Brasil foi o terceiro país produtor de frutas, atrás somente da China e da Índia, primeiro e segundo no *ranking*, respectivamente. Ademais, as dez frutas com maior quantidade produzida em toneladas foram a laranja, a banana, o abacaxi, o caju, o mamão, a uva, a maçã, o limão, a manga e a tangerina<sup>4</sup>.

Em perspectiva interna, a Produção Agrícola Municipal – PAM (2013) mostrou que Petrolina aparece como maior produtor frutícola do Brasil, cujo valor da produção chega a quase R\$ 918 milhões, ou seja, 3,9% da produção total no país, em 2013. Ademais, a produção da fruticultura aumentou em 48,6%, em relação ao ano anterior, alavancada pela produção de uvas, que corresponde a 48,1% do valor total da produção

3 A forma de gestão por “distrito de irrigação” é a vigente nos dias atuais.

4 As frutas estão em ordem de classificação, do primeiro ao décimo lugar, respectivamente.

de frutas do município e ainda exibe expressiva produção de manga, goiaba e banana. Em comparação, o município de Juazeiro apresenta o segundo melhor desempenho em valor da produção para fruticultura nacional, chegando a R\$ 222 milhões, mesmo com redução de 10,1%, em relação

ao ano de 2012 e, entre outros principais produtos, destacou-se a uva, a manga, o coco-da-baía e o maracujá. Na Tabela 1, observa-se alguns indicadores relacionados à Petrolina e o montante do Brasil, destacando os produtos citados pelos produtores pesquisados:

Tabela 1 – Comparação da área colhida e quantidade produzida entre Brasil e Petrolina em 2014

Frutas	Área Colhida (Ha)			Qtd Produzida (Ton)		
	BR	Petrolina	Participação (%)	BR	Petrolina	Participação (%)
Banana*	478.060	1.980	0,41	6.946.567	35.640	0,51
Coco-da-baía**	250.554	1.800	0,72	1.946.073	54.000	2,77
Goiaba	15.831	2.360	14,91	359.349	70.800	19,7
Manga	70.315	7.880	11,21	1.132.449	157.600	13,92
Maracujá	56.825	180	0,32	823.284	2.520	0,31
Uva	78.753	4.642	5,89	1.453.889	162.448	11,17

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados levantado no IBGE/Sidra-PAM.

Notas: (\*) Cacho, tonelada (\*\*) Mil frutos.

Tratando-se de área colhida, apenas em Petrolina, no período de 2014, a goiaba, a manga e a uva aparecem com 2.360, 7.880 e 4.642 toneladas, respectivamente. No entanto, a produção da uva é superior à da manga, mesmo esta última tendo uma área de colheita maior. Enquanto a uva tem produção de 162.448 toneladas, a manga produz 157.600 toneladas. Isso ocorre, provavelmente, devido às características do cultivo de cada produto, ou ainda, a fatores externos (por exemplo, estiagem, inundação, choques no mercado de frutas etc.). Observa-se também que a uva e a manga representam uma quantidade produzida maior que a soma dos demais produtos (banana, coco-da-baía, goiaba e maracujá). Em suma, estes dois produtos possuem maior relevância para o mercado de frutícola de Petrolina. No ano de 2012 chegou a 8,8 mil toneladas. Em 2013, a exportação atingiu 2,7 mil toneladas e, em 2014, a exportação chegou a 61 toneladas.

Na mesma perspectiva, o Anuário Estatístico da Fruticultura, citado por Reetz (2015) analisou a produção de uva e manga abordando, por completo, o Vale São Francisco. A uva apresentou perda nas exportações para o mercado norte-americano, devido a questões relacionadas aos elevados custos de produção, em especial a mão de obra, a logística, a política cambial e as negociações comerciais. No histórico de exportações, observou-se acentuada queda. Em 2011, o Brasil exportou 16 mil toneladas para o mercado dos EUA; em 2012, 8,8 mil toneladas; em 2013, 2,7 mil toneladas e, em 2014, a exportação chegou a 61 toneladas. Já a manga, apresentou área comercial de 70 mil hectares no

Brasil e por volta de 30 mil hectares, no Vale São Francisco, originando forte aumento nas exportações, em 2014. O volume nacional elevou-se 9%, equivalente a cerca de 11 milhões de toneladas, enquanto a receita subiu 10,76%, ou cerca de US\$ 15,9 milhões. Em relação ao Vale São Francisco, sua participação chegou a 85% do volume exportado pelo Brasil, embarcando, em 2014, aproximadamente 99,5 milhões de toneladas para a União Europeia (US\$ 126,2 milhões) e 22,7 milhões de toneladas destinadas aos Estados Unidos (US\$ 24,2 milhões).

## 2.1 Eficiência no polo Petrolina-Juazeiro

Barros, Costa e Sampaio (2004) aplicaram a função de produção *translog* para mensurar a eficiência técnica em 32 empresas frutícolas para o ano de 1998, nos perímetros de Nilo Coelho, Maniçoba, Curaçá e Bebedouro. Além disso, alguns produtores externos a esses perímetros também fizeram parte da amostra. Os resultados apresentaram escores de eficiências próximos à fronteira, sendo que cinco firmas destacaram-se em relação à eficiência, das quais, três situavam-se externamente aos perímetros, uma em Maniçoba e outra no Nilo Coelho.

Na mesma perspectiva, Resende Filho et al. (2011) analisaram a eficiência técnica nos perímetros irrigados por meio da função *translog*, na cidade de Petrolina. O modelo separa os produtores de frutas em dois grupos. No primeiro, utilizou-se aspersão/microaspersão compostos por 30 firmas. Já no segundo, 11 empresas que utilizavam inundação por gravidade. Os dados foram provenientes



da pesquisa “Investimentos públicos e privados em agricultura irrigada e seus determinantes sobre o emprego e a renda” da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco (Fadep), de 1999. No modelo utilizado para todos os produtores, apenas oito fizeram parte da fronteira de eficiência, ou seja, 19,51%. No entanto, com a divisão em grupos, conforme a tecnologia de irrigação, nove produtores obtiveram eficiência técnica no primeiro grupo e seis no segundo grupo, ou seja, 15 dos 41 produtores foram considerados eficientes, perfazendo um percentual de 36,6%.

Moreira, Troncoso e Bravo-Ureta (2011) utilizaram a fronteira de produção desenvolvida por Battese e Coelli (1992) para analisar a estimativa da eficiência técnica de 38 fazendas chilenas de uva de vinho, com informações *input-output* específicas para blocos individuais. Os resultados sugeriram uma eficiência técnica média da fazenda de 77,2%, enquanto os níveis de eficiência técnica dos blocos variaram de 23,4 a 95%.

Trujillo e Iglesias (2013) desenvolveram um estudo primário no Departamento de Santander, na Colômbia, entre janeiro e abril de 2011, reunindo 194 pequenos produtores de abacaxi Perolera, distribuídos nos municípios de Lebrija (124), Girón (54), e Rionegro (16). O objetivo da pesquisa era obter a eficiência técnica por meio da fronteira de produção estocástica, com modelo Cobb-Douglas e os fatores que possivelmente causavam ineficiência técnica. Os resultados revelaram que a área cultivada e as variáveis associadas ao capital humano, por exemplo, o nível de escolaridade e os anos de experiência na atividade agrícola, explicavam de forma relevante a eficiência técnica. A média de eficiência para os produtores de abacaxi foi de aproximadamente 76%, sendo que apenas, 8,2% obtiveram escore no intervalo de 0,91 a 1.

A eficiência técnica dos produtores de manga, no distrito de irrigação Senador Nilo Coelho foi analisada utilizando a função paramétrica de produção estocástica para o ano agrícola 2012/2013 e abordou o método de Battese e Coelli (1992). De acordo com a estimação, apenas 7 produtores dos 73 que fizeram parte da amostra foram eficientes tecnicamente, ou seja, aqueles que alcançaram escores acima de 0,90. Assim, para alcançar melhores níveis de eficiência, aproximadamente 90% dos produtores teriam que melhorar as alocações

de seus recursos (FERREIRA; ARAÚJO; LIMA, 2014).

Sampaio, Barros e Lima (2014) estimaram o método DEA-VRS (sendo os produtos, a quantidade produzida e valor da produção). Tomaram os escores de eficiência como variável dependente para o modelo Tobit, que utilizou como variáveis explicativas o porte do produtor, quantidade de plantas por hectares, volume de produção, custo do indutor de crescimento, preço e venda contratual. Os resultados mostraram que o volume da produção e as vendas por contratos tendem a elevar os níveis de eficiência em produção, enquanto a área plantada tende a reduzir.

Com a mesma metodologia, Silva (2014) utilizou como regressores no modelo Tobit, as plantas por hectares, escolaridade, núcleo pertencente, comercialização com exterior, interação com instituição de pesquisa, participação em treinamentos, existência de dívidas e se apresenta outra atividade econômica. Como resultado foi constatado que a escolaridade e a interação com instituições de pesquisa elevam os níveis de eficiência dos produtores. Por outro lado, a existência de dívidas reduz a eficiência. Já em relação à produção citrícola do estado de São Paulo, Clemente, Gomes e Lírio (2015) concluíram que escolaridade e tempo como produtor rural contribuem para melhores escores de eficiência técnica.

## 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 3.1 Dados e variáveis

Os dados são provenientes da pesquisa primária<sup>5</sup> realizada pelo Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGECON) da Universidade Federal de Pernambuco – em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) – aplicada em 85 propriedades de fruticultores. A área de estudo foi o Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho em Petrolina-PE, dividido em 11 núcleos. No entanto, foram analisadas apenas 62 empresas devido às informações indisponíveis de algumas propriedades. Os núcleos foram distribuídos da seguinte forma: N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8, N9, N10, N11. Devido à falta de dados foi excluído o N8. Estes

5 A pesquisa foi realizada por amostragem probabilística aleatória simples, levando-se em conta a população de produtores que exploram a fruticultura irrigada.

dados são *cross-section*, referentes ao ano agrícola de 2014. Os produtores frutícolas citam a banana, o coco, a manga, a goiaba, a uva, o maracujá, o caju, como principais produtos cultivados no polo.

No Quadro 1 são apresentadas as variáveis utilizadas neste estudo. Elas foram selecionadas de acordo com a sua importância para explicar a eficiência produtiva dos fruticultores em Petrolina, no período de 2014. Ademais, para descrever as causas da ineficiência das empresas agrícolas foram utilizadas no modelo as seguintes variáveis: os gastos com água na propriedade, pois o perímetro está localizado em uma região semiárida que necessita de irrigação para produzir durante todo o ano e; a escolaridade, que é apontada no estudo de Battese e Coelli (1995), como responsável pela redução da ineficiência.

Segundo Barros, Costa e Sampaio (2004), a escolha do valor da produção como variável dependente é pelo fato de essa variável ser a que melhor reflete os ganhos (ou receita) da empresa agrícola. Por outro lado, pode haver desconforto no uso de variáveis absolutas, que podem camuflar o efeito preço e apresentar distorções de eficiência em relação à variação da cesta entre as empresas. Ademais, as propriedades no polo trabalham com cestas diversificadas de produtos. Portanto, a análise supõe agregação destes, pois, na maioria das vezes, os produtores praticam policultura.

Quadro 1 – Variáveis utilizadas para mensurar a eficiência.

Variáveis	Descrição
<b>Dependente:</b>	
Valor da produção	Valor da produção de frutas, em reais
<b>Covariadas:</b>	
Área total	Área total da propriedade, em hectares
Área irrigada	Área cultivada beneficiada pela irrigação, em hectares
Mão de obra	Despesa com trabalho permanente e temporário, em reais
Insumos	Gastos com sementes, mudas, adubos químicos, adubos orgânicos, defensivos, calcário, gesso, composto, tufa e água, em reais
Capital	Proxy para capital corresponde aos gastos com combustível, manutenção de máquinas e equipamentos, manutenção de veículos, aluguel de máquinas, câmeras frias e reboque, em reais
<b>Covariadas de Ineficiência</b>	
Gasto com água	Gastos com água na propriedade, em reais
Escolaridade	Anos de estudo do (a) chefe da propriedade

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados levantados na pesquisa.

## 3.2 Fronteira de produção

### 3.2.1 Abordagem paramétrica

Os modelos com abordagem paramétrica caracterizam-se a partir da criação de uma forma funcional. Os estudos seminais foram desenvolvidos por Aigner e Chu (1968), Timmer (1971), Battese e Corra (1977), Aigner, Lovell e Schmidt (1977) e Meeusen e Broeck (1977). Eles supõem uma forma funcional para analisar os níveis de eficiência das firmas. A metodologia é dividida em dois grupos: os modelos com fronteiras determinísticas e os modelos com fronteira estocástica.

Os dois tipos de fronteira se diferenciam de forma simples na suposição em relação ao componente de erro. O método de fronteira determinística sugere que todos os desvios estão relacionados à ineficiência técnica, que ocorre devido a fatores endógenos da firma, sendo que este possui distribuição unilateral não simétrica. Já a fronteira estocástica inclui na fronteira determinística um erro aleatório simétrico, que é explicado por fatores exógenos à firma (como por exemplo, estiagens e/ou mudanças no clima). Portanto, a fronteira estocástica é caracterizada pelo termo de erro composto (unilateral e simétrico). De forma geral, o termo de erro simétrico apresenta uma distribuição normal com média zero e variância. Aigner, Lovell e Schmidt (1977) e Meeusen e Broeck (1977) apresentaram os primeiros estudos com componente de erros composto.

### 3.2.2 Fronteira de produção estocástica

A estimação de ineficiência técnica em estrutura paramétrica da Função de Produção de Fronteira Estocástica foi proposta primeiramente por Aigner, Chu e Schmidt (1968) e Meeusen e Broeck (1977). Este método supera as limitações das fronteiras determinísticas, as quais não incorporam a presença de choques aleatórios, sendo assim, as firmas controlam todos os seus resíduos sobre a ineficiência técnica.

A literatura internacional expõe diversos estudos com a estimação de fronteira de eficiência. Pode-se citar Broeck et al. (1980); Førsund, Lovell e Schimidt (1980); Stevenson (1980); Taylor e Shonkwiler (1986); Battese e Coelli (1988); Kumbhakar (1989); Greene (1990); Battese (1992); Battese e Coelli (1992); Banker, Gadh, Gorr (1993); Coelli (1995); Battese e Coelli (1995); Greene (2003); Wang e Ho (2010); Chen, Schmidt e Wang

(2014); Sun, Kumbhakar e Tveterås (2015); Trujillo e Iglesias (2013); Wiboonpongse et al. (2015). Já na agricultura brasileira, alguns dos estudos com modelos de eficiência técnica são aplicados por Albuquerque (1987); Barros, Costa e Sampaio (2004); Sousa, Justo e Campos (2013); Araújo e Mancal (2015) e; Clemente, Gomes e Lírio (2015).

O modelo de função determinística é apresentado na literatura pela tecnologia da produção, conforme Aigner, Lovell e Schmidt (1977) e Battese e Coelli (1988;1995):

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

Onde:

$y_i$  representa o vetor de produto (ou logaritmo do produto) da  $i$ -ésima firma.

$x_k$  representa o vetor de insumos  $1 \times k$ , cujo primeiro elemento é igual a 1 e os demais são as quantidades (ou logaritmos) dos  $k$  insumos utilizados pela  $i$ -ésima firma.

$\beta_k$  representa o vetor de parâmetros  $k \times 1$ , associados às variáveis independentes.

$u_i$  representa o erro unilateral, variável aleatória não positiva, captador de ineficiência técnica, de total controle da  $i$ -ésima firma.

Na fronteira estocástica estima-se a fronteira usando-se tecnologias que admitem a divisão do termo de erro em duas partes: a primeira mede a ineficiência técnica da firma, a qual é controlada por fatores endógenos; a segunda mensura os erros aleatórios, exógenos à firma (por exemplo, excesso de chuvas, estiagens, mudança na legislação, greve trabalhista, entre outros). Neste caso, a função de produção a ser utilizada será:

$$y_i = f(x_k; \beta_k) + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$\varepsilon_i = v_i + u_i \quad (3)$$

Onde:s

$y_i$  representa o vetor de produto (ou logaritmo do produto) da  $i$ -ésima firma.

$x_k$  representa o vetor de insumos  $1 \times k$ , cujo primeiro elemento é igual a 1 e os demais são as quantidades (ou logaritmos) dos  $k$  insumos utilizados pela  $i$ -ésima firma.

$\beta_k$  representa o vetor de parâmetros  $k \times 1$ , associados às variáveis independentes.

$\varepsilon_i$  representa o termo de erro composto, sendo:  $v_i$  os choques aleatórios, fora do controle das firmas, que se distribui normalmente com média zero e variância  $\sigma_v^2$ .  $u_i$  representa a ineficiência técnica (ou seja, diferença entre o produto observado e o produto na fronteira), que assume ser uma variável aleatória não positiva, independentemente e identicamente distribuída, truncada em zero com distribuição  $N(\mu, \sigma_u^2)$ .

Nas estimações de uma função de produção, o termo de ineficiência apresenta-se não positivo,  $u_i \leq 0$ , revelando que o produto deve estar na fronteira ou abaixo dela. Se o estudo examina a função custo, este termo será não negativo. Assim, desvios são atribuídos a fatores endógenos à firma, como esforço do produtor, dos trabalhadores, entre outros.

Na estimação do termo de ineficiência, a grande preocupação dos pesquisadores está em decidir uma função distribuição adequada. Até agora, Aigner, Lovell e Schmidt (1977) propuseram uma *half-normal* e exponencial, Stevenson (1980) usa a distribuição normal truncada e Greene (1980) prefere a distribuição *gamma*. Coelli et al. (2005) escolheram a distribuição cuja estrutura é geralmente simples: *ceteris paribus*. Desta forma, afirma que as distribuições com essas características são a *half-normal* e a exponencial. No entanto, foi utilizada na presente análise a distribuição normal truncada, conforme estudo de Stevenson (1980), que usou dados primários da indústria de metal e Battese e Coelli (1995), que mensuraram a eficiência técnica das práticas agrícolas em um vilarejo na Índia. Utilizou-se essa distribuição em razão de sua flexibilidade em relação à atuação das firmas fora da fronteira de produção, sendo sua moda maior que zero (igual a zero, no caso particular, ou seja, em uma *half-normal*).

### 3.2.3 Estimações do modelo de fronteira de produção estocástica

Na estimação de fronteira são utilizados dois métodos clássicos: Máxima Verossimilhança e de Mínimos Quadrados Corrigidos (*Corrected Ordinary Least Square*, COLS). No entanto, este segundo método dificilmente funciona em algumas amostras, o que impossibilita calcular o desvio padrão da distribuição (normal truncada),  $\sigma_u$  e o desvio padrão da distribuição do ruído,  $\sigma_v$ . Por essas razões, será utilizado neste trabalho o método de máxima verossimilhança por ser mais abrangente na análise.

A função distribuição do erro composto é dada por:

$$f(\varepsilon_i) = \frac{\sqrt{2}}{\sigma_u} \sqrt{\pi} [1 - F(\varepsilon_i \lambda \sigma^{-1})] \exp\left(\frac{-\varepsilon_i^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

$$\ln L(y / \beta, \lambda, \sigma^2) = N \ln \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}} + N \ln \sigma^{-1} + \sum_{i=1}^N \ln [1 - F(\varepsilon_i \lambda \sigma^{-1})] - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 \quad (5)$$

Utilizou-se o método de separação do termo de erro no modelo de fronteira estocástica, proposto por Jondrow et al. (1982), considerando o valor da esperança de condicionada à , em que se distribui normalmente e tem distribuição normal truncada, ou seja:

$$E(u_i / \varepsilon_i) = \mu_* + \sigma_* \frac{f(-\mu_* / \sigma_*)}{1 - F(-\mu_* / \sigma_*)} \quad (6)$$

Onde  $F$  e  $f$  são respectivamente, a função densidade e a função distribuição acumulada da normal padronizada. Sendo  $-\mu_* / \sigma_* = \varepsilon \lambda / \sigma$ ,  $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$ ,  $\sigma_*^2 = \sigma_u^2 \sigma_v^2 / \sigma^2$  e  $\lambda = \sigma_u / \sigma_v$ .

Deste modo, para se obter os valores da distribuição de , toma-se o exponencial,  $\exp(-E(u_i / \varepsilon_i))$ , estimando a eficiência técnica de cada propriedade agrícola, situado no intervalo [0,1], com 0 implicando em total ineficiência e 1, em eficiência máxima.

A função de produção de fronteira estocástica estimada será a Cobb-Douglas, de acordo com o modelo proposto por Battese e Coelli (1995):

$$\ln(VP)_i = \alpha + \beta_1 \ln(area)_i + \beta_2 \ln(irri)_i + \beta_3 \ln(trab)_i + \beta_4 \ln(ins)_i + \beta_5 \ln(cap)_i + \varepsilon_i \quad (7)$$

onde  $i = 1, 2, \dots, n$ , e  $\ln(VP)_i$ ,  $\ln(area)_i$ ,  $\ln(irri)_i$ ,  $\ln(trab)_i$ ,  $\ln(ins)_i$ ,  $\ln(cap)_i$  são logaritmos naturais das variáveis valor da produção, área total, área irrigada, mão de obra, insumos e capital, respectivamente.

Como mencionado acima,  $\varepsilon_i = v_i + u_i$ , onde  $v_i$  são os choques aleatórios independente e identicamente distribuídos, dados por uma distribuição normal, com média zero e variância  $\sigma_v^2$ , exógeno à firma; e,  $u_i$  é o erro unilateral que mede a eficiência por meio da diferença entre o produto observado e o produto na fronteira, com distribuição normal truncada em zero, com média,  $\delta z_p$  e variância,  $\sigma_u^2$ .

onde  $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$ ,  $\lambda = \sigma_u / \sigma_v$  e  $F(*)$  é uma função distribuição acumulada da normal padrão. Aigner, Lovell e Schmidt (1977) usaram a função logarítmica de máxima verossimilhança representada por:

O efeito de ineficiência técnica,  $u_i$ , pode ser especificado na equação proposta por:

$$u_i = z\delta_i + \omega_i \quad (8)$$

$$u_i = \delta_0 + \delta_1 \text{agua}_i + \delta_2 \text{esc}_i + \omega_i \quad (9)$$

$\text{agua}_i$  – é o logaritmo do gasto com água na propriedade  $i$ .

$\text{esc}_i$  – é o logaritmo de anos de escolaridade do produtor  $i$ .

O erro aleatório,  $\omega_i$ , esta definido pelo truncamento da distribuição normal, com média zero e variância,  $\sigma^2$ , sendo truncado no ponto,  $-z\delta$ , ou seja,  $\omega_i \geq -z\delta_i$ . Esta suposição são consistentes com  $u_i$  sendo um truncamento não negativo com distribuição  $N(z\delta, \sigma^2)$ .

### 3.2.4 Teste da razão de verossimilhança

O teste estatístico é ferramenta importante para encontrar estimadores relevantes. O *Likelihood-Ratio* (razão verossimilhança ou LR) generalizado é aplicado após estimação do modelo Cobb-Douglas e Translog. Utiliza-se o *log-Likelihood* (log-verossimilhança ou LL) estimado em cada modelo. Por fim, contrasta-se o valor crítico do teste LR a Tabela Kodde-Palm. Portanto, se o valor LR for maior que o valor crítico da Tabela Kodde-Palm, dado os graus de liberdade igual ao número de restrições (número de parâmetros), rejeita-se a hipótese nula, conforme segue:

$$H_0: LL; \text{Cobb} - \text{Douglas}$$

$$H_1: LL; \text{Translog}$$

$$LR = -2[\ln LL H_0 - \ln LL H_1] \sim X_k^2$$

$$LR > TKP$$

(Tabela Kodde Palm, 1986); rejeita-se  $H_0$ .

Posteriormente, a aplicação do teste de razão de verossimilhança diagnostica a presença ou não de ineficiência alocativa no modelo. Para isso, utiliza-se o LL do modelo estimado com as variáveis de



ineficiência técnica e, da mesma forma, o LL da estimação de mínimos quadrados ordinários. Os graus de liberdade nesse teste qui-quadrado são representados pelas restrições equivalentes à função de produção proposta. Nesse caso, os graus de liberdade serão o número de variáveis de ineficiência utilizadas na função de produção.

$H_0: \gamma = 0$  (Ausência de ineficiência); usa-se MQO.

$H_1: \gamma \neq 0$  (Presença de ineficiência); usa-se Fronteira Estocástica

$$LR = -2[\ln LL H_0 - \ln LL H_1] \sim X_k^2$$

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

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentadas as estatísticas descritivas e o resultado do modelo desenvolvido por Battese e Coelli (1995). Em seguida, são mostrados os testes de razão de verossimilhança, que justificaram a escolha do modelo supramencionado. Após, foram realizadas comparações entre as sete firmas mais próximas e mais distantes da fronteira. Adiante, analisou-se o sumário descritivo dos escores de eficiência, a distribuição por núcleo do perímetro e, por fim, as escalas dos escores eficientes e seus percentuais.

As estatísticas descritivas das 62 propriedades analisadas estão apresentadas na Tabela 2. Em relação ao valor da produção, pode-se observar uma enorme disparidade por meio do seu desvio padrão, que se apresenta maior que sua média. No entanto, o pequeno proprietário em termos de receita, alcança cerca de R\$ 47.100,00 em toda sua produção, enquanto o grande proprietário, cerca de R\$ 7.020.000,00, referente à produção frutícola do ano de 2014.

O polo Petrolina-Juazeiro situa-se no semiárido nordestino, fazendo com que a região recorra à irrigação para manter a produção durante todo ano. Dessa forma, a terra que não é irrigada, muito provavelmente, estará ociosa. Dito isto, analisa-se a área total em comparação à área irrigada. Na área total, alguns agricultores possuem 160 hectares do insumo terra, porém, utilizam apenas uma parte na irrigação (ou produção). Este fato pode ser comprovado ao observar o máximo de área irrigada, que é de 58 hectares. Nesse contexto, sinaliza uma deficiência na capacidade de aproveitamento deste insumo. Por fim, ressalta-se que o Distrito de Irrigação Nilo Coelho classificou as empresas agrícolas em: pequena propriedade até 7 hectares; média propriedade de 7,1 a 50 hectares; grande propriedade, acima de 50 hectares.

Na perspectiva de examinar os gastos dos recursos em mão de obra, capital e insumos, a descrição principal é a baixa média da utilização do recurso em capital (gastos com máquinas, equipamentos etc.), se comprado ao gasto com trabalho e insumos produtivos (como adubos, sementes etc.). Ou seja, o produtor do Perímetro Nilo Coelho, em média, utiliza mais recursos com trabalho pessoal do que com a mecanização da agricultura, que é uma característica da produção na região nordeste, comparada às regiões sul e sudeste do país, as quais possuem alta introdução tecnológica na produção agrícola.

A respeito das variáveis que podem ocasionar ineficiência na matriz de produção, o gasto com água relata a dificuldade desse recurso em uma região do semiárido, frequentemente afetada pela seca. Portanto, pode-se atribuir a esse fenômeno as causas decorrentes de investimentos para mitigar a ineficiência produtiva. Já a escolaridade é apontada, conforme Battese e Coelli (1995), como responsável pela redução de ineficiência.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas das variáveis

Variável	Unidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Valor da produção	Real (R\$)	761.199,70	1.468.815,00	47.100,00	7.020.000,00
Área	Hectare	22,59	32,87	5,80	160
Área irrigada	Hectare	13,14	12,90	4	58
Mão de obra	Real (R\$)	122.352,00	200.103,70	8.688,00	1.080.000,00
Insumo	Real (R\$)	199.439,30	544.177,60	1.260,00	3.700.000,00
Capital	Real (R\$)	19.300,75	44.516,00	130,00	264.000,00
Variáveis de Ineficiência					
Variável	Unidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Gasto com água	R\$	26.540,65	22.921,45	2.040,00	156.000,00
Escolaridade	Anos	4,12	2,06	1	8

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da pesquisa.

As estimações<sup>6</sup> da fronteira de eficiência estocástica são apresentadas na Tabela 3. Os resultados apontam significância estatística de 5% para a área total, irrigada, mão de obra e insumos. No entanto, a variável capital apresenta-se não significativa estatisticamente, verificando-se um resultado diferente do encontrado em Bragnolo (2012). Tal fato pode estar associado a uma mão de obra mais intensiva do que maquinário, dado que as máquinas substituem mão de obra. Além do mais, grande parte dos agricultores utiliza trabalho familiar e/ou temporário, o que restringe o uso de máquinas para transportar e comercializar os produtos. Adiante, a variável de gasto com água registra significância em 5%, enquanto o nível de escolaridade do produtor situa-se insignificante no intervalo de confiança.

A área total tem uma elasticidade negativa, indicando que o tamanho total de terra na propriedade produz um efeito negativo na receita, que corrobora com os estudos de Marinho e Carvalho (2004) e Bragnolo (2012). Por outro lado, a área irrigada mostra sinal positivo, com elasticidade de 0,63%. Provavelmente, se constata este acontecimento porque os produtores cultivam somente as áreas irrigadas estabelecendo, assim, uma capacidade ociosa do insumo terra.

Em relação ao custo da mão de obra e insumos, com elasticidade de 0,41% e 0,16%, respectivamente, o sinal está de acordo com o esperado. A primeira variável corrobora com o estudo de Barros, Costa e Sampaio (2004), que apresentou sinal positivo e significativo. Ao contrário disso, o coeficiente dos gastos com insumos, na análise dos autores mostrou-se negativo. Diante disso, os gastos com mão de obra e insumos implicam em boas alocações no processo produtivo, que pode indiciar eficiência na produção frutícola dos estabelecimentos observados.

Em relação às variáveis utilizadas para captar os efeitos de ineficiência, todos os sinais estão de acordo com o esperado. No entanto, a escolaridade não apresenta significância estatística. A explicação para isso, talvez, seja o fato do baixo nível de grau de instrução dos produtores, que ocasiona uma amostra homogênea e reduz o efeito dessa variável sobre o valor da produção. A estatística descritiva da variável escolaridade mostra que, em

média, os produtores do perímetro possuem 4,12 e, no máximo, 8 anos de estudo. Diante do exposto, percebe-se que os produtores analisados no perímetro não concluíram o ensino fundamental.

Na variável “gastos com água” supõe-se que ela mostre redução da ineficiência causada pelo aumento dos investimentos em área irrigada. Dessa forma, aumentar os gastos com água, sabendo-se que é o principal fator de produção no perímetro, e que está localizado no semiárido (que passou por período de estiagem em 2014), indica que o produtor investe na sua capacidade produtiva, mesmo que de forma indireta. Portanto, o gasto com água em área irrigada reduz a ineficiência do agricultor do perímetro, em média de 0,37%. Silva e Sampaio (2002) apontaram a inadimplência no pagamento da água como fator principal que afetava o desempenho dos colonos, sendo o perímetro Nilo Coelho que apresentou maior percentual de produtores ineficientes. Dessa forma, pode-se sugerir que os gastos com água direcionam as boas práticas de investimentos em perímetros irrigados, onde a água é a necessidade fundamental para manutenção da plantação de frutas.

Tabela 3 – Estimação da fronteira estocástica com distribuição normal truncada

Variáveis	Coefficientes	Erro Padrão	z	Prob >  z
Intercepto	6,3725	0,8522	7,4777	0,0000
Área total	-0,3509	0,1766	-1,9861	0,0470
Área irrigada	0,6375	0,2474	2,5768	0,0099
Mão de obra	0,4194	0,1028	4,0745	0,0000
Insumos	0,1632	0,0579	2,8163	0,0048
Capital	0,0053	0,0674	0,7932	0,4276
<b>Ineficiência</b>				
Intercepto	4,6616	1,5189	3,0690	0,0021
Gasto com água	-0,3745	0,1414	-2,6490	0,0080
Escolaridade	-0,0180	0,1597	-0,1132	0,9098
gamma	0,8858	0,3550	2,4952	0,0125
sigmaSq	0,1779	0,0448	3,9677	0,0000
sigmaSqU	0,1576	0,0847	1,8604	0,0628
sigmaSqV	0,0203	0,0617	0,3292	0,7420
sigma	0,4218	0,0531	7,9354	0,0000
sigmaU	0,3969	0,1066	3,7209	0,0000
sigmaV	0,1425	0,2164	0,6584	0,5102
log da função likelihood	-31,3189	-	-	-
Nº de Observações		62		

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da pesquisa.

O indicador de ineficiência técnica, *gamma*, exibe o valor de 0,8858. Portanto, pode-se afirmar que 88,58% da variância total do erro composto da

6 Nas estimações dos parâmetros das fronteiras de produção, utilizou-se o software estatístico R-Project, que contém o pacote frontier.

estimativa da função de produção estocástica é descrito pela ineficiência técnica. Dessa forma, para os dados aplicados nessa pesquisa, é necessária a incorporação da ineficiência técnica ao modelo.

Diante da exposição dos resultados, na Tabela 4 são apresentados os testes de razão de verossimilhança que corroboraram para escolha do determinado modelo estimado. Primeiro, realizou-se o teste da forma funcional, que adota a função de produção do tipo Cobb-Douglas. Em seguida, tes-

tou-se a presença do erro composto, que justifica o uso do modelo com proporção da variância dos erros, os quais são relacionados a fatores endógenos, ou seja, que podem ser controlados pelo produtor, e não somente pela variância do erro aleatório. Portanto, os testes indicam que a função de produção Cobb-Douglas, desenvolvido por Battese e Coelli (1995) – que diagnosticou a presença de ineficiência – é o melhor modelo a ser utilizado para os dados da amostra.

Tabela 4 – Testes de razão de verossimilhança

Teste	Hipótese Nula	$k$	$\lambda$	Valor Crítico	Pr(>Qui)	Decisão (nível de 5 %)
Forma funcional	$H_0$ : Cobb-Douglas $H_1$ : Translog	9	11,06	16,27	0,271	Não Rejeita $H_0$
Inexistência de ineficiência	$H_0$ : OLS $H_0$ : ECF	2	8,48	5,13	-	Rejeita $H_0$

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da pesquisa.

$k$  – Significa os graus de liberdade.  $\lambda = -2[LL(H_0) - LL(H_1)]/\chi^2_k$  Razão de verossimilhança. O valor crítico será encontrado na Tabela Kodde Palm (1986). Pr (>Qui) é a probabilidade qui-quadrado, que mostra o valor probabilístico ao qual se rejeita ou não a hipótese nula. OLS – São os Mínimos Quadrados Ordinários. ECF – Erro com componente composto.

Na Tabela 5 encontram-se os escores de eficiência das firmas com modelo de função produção Cobb-Douglas. Foi realizada uma comparação das cinco firmas que estão próximas da fronteira eficiente contra aquelas que aparecem distantes. Observa-se que, aquelas próximas da fronteira de eficiência promovem uma melhor utilização dos recursos disponíveis. Consequentemente, agregam maior volume de produção. Por outro lado, as propriedades que se encontram distantes da fronteira podem ter alocado seus recursos de forma tal, que não favoreceram a eficiência, como, por exemplo: gastos excessivos com insumos, aproveitamento da área irrigada, gastos com contratação incorreta da mão de obra, entre outros fatores. Portanto, os gastos com água na propriedade é o recurso com menor valor de dispêndio, indicando a necessidade de maiores investimentos, o que, consequentemente, reduz a ineficiência dos produtores de frutas no perímetro.

Mostra ainda que as características básicas das cinco firmas próximas à fronteira de eficiência estão pautadas racionalmente nos recursos disponíveis, de tal forma, que se possa elevar o valor da produção. Estas empresas possuem um valor da produção médio de R\$ 3.403.528,5, usando, em média, 33,7 hectares de área irrigada. Destaca-se a média da área ociosa em 28,4 hectares, e o fato de todas as firmas serem de médio e grande porte. Ademais, percebe-se que os produtores na primeira, segunda, quarta e quinta colocações apresentam ociosidade convergindo para zero, o que sinaliza um bom uso do insumo terra. Já as empresas agrícolas que estão em terceiro, sexta e sétima colocações, talvez pudessem apresentar melhor desempenho em seus escores de eficiência, caso cultivassem todo o espaço da propriedade para plantação. Apesar disso, o escore médio de eficiência das sete firmas próximas da fronteira é 0,78. Essa ociosidade da terra pode ser uma explicação para o sinal negativo da área total na estimação da Tabela 3, apresentada anteriormente.

Tabela 5 – Firmas próximas da fronteira eficiente *versus* firmas distantes da fronteira eficiente

Núcleo	Rank	Escore	ÁreaT (Ha)	ÁreaI (Ha)	ÁreaO (Ha)	Valor da produção (R\$)	Mão de obra (R\$)	Insumos (R\$)	Capital (R\$)	Gasto c/ água (R\$)
N3	1°	0,89	27	27	0	2.380.000	90.000	145.000	38.000	24.000
N5	2°	0,82	10	8	2	185.500	8.688	1.400	600	19.200
N2	3°	0,81	160	40	120	1.380.000	96.000	250.000	22.000	80.000
N6	4°	0,78	10	9	1	461.700	61.200	3.380	280	27.600
N3	5°	0,77	50	50	0	6.237.500	391.680	1.900.000	102.000	60.000
N10	6°	0,72	78	58	20	6.160.000	920.004	553.000	200.000	156.000
N10	7°	0,70	100	44	56	7.020.000	1.080.000	3.700.000	264.000	96.000
<b>Média</b>		<b>0,78</b>	<b>62,1</b>	33,7	28,4	3.403.528,5	<b>378.224,5</b>	<b>936.111,4</b>	89.554,2	<b>66.114,6</b>
N3	55°	0,25	6,4	5	1,4	182.000	48.000	100.000	1.800	14.400
N11	56°	0,24	100	42	58	350.000	83.040	145.400	7.200	36.000
N2	57°	0,24	9,5	9,5	0	139.600	20.400	29.400	7.800	12.000
N6	58°	0,21	6,5	6	0,5	66.500	37.920	1.450	130	15.600
N3	59°	0,21	21	17	4	603.000	270.672	284.500	4.080	2.040
N2	60°	0,21	40	30	10	438.000	155.088	95.500	54.600	48.000
N4	61°	0,19	6,5	6	0,5	47.100	17.376	2.100	400	24.000
N1	62°	0,13	10	8	2	65.300	26.064	27.480	6.000	12.000
<b>Média</b>		<b>0,20</b>	<b>27,64</b>	16,92	10,71	244.214,2	87.222,8	83.690,0	11.458,5	21.377,1

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Quanto aos produtores distantes da fronteira de produção eficiente, observa-se que das sete, apenas uma é de grande porte, enquanto o restante é de médio e pequeno porte. Além disso, somente uma firma não possui área ociosa. O valor da produção é de R\$ 244.214,2, em média, sendo cerca de 1.300 vezes menor, comparada à média das classificadas com maiores escores de eficiência. Ao considerar os gastos com água, a média das firmas que se encontram no topo chega a ser três vezes superior ao valor dos gastos nas firmas distantes da fronteira. Portanto, essas firmas que não se aproximam da fronteira eficiente e, possivelmente, apresentam deficiência no uso dos fatores de produção.

A Tabela 6 mostra as estatísticas descritivas das eficiências por divisão de núcleos. Pode-se observar que N10 apresenta as maiores médias de escores de eficiência, que representa 9,68% dos produtores da amostra. Observa-se, ainda, que dois produtores do N10 são ranqueados entre os sete escores de eficiência com melhores práticas. O N3 é o núcleo com maior frequência de firmas frutícolas, no entanto, sua média de eficiência é apenas de 0,46%. A diferença do núcleo que se encontra mais distante da fronteira para o que se aproxima da fronteira é de 0,2732. A análise por núcleo detecta que, em média, todos os núcleos estão aquém do esperado, pois, de acordo com Barros, Costa e Sampaio (2004), podem ser consideradas próximas à fronteira eficiente, as firmas que estão dentro do intervalo de 0,6 até a unidade.

Tabela 6 – Descrição das eficiências dos núcleos do Perímetro Nilo Coelho

Núcleo	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Frequência	%
N1	0,3799	0,1638	0,1266	0,6750	9	14,52%
N2	0,3713	0,2473	0,2050	0,8071	5	8,06%
N3	0,4678	0,2340	0,2110	0,8071	11	17,74%
N4	0,3634	0,1552	0,1924	0,5193	4	6,45%
N5	0,4822	0,1756	0,3112	0,8185	6	9,68%
N6	0,4279	0,1944	0,2138	0,7816	7	11,29%
N7	0,4415	0,0852	0,0852	0,5646	10	16,13%
N9	0,4806	0,0419	0,0419	0,5102	2	3,23%
N10	0,5417	0,1701	0,1701	0,7158	6	9,68%
N11	0,2685	0,0421	0,1763	0,2982	2	3,23%
<b>Total</b>	<b>0,4343</b>	<b>0,1763</b>	<b>0,1266</b>	<b>0,8926</b>	<b>62</b>	<b>100%</b>

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da pesquisa.

Obs.: o N8 não será apresentado na amostra, por falta de dados.



É relevante observar que a média de eficiência alocativa é 43,43%, ao considerar todos os produtores. Dito isto, analisa-se o estudo realizado para região semiárida brasileira, o qual apontou para uma eficiência técnica média de 53,8%, que indica um processo produtivo característico da região (SILVA et al., 2016). Desse modo, no geral, as empresas agrícolas da região semiárida apresentam baixa desenvoltura em sua eficiência média, seja técnica ou alocativa.

A literatura que aborda a função de produção do tipo Cobb-Douglas é extensa. O modelo de Battese e Coelli (1995) foi um dos principais estudos no tocante ao tema. Salienta-se que essa função possui retornos constantes à escala e elasticidade de substituição unitária. Levando em consideração que as firmas acima de 0,60 estão próximas da fronteira de produção eficiente, apenas 14,52% atendem a essa condição, como descrito na Tabela 7. Por outro lado, aponta-se para 79,25% das firmas com escores reduzidos de eficiência, no intervalo de 0,2 e 0,6. De forma geral, afirma-se que os produtores frutícolas do perímetro Nilo Coelho apresentam práticas ineficientes em seus fatores de produção durante o período analisado. O que não ocorreu no estudo de Barros, Costa e Sampaio (2004) que, em uma amostra de 32 empresas do perímetro Nilo Coelho, concluíram que cerca de 43% das firmas agrícolas possuíam escala de eficiência abaixo de 0,6.

Tabela 7 – Escalas dos escores de eficiência

Classe de eficiência	Número de firmas	Percentual
0 a 0,2	2	3,23
0,2 a 0,4	29	43,77
0,4 a 0,6	22	35,48
0,6 a 0,8	6	9,68
0,8 a 1	3	4,84
Total	62	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da pesquisa.

Em síntese, os núcleos do perímetro irrigado Senador Nilo Coelho, em Petrolina, são formados por médios e pequenos fruticultores. Contudo, tem-se um grande número de empresas ineficientes. Essa ineficiência pode ter ocorrido em virtude da utilização de práticas de gerenciamento dos fatores produtivos de forma ineficaz, como gastos de insumos, gastos com máquinas, gastos para contratação de mão de obra e aproveitamento incorreto da área total e irrigada. Ademais, gerenciar os fatores de produção é fundamental para que não ocorra des-

perdício no processo produtivo. Por fim, são necessárias desenvoltura e criatividade do produtor para atender à demanda do mercado sem desperdiçar seus recursos, tendo em vista que o mercado espera um produto nos padrões de qualidade internacional.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do estudo foi estimar a fronteira de produção estocástica para analisar os escores de eficiência de uma amostra de 62 empresas que cultivam fruticultura no perímetro irrigado Nilo Coelho, na cidade de Petrolina, no estado de Pernambuco. Para tal, utilizou-se o método de fronteira estocástica proposto por Battese e Coelli (1995).

As variáveis que apresentam sinais positivos são: área irrigada, mão de obra e insumos, como indicado na literatura. Por outro lado, “capital” apresenta-se não significativa, enquanto “área total” apresenta sinal negativo, muito embora já fosse provável, devido ao fato de a produção no polo ser concentrada apenas em solos irrigados. Ou seja, em uma região semiárida, a expansão da área que é irrigada torna-se mais importante do que a área total de terra, tendo em vista que o espaço irrigado é agricultável, inerência necessária para a fruticultura.

Em relação ao escore de eficiência, nove firmas se encontram próximas à fronteira, pois na maioria delas, predomina um baixo nível de eficiência alocativa. Apenas uma empresa, localizada no N3, está mais próxima da unidade. Desta forma, percebe-se que são poucas as empresas que utilizam os fatores produtivos de forma eficiente. Na distribuição de frequência, torna-se evidente que somente 14,52% das propriedades frutícolas possuem gerenciamento eficiente dos fatores de produção, se considerado o intervalo do escore de 0,6 a 1. Todavia, tais resultados revelam uma problemática de gerenciamento dos recursos disponíveis no perímetro irrigado Nilo Coelho.

Nesse contexto, pode-se verificar que produtores frutícolas são sensíveis nas alocações de seus recursos. Em geral, eles não possuem organização e planejamento na contabilização dos gastos com insumos, máquinas e mão de obra, causando distorções nos rendimentos da produção. Desta forma, observando-se as médias de escolaridade nas estatísticas descritivas, percebe-se a falta de conhecimento do homem do campo, que não possui elevados níveis educacionais para gerenciar os recursos disponíveis

de maneira eficaz e eficiente. Enfatiza-se ainda que a fruticultura possui certas peculiaridades, tais como alta precibilidade e incerteza quanto à variação dos preços e da qualidade do bem a ser comercializado (causado por choques aleatórios).

Uma forma de solucionar os problemas gerenciais e organizacionais dos produtores do Vale São Francisco será o cooperativismo. No entanto, ainda não há uma formação de grupos intensivos em cooperativas na região, possivelmente em virtude da grande quantidade de pequenos produtores, que vendem sua produção em feiras locais, atravessadores, ou para os grandes produtores exportadores. Um entrave encontrado pelos pequenos produtores é representado pelas inúmeras burocracias para certificar sua produção no padrão do mercado interno e externo, assim como os custos de transações.

Nos últimos anos, em toda a região Nordeste foram registradas chuvas abaixo da média, o que ocasionou a redução do volume de água nos reservatórios. Nesse contexto, em períodos críticos, a distribuição de água para irrigação foi reduzida e, conseqüentemente, perdas na produção e aumento monetário da mensalidade do consumo de água para o perímetro. Ademais, na problemática financeira, fator que possui relevância é a descapitalização do pequeno produtor, que restringe a utilização de insumos e equipamentos modernos. Portanto, faz-se necessário que os gerentes das empresas frutícolas estabeleçam técnicas criativas de gestão para não incorrerem em perdas de recursos no futuro, principalmente, levando em consideração a estiagem que ocorreu no ano de 2014.

Nesta perspectiva, os fruticultores necessitam de políticas públicas que reduzam os custos com fatores produtivos. Pelo fato de os dados serem *cross-section* foi abordado apenas o ano de 2014. Este estudo não mostra mudança tecnológica temporal. Dessa forma, pesquisas futuras são sugeridas em relação ao efeito do tempo no setor frutícola de Petrolina, mensurando a produtividade.

## REFERÊNCIAS

- AIGNER, D. J.; CHU, S. F. On estimating the industry production function. **American Economic Association**, Nashville, v. 58, n. 4, p. 826-839, 1968.
- AIGNER, D.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. **Journal of Econometrics**, Spain, v. 6, p. 21-37, 1977.
- ALBUQUERQUE, M. C. C. Uma análise *translog* sobre a mudança tecnológica e efeitos de escala: um caso de modernização ineficiente. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 192-220, 1987.
- ARAÚJO, J. A.; MANCAL, A. Produtividade e eficiência no setor agropecuário do nordeste brasileiro. **Interações**, Campo Grande, v. 16, n. 2, p. 385-394, 2015.
- BANKER, R. D.; GADH, V. M.; GORR, W. L. A Monte Carlo comparison of two production frontier estimation methods: corrected ordinary least squares and data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, Spain, v. 67, n. 3, p. 332-343, jun. 1993.
- BARROS, E. S.; COSTA, E. F.; SAMPAIO, Y. Análise de eficiência das empresas agrícolas do polo Petrolina/Juazeiro, utilizando a fronteira paramétrica *translog*. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 597-614, dez. 2004.
- BATTESE, G. E. Frontier production functions and technical efficiency : a survey of empirical applications in agricultural economics. **Agricultural Economics**, Medford, v. 7, p. 185-208, 1992.
- BATTESE, G. E.; BROCA, S. S. Functional forms of stochastic frontier production functions and models for technical inefficiency effects: a comparative study for wheat farmers in Pakistan. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, v. 8, n. 4, p. 395-414, 1997.
- BATTESE, G. E.; COELLI, T. J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. **Empirical Economics**, Pittsburgh, v. 20, n. 2, p. 325-332, 1995.
- \_\_\_\_\_. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, v. 3, n. 1-2, p. 153-169, 1992.

- \_\_\_\_\_. Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalized frontier production function and panel Data. **Journal of Econometrics**, Spain, v. 38, n. 3, p. 387-399, 1988.
- BATTESE, G. E.; CORRA, G. S. Estimation of a production function model: with application to the pastoral zone of Eastern Australia. **Australian Journal of Agricultural Economics**, Malden MA, v. 21, n. 3, p. 169-179, 1977.
- BNB – BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. **Nordeste 2022** - estudos prospectivos. Documento Síntese. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2014. 155 p. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/corumbau/livro-pdf-ne-2022-tania-bacelar>>. Acesso em: 01 mai. 2015.
- BROECK, V. D. J.; FØRSUND, F. R.; HJALMARSSON, L.; MEEUSEN, W. On the estimation of the deterministic and stochastic frontier production functions. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 13, p. 117-138, 1980.
- BUSTAMANTE, P. M. A. C. A fruticultura no Brasil e no vale do São Francisco: vantagens e desafios. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 40, n. 1, p. 154-171, 2009.
- CHEN, Y. Y.; SCHMIDT, P.; WANG, H. J. Consistent estimation of the fixed effects stochastic frontier model. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 181, n. 2, p. 65-76, 2014.
- CLEMENTE, F.; GOMES, M. F. M.; LÍRIO, V. S. Análise da eficiência técnica de propriedades cítricas do estado de São Paulo. **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 63-79, mar. 2015.
- COELLI, T. Estimators and hypothesis tests for a stochastic frontier function - a Monte-Carlo analysis. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, v. 6, p. 247-268, 1995.
- COELLI, T. J.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J.; BATTESE, G. E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. 2.ed. New York: Springer, 2005.
- DINC – DISTRITO DE IRRIGAÇÃO NILO COELHO. **Home page**. Disponível em: <<http://www.dinc.org.br/>>. Acesso em: 01 jun. 2015.
- FERREIRA, C. B.; ARAÚJO, J. A.; LIMA, J. R. F. Eficiência técnica na produção de manga em Petrolina (PE). In: ENCONTRO PERNAMBUCANO DE ECONOMIA, 3., 2014, Recife. **Anais...** Recife, 2014.
- FØRSUND, F. R.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. A survey of frontier production functions and of their relationship to efficiency measurement. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 13, n. 1, p. 5-25, mai. 1980.
- GREENE, W. H. A gamma-distributed stochastic frontier model. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 46, n. 1-2, p. 141-163, 1990.
- \_\_\_\_\_. Maximum likelihood estimation of econometric frontier functions. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 13, n. 1, p. 27-56, 1980.
- \_\_\_\_\_. Simulated likelihood estimation of the normal-gamma stochastic frontier function. **Journal of Productivity Analysis**, Switzerland, v. 19, n. 2/3, p. 179-190, 2003.
- JONDROW, J.; LOVELL, C. A. K.; MATEROV, I. S.; SCHMIDT, P. On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 19, p. 233-238, 1982.
- KUMBHAKAR, S. C. Modelling technical and allocative inefficiency in a translog production function. **Economics Letters**, Spain, v. 31, n. 2, p. 119-123, dez. 1989.
- LIN, B.; AHMAD, I. Energy substitution effect on transport sector of Pakistan based on trans-log production function. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Netherlands, v. 56, p. 1.182-1.193, abr. 2016.
- LIN, B.; TIAN, P. The energy rebound effect in China's light industry: a translog cost function approach. **Journal of Cleaner Production**, Netherlands, v. 112, p. 2.793-2.801, jan. 2016.
- MEEUSEN, W.; BROECK, J. V. D. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. **International Economic Review**, Washington, v. 18, n. 2, p. 435-444, 1977.

MOREIRA, V. H.; TRONCOSO, J. L.; BRAVO-URETA, B. E. Technical efficiency for a sample of Chilean wine grape producers: A stochastic production frontier analysis. **Ciencia e investigación agraria**, Santiago, v. 38, n. 3, p. 321-329, 2011.

ORTEGA, A. C.; SOBEL, T. F. Desenvolvimento territorial e perímetros irrigados: avaliação das políticas governamentais implantadas nos perímetros irrigados Bebedouro e Nilo Coelho em Petrolina (PE). **Planejamento e Políticas Públicas**, Brasília, n. 35, p. 88-118, 2010.

PAM – PESQUISA AGRÍCOLA MUNICIPAL. **Home page**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?t=3&z=t&o=26&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1>>. Acesso em: 01 out. 2016.

RESENDE FILHO, M. A.; ARAÚJO, F. A.; SILVA, A. S.; BARROS, E. S. Precificação da água e eficiência técnica em perímetros irrigados: uma aplicação da função insumo distância. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 41, n. 1, p. 143-172, 2011.

REETZ, E. R. et al. **Anuário Brasileiro da Fruticultura 2014**. Santa Cruz do Sul: Gazeta, 2015. SAMPAIO, Y. S. B.; BARROS, E. S.; LIMA, J. R. F. Eficiência na produção e na venda de mangas no polo Petrolina-Juazeiro: o que os índices de eficiência representam? In: ENCONTRO PERNAMBUCANO DE ECONOMIA, 3., Recife. **Anais...** Recife, 2014.

SILVA, F. P.; ARAÚJO, J. A.; COSTA, E. M.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Eficiência produtiva e pobreza rural no nordeste brasileiro**. Texto para discussão, nº 2.250. Brasília: Ipea, 2016, p. 7-46. SILVA, J. L. M.; SAMPAIO, Y. S. B. A Eficiência técnica dos colonos nos perímetros irrigados em Petrolina e Juazeiro: uma análise de modelos de fronteira de produção. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 33, n. 2, p. 159-179, 2002.

SILVA, J. S. **Análise da eficiência econômica dos produtores de manga do Vale do São Francisco**. 2014. 87f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Pernambuco, Campus do Agreste, PPGECON, Caruaru, 2014.

SOBEL, T.; XAVIER, L. F.; SANTANA, P. J.; COSTA, E. F. Fruticultura e economia dos custos de transação: determinantes das estruturas de governança dos pequenos produtores do polo Petrolina-Juazeiro. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 736-759, 2011.

SOUSA, E. P.; JUSTO, W. R.; CAMPOS, A. C. Eficiência técnica da fruticultura irrigada no Ceará. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 851-866, 2013.

STEVENSON, R. E. Likelihood functions for generalized stochastic frontier estimation. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 13, n. 1, p. 57-66, mai. 1980.

SUN, K.; KUMBHAKAR, S. C.; TVETERÅS, R. Productivity and efficiency estimation: a semiparametric stochastic cost frontier approach. **European Journal of Operational Research**, London, v. 245, n. 1, p. 194-202, ago. 2015.

TAYLOR, T. G.; SHONKWILER, J. C. Alternative stochastic specifications of the frontier production function in the analysis of agricultural credit programs and technical efficiency. **Journal of Development Economics**, Spain, v. 21, n. 1, p. 149-160, abr. 1986.

TIMMER, A. C. P. Using a probabilistic frontier production function to measure technical efficiency. **Journal of Political Economy**, London, v. 79, n. 4, p. 776-794, 1971.

TRUJILLO, J. C.; IGLESIAS, W. J. Measurement of the technical efficiency of small pineapple farmers in Santander, Colombia: a stochastic frontier approach. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 51, n. Supl.1, p. s49-s62, 2013.

WANG, H.-J.; HO, C.-W. Estimating fixed-effect panel stochastic frontier models by model transformation. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 157, n. 2, p. 286-296, ago. 2010.

WIBOONPONGSE, A.; LIU, J.; SRIBOONCHITTA, S.; DENOEU, T. Modeling dependence between error components of the stochastic frontier model using copula: Application to intercrop coffee production in Northern Thailand. **International Journal of Approximate Reasoning**, Spain, v. 65, p. 34-44, 2015.