

Technical efficiency of fish farming by the DEA method in the Northwest region of São Paulo

Reception of originals: 02/02/2018
Release for publication: 06/28/2018

Omar Jorge Sabbag

Pós-Doutor em Zootecnia pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-FEIS/UNESP
Instituição: Universidade Estadual Paulista – UNESP (Área: Economia e Gestão do Agronegócio)
Endereço: Av. Brasil Centro, 56 - CEP: 15.385-000 - Ilha Solteira – SP
E-mail: sabbag@agr.feis.unesp.br

Sílvia Maria Almeida Lima Costa

Doutora em Economia Aplicada pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz –ESALQ
Instituição: Universidade Estadual Paulista – UNESP
Endereço: Av. Brasil Centro, 56 - CEP: 15.385-000 - Ilha Solteira – SP
E-mail: smalcost@agr.feis.unesp.br

Renata Melon Barroso

Pós-Doutora em Aquicultura - Washington State University
Instituição: EMBRAPA Pesca e Aquicultura
Endereço: Prolongamento da Avenida NS 10, cruzamento com a Avenida LO 18, sentido Norte – CEP 77008-900 - Palmas, TO
E-mail: renata.barroso@embrapa.br

Abstract

Fish farming contributes positively to food production in the country and, with the expansion of crops, management in fish farms is essential. The objective was to analyze the technical efficiency of fish farmers in the Northwest region of São Paulo, as well as to investigate variables that affect their efficiency. Methodologically, to measure the efficiency scores, the non-parametric Data Envelopment Analysis (DEA) technique was used. In order to find the explanatory variables of efficiency, the econometric model Tobit was used. The results showed an average efficiency of 80% among the producers. As for the inefficient properties, 64% obtained increasing returns, being able to expand the production obtained. Characteristics such as collective organization, technical assistance and technology adopted tend to increase efficiency; the indebtedness is pointed as a factor that influences in a negative way the scores. It is concluded that the inefficiency pointed out in the fish farming of the region can be high with improvement in the management and technical and managerial training to the fish farmers.

Keywords: DEA analysis. Tobit model. Tilapia.

1. Introdução

No Brasil, a produção de peixes provenientes da aquicultura foi de 507 mil toneladas em 2016, sendo a tilápia a principal espécie produzida, representando 47,1% do total da

piscicultura (IBGE, 2016). Isto torna a aquicultura uma posição de destaque para o mercado consumidor, bem como produtor de produtos de exportação por excelência, com vistas ao aproveitamento das potencialidades naturais de cada região.

Estudos para cultivo de pescados em tanques-rede com espécies nativas de valor comercial estão sendo conduzidos para gerar pacotes tecnológicos economicamente viáveis. No entanto, a tilápia tem sido responsável por 87,3% de todas as solicitações de cessão de uso de águas da União (MPA, 2015).

Em pesquisa de campo realizada pela Embrapa Pesca e Aquicultura, constatou-se que a tilapicultura é responsável por inúmeros empregos diretos, com iniciativas bem sucedidas de associações de pequenos piscicultores, gerando renda, diminuição da pobreza, segurança alimentar e qualidade de vida para a região (PEDROZA et al., 2014).

Na região noroeste paulista, com especificidade ao reservatório da Ilha Solteira, os cultivos são realizados nos braços do reservatório, que engloba uma região de tríplice fronteira entre os Estados de São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, sendo que a cadeia da tilápia está razoavelmente bem estruturada na região.

Desta forma, no ambiente produtivo, ressalta-se que ainda existe uma limitação quanto ao conceito amplo de gestão, restringindo-se ao controle de custos e ganhos de uma atividade piscícola. Assim deve se considerar que as medições de desempenho propiciam condições de melhoria para a tilapicultura, no tocante às mudanças sociais relativas aos sistemas produtivos e aos mercados, principalmente no que concerne a natureza mutável da competição e a criação de valor para o cliente (MACEDO, 2004).

Destaca-se que a baixa produtividade pode ser decorrente de combinações inadequadas no uso de fatores produtivos, o que causaria elevação de custos e, conseqüentemente, redução da competitividade em relação a outras atividades, ou quanto à capacidade de competir com produtos oriundos de outras regiões ou países (BRUNETTA, 2004).

Acredita-se que os produtores que não dispuserem de investimentos, mão de obra e capacidade de gerenciamento no ciclo produtivo, fatores essenciais para crescerem e serem competitivos, serão excluídos da atividade. Diante do exposto, este trabalho propõe uma análise da eficiência do polo produtor de tilápia na região Noroeste Paulista, por meio de indicadores e estratégias que poderão impulsionar a atividade.

Segundo Macedo (2007), não existe nenhum método ou modelo de avaliação de desempenho organizacional que seja único para toda e qualquer variável do mundo

empresarial. Contudo, os métodos que consideram aspectos diversificados tendem a assumir uma importância especial, já que o desempenho acaba por ser afetado por variáveis de diferentes naturezas. Este tipo de metodologia multicriterial é normalmente entendido como crucial num processo de avaliação. Porém, com esta multiplicidade de fatores de decisão, faz-se necessário o uso de métodos e técnicas que possam proporcionar aos gestores uma melhor percepção de desempenho organizacional.

O conceito de eficiência descreve o desempenho de uma unidade de produção. De maneira geral, avaliações de produtividade e eficiência são muito focadas apenas na produtividade como indicador, e, segundo Gomes (2003) podem ser equivocados, por não considerarem outros recursos para a medida de eficiência, como mão de obra e insumos, variáveis relevantes para um ambiente produtivo.

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo efetuar uma análise da eficiência da piscicultura da região Noroeste Paulista. Especificamente, pretendeu-se mensurar a eficiência técnica e de escala, por meio da técnica DEA (*Data Envelopment Analysis* ou Análise Envoltória de Dados) e encontrar os principais fatores determinantes da eficiência, por meio do modelo Tobit.

2. Referencial Teórico

2.1. Eficiência e produção piscícola

O estudo da análise de desempenho de unidades agropecuária vem se tornando cada vez mais comum, principalmente com a utilização de métodos com base em análise não paramétrica. Para mensurar a eficiência aplicada à tilapicultura, aplica-se a técnica de Análise Envoltória de Dados, baseada em um modelo de programação fracionária (razão da soma ponderada dos produtos, pela soma ponderada dos insumos), sendo capaz de avaliar o grau de eficiência relativa de unidades produtivas que realizam uma mesma atividade, quanto à utilização dos seus recursos, permitindo analisar a eficiência de unidades produtivas (DMU's – *decision making units*) com múltiplos insumos (*inputs*) e múltiplos produtos (*outputs*), por meio da construção de uma fronteira de eficiência.

Especificamente na aquicultura, existem vários trabalhos que avaliam a eficiência em sistemas produtivos, considerando a tecnologia de produção e diferentes espécies cultivadas. Asche e Roll (2013) avaliaram a eficiência técnica de salmão na Noruega, apontando um

média de 82% entre as unidades avaliadas. Trabalho semelhante de Alam et. al. (2012) em Bangladesh com tilápia apontaram uma eficiência global de 78%.

Sharma et al. (1999) *apud* Macedo (2007), aplica DEA em múltiplos *outputs* e *inputs*, para analisar a eficiência de criadores de peixe na China. Neste caso, discutiu-se a melhor composição do *mix* de criação, já que as unidades criam uma variedade de espécies de peixe selecionadas.

Com relação à produção de tilápias, Sabbag e Costa (2015) analisaram o desempenho de sistemas de produção na região de Ilha Solteira/SP, com inferências sobre o grau de eficiência produtiva e observaram os desperdícios de insumos de produção, fator que explica, em maior proporcionalidade, a ineficiência das unidades analisadas, frente à contribuição de cada insumo nos sistemas de produção em tanques redes.

Madalozzo (2003) afirma que produtores que tiverem a visão da importância da gestão aplicada aos recursos produtivos obterão maiores possibilidades de obter, além de produtividade mais alta, uma maior rentabilidade. Desta forma, os produtores devem combinar os principais fatores de produção, como terra, capital e mão de obra. Aqueles produtores que combinarem melhor estes recursos podem se tornar tecnicamente eficientes, condição primária para ser eficiente economicamente (FERREIRA; GOMES, 2004).

O conceito de eficiência ainda se traduz em produzir mais com menos. É de interesse do produtor obter o maior rendimento dos recursos que utiliza. Ainda que seja o mais eficiente, cabe buscar quais melhorias ainda podem ser realizadas ou saber como pode se superar. Esse é um ponto crucial na busca pela melhoria contínua.

Gomes, Mello e Biondi Neto (2003) inferem que a avaliação da eficiência em unidades produtivas é importante para fins estratégicos; planejamento da unidade produtiva; e processo de tomada de decisão. Essa eficiência técnica é medida através da comparação entre os valores observados e os valores ótimos de seus *inputs* e *outputs*, ou seja, dos insumos utilizados na produção e dos produtos obtidos no processo produtivo.

Segundo Shafiq e Rehman (2000), a técnica DEA é capaz de identificar unidades eficientes e ineficientes; entretanto, para interpretar o nível de eficiência e projetar ações futuras para melhoria de seu desempenho é necessário conhecer o processo produtivo, sendo ainda relevante possuir uma amostra que seja a mais homogênea possível.

Na caracterização da medida de eficiência; a decisão é orientada por um único indicador, construído a partir de abordagens de desempenho diferentes (análise multicriterial), facilitando o processo decisório. Ao invés de considerar vários índices para concluir a respeito

do desempenho da empresa ou da unidade sob análise do gestor, o referencial adotado se utiliza apenas da medida de eficiência do DEA, por meio de um método não paramétrico.

A análise DEA foi proposta inicialmente por Charnes et al. (1978), para avaliação de unidades homogêneas que possuam autonomia no processo de tomada de decisão. A abordagem por DEA utiliza programação linear matemática para estimar a fronteira eficiente, sendo capaz de incorporar diversos *inputs* (fatores de produção, como capital, trabalho) e *outputs* (saídas, como produção obtida) para o cálculo da eficiência destas DMU's (GOMES; MANGABEIRA, 2004).

3. Material e Métodos

A pesquisa foi do tipo intencional, sendo direcionada para um conjunto de unidades piscícolas que exploram a atividade no reservatório de Ilha Solteira/SP, durante o 2º semestre de 2016. Neste sentido, foram aplicados formulários com questões adaptadas ao objeto de investigação (MARCONI; LAKATOS, 2003). Utilizou-se um método quantitativo de pesquisa descritiva e exploratória, através de observações, registros e análise de dados em situações que demandam conhecimentos específicos em questão.

Para que a amostra seja satisfatória por meio da técnica DEA, Ali e Seiford (1993) inferem que o número de unidades seja, pelos menos, duas vezes o número de insumos (*inputs* - X) e produtos (*outputs* - Y), ou seja, $2(X+Y)$. Na presente pesquisa, por trabalhar especificamente com cinco variáveis *input-output* correspondentes aos principais fatores de produção, a amostragem mostrou-se suficiente com abordagem de 11 unidades piscícolas.

Para a análise de eficiência, foram aplicados os modelos CCR e BCC, com o auxílio do *software* DEAP 2.1 (*Data Envelopment Analysis Program*), apresentado por Coelli (1996). O modelo CCR (Retorno Constante à Escala) avalia a eficiência total das unidades piscícolas, identificando as DMU's eficientes e ineficientes, assumindo a proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*. Já o modelo BCC considera retornos variáveis de escala, substituindo o axioma da proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* pelo axioma da convexidade. Assim, o modelo BCC permite que DMU's que operam com baixos valores de *inputs* tenham retornos crescentes de escala e as que operam com altos valores tenham retornos decrescentes de escala (MELO et al., 2005).

Por meio do uso da programação linear matemática, para cada DMU obtém-se a proporção de todos os produtos em relação a todos os insumos, tal como, $u'yi / v'xi$, onde u é

um vetor $M \times 1$ de pesos de produtos (y_i) e v é um vetor $K \times 1$ de pesos dos insumos (x_i). Para estimar os pesos ótimos especifica-se o problema de programação linear como:

$$\text{Max } (u'y_i / v'x_i), \text{ sujeito a} \\ u'y_j / v'x_j \leq 1, j=1,2,\dots,N, \text{ em que } u, v \geq 0 \text{ e } v'x_i > 0$$

Isto envolve obter valores para u e v , tais que, a medida de eficiência da i -ésima DMU seja maximizada, sujeita à restrição de que todas as medidas de eficiência sejam menores ou iguais a 1. Um problema com este tipo particular de proporção é que ele tem um número infinito de soluções. Para evitar isto, pode-se impor a restrição $v'x_i=1$, que recorre a:

$$\text{Max } u,v (\mu'y), \text{ sujeito a } v'x_i = 1, \\ \mu'y_j - v'x_j \leq 0, j=1,2,\dots,N, \text{ em que } u, v \geq 0$$

A mudança de notação de u e v para μ e v reflete a transformação, conhecida como a forma do multiplicador do problema de programação linear. Desta forma, pode-se chegar a um modelo dual da formulação linearizada (forma envelope) para o modelo CCR:

$$\min_{\theta, \lambda} \theta \text{ sujeito a:} \\ -y_i + Y\lambda \geq 0; \\ \theta x_i - X\lambda \geq 0; \text{ e } \lambda \geq 0.$$

A variável θ é um escalar (score de eficiência da orientação insumo), cujo valor é a medida de eficiência da i -ésima DMU. Se for igual a um, a DMU será eficiente; caso contrário, ineficiente. O λ é um vetor ($n \times 1$), cujos valores são calculados de maneira que se obtenha a solução ótima. Para uma unidade piscícola eficiente, os valores são iguais a zero; para um ineficiente, indica os pesos dos produtores que são *benchmarks* (GOMES, 1999).

Adicionalmente, o modelo chamado de BCC, representado abaixo, no qual se inclui uma restrição no modelo CCR. É importante apresentar o modelo BCC junto com o modelo CCR para que se determine a eficiência de escala.

$$\min_{\theta, \lambda} \theta \text{ sujeito a:} \\ -y_i + Y\lambda \geq 0; \\ \theta x_i - X\lambda \geq 0; \\ N'_1 \lambda = 1; \text{ e } \lambda \geq 0.$$

Neste caso, N1 é um vetor (n x 1) de números uns, sendo as demais variáveis já definidas anteriormente. Para utilizar ambos os modelos, foram necessários estabelecer duas matrizes de dados, uma contendo os insumos utilizados pelos piscicultores (matriz X) e outra relacionada com produto (matriz Y). Assim, utilizaram-se cinco variáveis, correspondentes aos insumos (k=4), e uma relacionada com produtos (m=1), sendo os Inputs: tamanho das propriedades (lâmina d'água), em ha (Fator de produção Terra); número de pessoas envolvidas na atividade/unidade (Fator de Produção Mão de obra); custo de produção (R\$/Kg); salários pagos na atividade (R\$) – (Fator de Produção Capital); e Output a quantidade produzida (t/ciclo).

Foi ainda utilizada a orientação *input*, de forma a reduzir no processo de gestão da atividade os gastos com insumos correspondentes aos principais fatores de produção da atividade, mantendo constante o produto. A orientação previamente selecionada prioriza verificar se a produção obtida justifica a quantidade de recursos alocados.

Após a organização dos dados, a eficiência técnica foi decomposta em uma medida de pura eficiência e uma medida de eficiência de escala, pressupondo-se retornos variáveis, quando, então serão identificadas as faixas de retornos de escala em que os produtores estarão operando.

Tal abordagem resulta na equação $EE = ETRC/ETRV$ em que EE é a medida de eficiência de escala; ETRC é a medida de eficiência técnica no modelo com retornos constantes, e ETRV é a medida de eficiência técnica no modelo com retornos variáveis. As ineficiências de escala ocorrerão quando os produtores operam nas faixas de retornos crescentes ou decrescentes, ou seja, fora da escala de produção correta (RODRIGUES et al., 2010).

Finalmente, para a identificação de quais variáveis discriminam a variação da eficiência, foi utilizado o modelo econométrico Tobit, também utilizado por Conceição e Araújo (2000), o qual se aplica à obtenção da probabilidade de que uma observação pertença a um conjunto determinado, em função do comportamento das variáveis independentes. Segundo Greene (2012), o modelo Tobit padrão pode ser definido por:

$$\begin{aligned} y_i^* &= \beta' x_i + \varepsilon_i \\ y_i &= y_i^* \text{ se } y_i^* > 0, \\ y_i &= 0 \text{ caso contrário} \end{aligned}$$

em que é normalmente distribuído, com média zero e variância constante de σ^2 , isto é, $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$; y_i^* é a variável-índice ou variável latente; y_i é escore DEA; x_i é o vetor das variáveis explicativas; β é o vetor dos parâmetros a serem estimados; e ε_i o termo de erro.

Assim, para Santos et al. (2009), tendo escore da DMU de eficiência igual a 1 transformado para zero, os escores menores que 1 tornam-se valores positivos. Portando, a equação estimada revela quais as variáveis que reduzem a ineficiência. Fethi et al. (2000) indica usar a truncagem em zero; assim, o escore de eficiência da DEA é transformado e o valor truncado é concentrado em zero, expresso por $y_i = (1/\theta) - 1$.

De acordo com Greene (2012), a estimativa de parâmetros do modelo *Tobit* é geralmente feito por máxima verossimilhança, que fornece estimadores consistentes e assintoticamente eficientes para os parâmetros e variância, sendo o modelo *Tobit* estimado por:

$$\ln L = \sum_{y_i > 0} -\frac{1}{2} \left[\log(2\pi) + \ln \sigma^2 + \frac{(y_i - x'_i \beta)^2}{\sigma^2} \right] + \sum_{y_i = 0} \ln \left[1 - \Phi \left(\frac{x'_i \beta}{\sigma} \right) \right]$$

Com $\gamma = \frac{\beta}{\sigma}$ e $\theta = \frac{1}{\sigma}$ tem-se a seguinte função de log-verossimilhança:

$$\ln L = \sum_{y_i > 0} -\frac{1}{2} \left[\ln(2\pi) - \ln \theta^2 + (\theta y_i - x'_i \gamma)^2 \right] + \sum_{y_i = 0} \ln \left[1 - \Phi(x'_i \gamma) \right]$$

Na determinação dos condicionantes da eficiência da tilapicultura para o reservatório de Ilha Solteira, foi empregada como variável dependente (Y) os escores de eficiência obtida por meio da análise envoltória de dados, contidos no modelo CCR. Já as variáveis explicativas (X) foram determinadas com base no levantamento de dados da pesquisa, estando representadas por: assistência técnica; produtividade (produção/área); participação em treinamentos; nível de endividamento da atividade; tempo de atividade (anos de experiência) e participação em associação. Foi empregado o *software* Gretl, proposto por Cottrell e Lucchetti (2013), para determinação dos fatores explanatórios da eficiência, por meio do modelo de regressão Tobit.

4. Resultados e Discussão

As estatísticas descritivas das variáveis de análise de eficiência das propriedades piscícolas são apresentadas na Tabela 1. Os resultados mostram que para tamanho de área

houve uma média de 6,59 ha, variando entre um mínimo de 2 e um máximo de 14,5 ha, bem como uma amplitude de 17 colaboradores entre as unidades, inferindo que maiores áreas aliadas a um maior número de pessoas se associam a maiores produtividades, com amplitude de produção de 110 toneladas entre as unidades piscícolas.

Tabela 1: Estatística descritiva das variáveis de estudo da piscicultura, Noroeste Paulista, 2016.

Variáveis	Unidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Tamanho (I1)	ha	6,59	4,31	2	14,5
Nº pessoas (I2)	Nº	8,6	5,6	3	20
Custo (I3)	R\$/Kg	4,13	0,27	3,50	4,40
Salário (I4)	R\$/mês	1.472,73	219,50	1.200,00	1.800,00
Produtividade (O1)	t/ciclo	57	38	20	130

Fonte: dados da pesquisa.

Observa-se na Tabela 2 que, em média, os escores de eficiência técnica do modelo CCR demonstram que os piscicultores podem reduzir em 19,6% do uso de seus recursos aplicados sem comprometer a produtividade de tilápias. Isso indica que os insumos estão sendo alocados de forma ineficiente. Este modelo permite uma avaliação objetiva da eficiência global e identifica as fontes e estimativas das ineficiências identificadas (KASSAI, 2002).

Já para o modelo com retornos variáveis de escala, para que os piscicultores ineficientes possam fazer parte da fronteira, é necessário que se reduza em apenas 1,5% a utilização de tais recursos. No tocante à eficiência média de escala, nota-se que há a possibilidade desses produtores aumentarem suas escalas de produção em 18,3%.

De acordo com Soares Mello et al. (2005), a produtividade é obtida pela razão entre o que foi produzido e o que foi gasto para produzir. De acordo com Gomes (2003), indicadores como mão de obra e área de cultivo, sendo trabalhados de maneira otimizada, apresentam redução de custos no ciclo produtivo.

Tabela 2: Principais parâmetros estatísticos dos escores de eficiência técnica com retornos constantes, variáveis de escala e de eficiência de escala da piscicultura, Noroeste Paulista, 2016.

Estatísticas descritivas	Eficiência técnica		Eficiência de escala
	CCR	BCC	
Mínimo	0,409	0,903	0,409
Máximo	1,000	1,000	1,000
Média	0,804	0,985	0,817
Desvio Padrão	0,190	0,034	0,190
Coefficiente de Variação (%)	23,76	3,50	23,31

Fonte: dados da pesquisa.

Na Tabela 3 são apresentadas as participações absolutas e relativas dos piscicultores nas medidas de eficiência técnica para os modelos CCR e BCC, assim como a eficiência de escala. Como se pode observar, quando se adota o modelo com retornos constantes à escala, 45% dos piscicultores apresentaram escores de eficiência na faixa entre 0.40 e 0.79. Por outro lado, quatro unidades piscícolas demonstraram ter nível máximo de eficiência, responsável por 36% da amostra, demonstrando empregar de maneira totalmente racional os insumos do processo produtivo, servindo como referência para os outros piscicultores no modelo CCR.

Em relação ao modelo com retornos variáveis à escala, por caracterizar maior flexibilidade em função da convexidade da fronteira de eficiência, 81% obtiveram nível de eficiência ótimo; entretanto, há indícios de que este percentual não se enquadra na faixa de retornos constantes, inferindo que o problema não está associado à utilização excessiva de insumos, mas sim à escala inadequada de produção. Portanto, parcela majoritária dos piscicultores (63%) apresentaram escores de eficiência de escala inferiores à unidade, sendo que aproximadamente 37% obtiveram escore máximo de eficiência de escala, não apresentando problemas quanto à escala produtiva.

Como a maioria dos piscicultores apresenta ineficiência de escala, torna-se relevante identificar se essa ineficiência pode ser resultante da presença de retornos crescentes ou decrescentes à escala. Assim, após a compilação dos dados em *software*, indicou que há uma predominância de retornos crescentes de escala para as unidades piscícolas ineficientes, evidenciando que dado o conjunto de insumos utilizados no ciclo, podem expandir a produção obtida, limitada em 20 t/ciclo, para uma média de 57 toneladas no ciclo produtivo.

Tabela 3: Distribuição absoluta e relativa correspondente às medidas técnica e de escala da piscicultura, Noroeste Paulista, 2016.

Medidas de eficiência	Eficiência Técnica				Eficiência de escala	
	CCR		BCC		fi	%
	fi	%	fi	%		
$0.40 \leq e < 0.69$	3	27,28	-	-	3	27,28
$0.70 \leq e < 0.79$	2	18,18	-	-	2	18,18
$0.80 \leq e < 1$	2	18,18	2	18,18	2	18,18
$e = 1$	4	36,36	9	81,82	4	36,36
Total	11	100	11	100	11	100

Fonte: dados da pesquisa.

Neste contexto, algumas estratégias devem ser aplicadas às unidades ineficientes, dentre as quais: manejo e qualidade da ração (considerando fatores como frequência de arraçoamento e conversão alimentar), capacitação de mão de obra nas etapas de cultivo de

engorda de tilápias, bem como melhor aproveitamento da infraestrutura condizente ao tamanho da área de cultivo.

Os hábitos alimentares e as dietas dos peixes possuem influência direta em seu comportamento, saúde, funções fisiológicas, reprodução e crescimento, Neste sentido, Cyrino et al. (2005) ressaltam que a otimização do crescimento dos peixes só pode ser alcançada através do manejo concomitante da qualidade de água, nutrição e alimentação.

Por outro lado, 36% dos piscicultores apresentaram escore de eficiência igual à unidade no modelo com retornos constantes de escala, ou seja, empregaram de maneira racional os insumos e a escala de produção adequada, servindo assim, como unidades referenciais para as demais em análise.

Com o propósito de testar estatisticamente os efeitos de algumas variáveis que podem influenciar a eficiência dos piscicultores da região Noroeste Paulista, a Tabela 4 apresenta a estimação do modelo Tobit. De acordo com Ferreira (2005), este modelo é utilizado nos casos em que a variável dependente (eficiência obtida pelo modelo CCR) está compreendida entre certos valores ou concentrada em pontos iguais a um valor-limite.

Inicialmente, tem-se que duas variáveis consideradas no modelo não se mostraram estatisticamente significantes, dentre elas a experiência na atividade, que em média foi de 9 anos; e a capacitação, de forma contínua e/ou compartilhada entre os produtores eficientes e ineficientes, não sendo, portanto, fatores relevantes para explicar a eficiência dos piscicultores.

Por outro lado, a variável organização coletiva foi significativa a 10%, inferindo que a quantidade de produtores que participam de associações e/ou cooperativas tendem a melhorar a eficiência em seus sistemas produtivos. Na referida pesquisa, 91% das unidades participam destas organizações para fins políticos, especificamente com objetivos de obter avanços na legislação ambiental (representatividade no setor). Hein e Ziliotto (2017) reforçam que a criação de associações reflete o espírito de luta e união que permeia em todos que buscam cada vez mais alcançar melhores resultados, além de auxiliar nas decisões de aplicarem o conhecimento em suas propriedades.

A variável endividamento, também apontada com 10% de significância, influencia negativamente a eficiência, ou seja, pode estar relacionado ao fato de que alguns piscicultores buscam obtenção de crédito e financiamento para investimento ou custeio de sua produção e que o fator capital pode estar empregado de maneira errônea, acarretando em possível inadimplência, ou ainda limitados à crédito, por questões burocráticas de formalização junto

ao órgão bancário. Destaca-se que as unidades que foram 100% eficientes não possuíam nenhuma forma de endividamento da atividade.

Ainda assim, níveis de produtividade são cada vez mais crescentes, sendo necessário gerar demanda para escoar a produção e dar continuidade ao consumo. Rodrigues (2004) destaca que não somente a ausência de planejamento, mas a relação de sentimento e consumo cria necessidades supérfluas de alimentar o endividamento daqueles que precisam recorrer ao crédito, que normalmente, é acompanhado de altas taxas de juros.

Com relação à variável assistência técnica, esta reflete de forma positiva a eficiência do sistema de produção, destacando que na presente pesquisa, para todas as unidades obtidas como eficientes recebem alguma forma de acompanhamento na atividade produtiva, seja por meio de órgãos estaduais de assistência ao produtor ou até pelos fornecedores de ração.

Finalmente, a tecnologia é uma variável imprescindível para melhorar o nível de eficiência, ressaltando que todas as unidades abordadas possuem entre quatro e seis tecnologias disponíveis no cultivo, dentre as quais biometria, análise de água, uso de vacinas, dentre outros. Por exemplo, a automação no sistema de cultivo (como os comedouros) torna-se um importante recurso para dispensar diversos processos manuais que demandam muito tempo e implicam na oneração dos custos para o piscicultor (BAYER; ECKHARDT; MACHADO, 2011).

Tabela 4: Resultados do modelo Tobit aplicados às variáveis explicativas de eficiência das unidades piscícolas, Noroeste Paulista, 2016.

Variáveis	Coefficiente	Erro Padrão	z
Experiência	-0.00921347 ^{ns}	0.0122029	-0.7550
Capacitação	0.0587206 ^{ns}	0.0872776	0.6728
Organização Coletiva	0.171462 ^{***}	0.0554789	3.0906
Endividamento	-0.282074 ^{***}	0.0583146	-4.8371
Assistência Técnica	0.205188 ^{***}	0.0622284	3.2973
Tecnologia	0.126692 ^{***}	0.0400002	3.1673
Constante	0.0588581	0.1620560	0.3632

Nota: ns – não significativa; *** - significância a 10%

Fonte: dados da pesquisa.

5. Conclusões

O estudo de eficiência mostra que grande parte das propriedades piscícolas opera com ineficiência de escala, devido, sobretudo, à presença de retornos crescentes à escala, pressupondo otimizar a produção em função dos fatores de produção utilizados, relacionados à melhor gestão da atividade.

Neste sentido, os piscicultores possuem uma eficiência média de 0,80 para retornos constantes e de 0,98 para retornos variáveis, com uma eficiência de escala média de 0,81.

No que tange às variáveis explicativas que podem afetar a eficiência dos piscicultores da região Noroeste Paulista de maneira significativa, constatou-se que as variáveis que influenciaram positivamente foram: organização coletiva, assistência técnica e tecnologia adotada, sendo apenas a variável endividamento obtida como influência negativa.

6. Referências

- ALAM, M.F; KHAN, M.A; HUQ, A.A. Technical efficiency in tilapia farming of Bangladesh: a stochastic frontier production approach. *Aquaculture International*, 20(4), 2012. p. 619-634.
- ALI, A. I., SEIFORD, L. M. The Mathematical Programming Approach to Efficiency Analysis. In: FRIED, H. O., LOVELL, C. A. K., SCHIMIDT, S. S. (Orgs.). *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Application*. New York: Oxford University Press, 1993. cap. 3, p. 120-159.
- ASCHE, F; ROLL, K.H. Determinants of inefficiency in Norwegian salmon aquaculture. *Aquaculture Economics & Management*, 17(3), 2013. p. 300-321.
- BAYER, F. M.; ECKHARDT, M.; MACHADO, R. *Automação de Sistemas*. 4. ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2011. 100 p.
- BRUNETTA, M. R. *Avaliação da eficiência técnica e de produtividade usando análise por envoltória de dados: um estudo de caso aplicado a produtores de leite*. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 101p, 2004.
- CHARNES, A., COOPER, W.W; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, v.2, 1978, p.429-444.
- COELLI, T. J. *A guide to DEAP version 2.1: a data envelopment analysis program*. Armidale, Australia: University of New England. 1996, 49 p. (CEPA Working Papers, 08/96).
- CONCEIÇÃO, J.C.P.R.; ARAÚJO, P.F.C. Fronteira de produção estocástica e eficiência técnica na agricultura. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 38, n. 1, 2000, p. 45-64.
Custos e @gronegocio on line - v. 14, n. 3, Jul/Sep. - 2018. ISSN 1808-2882
www.custoseagronegocioonline.com.br

COTTRELL, A; LUCHETTI, R. *Gretl User's Guide*. 2013. Disponível em: <<http://ricardo.ecn.wfu.edu/pub//gretl/manual/en/gretl-guide.pdf>>. Acesso em: 06 Jan 2016.

CYRINO, J. E. P.; BICUDO, A. J. A.; SADO, R. Y.; BORGHESI, R.; DAIRIK, J. K. A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 2010. p. 68-87.

FERREIRA, M. *Eficiência técnica e de escala de cooperativas e sociedade de capital na indústria de laticínios do Brasil*. Viçosa, MG: UFV, IMPRENSA Universitária, 2005, 177p.

FERREIRA, A. H.; GOMES, A. P. Eficiência técnica no curto e no longo prazo em sistemas de produção de leite com gado holandês, mestiço e zebu. In: *Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural*. Vol. 42. Brasília: SOBER, 2004.

FETHI, M. D.; JACKSON, P. M.; WEYMAN-JONES, T. G. Measuring the Efficiency of European Airlines: An Application of DEA and *Tobit* Analysis. In: *Annual Meeting of the European Public Choice Society*, Siena, Italy, 2000. 32 p.

GOMES, A. P. *Impactos das transformações da produção de leite no número de produtores e requerimentos de mão de obra e capital*. 1999. 161 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

GOMES, E. G. E MANGABEIRA, J. A. C. Uso de Análise Envoltória de Dados em Agricultura: o caso de Holambra. *Engevista*. v. 6, n. 1, 2004, p. 19-27.

GOMES, E. G.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; BIONDI NETO, L. *Avaliação de Eficiência por Análise de Envoltória de Dados: conceitos, aplicações à agricultura e integração com sistemas de informação geográfica*. - Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003. 39 p.

GREENE, W.H. *Econometric analysis*. 5. ed. Londres: Prentice-Hall, 2012.

HEIN, G; ZILIOOTTO, C.A. A tilapicultura no município de Maripá – PR: um exemplo de bons resultados, organização e profissionalismo na piscicultura. *Panorama da Aquicultura*, v. 27, n. 160, 2017, p. 32-35, 2017.

IBGE. *Pecuária Municipal 2016*. Série estatísticas econômicas. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/16992-pecuaria-municipal-2016-centro-oeste-concentra-34-4-do-rebanho-bovino-do-pais.html>>. Acesso em: 12 Dez. 2017.

KASSAI, S. *Utilização da análise por envoltória de dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis*. 2002. 318 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MACEDO, M. A. S. Indicadores de Desempenho: uma contribuição para o monitoramento estratégico através do uso de análise envoltória de dados (DEA). In: Simpósio de administração da produção, logística e operações internacionais, 7, São Paulo. *Anais do VII SIMPOI*. São Paulo: FGV-SP, 2004.

MACEDO, M. A. S, M. STEFFANELLO E C. A. OLIVEIRA. Eficiência combinada dos fatores de produção: aplicação de Análise Envoltória de Dados (DEA) à produção leiteira. *Revista Custos e Agronegócios on line*. v. 3, n. 2, 2007, p.59-86.

MADALOZZO, I. A. *A utilização de recursos e capacidades na gestão de propriedades rurais em diferentes faixas de lucratividade: uma abordagem sistêmica*. 2003. 163 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. *Plano de desenvolvimento da aquicultura 2015-2020*. Disponível em <http://www.mpa.gov.br/files/docs/Outros/2015/Plano_de_Desenvolvimento_da_Aquicultura-2015-2020.pdf>. Acesso em: 11 Jan 2017.

MELLO, J. C. C. B. S.; MEZA, L.A; GOMES, E.G; NETO, L.B. *Curso de análise de envoltória de dados*. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Pesquisa Operacional e o Desenvolvimento Sustentável. Gramado/RS, 2005.

PEDROZA, M.; BARROSO, R. M.; FLORES, R. M. V.; Silva, A. P. Modelos Associativos como Estratégia de Inclusão Produtiva para Pequenos Piscicultores. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, v. 6, p. 1-56, 2014.

RODRIGUES, D. D. O. *O uso de cartões de crédito por estudantes de graduação da Universidade Federal de Viçosa*. Viçosa, 2004. Monografia, Universidade Federal de Viçosa, 2004.

RODRIGUES, M.H.S; SOUZA, M.P.; GONÇALVES, R.M.L; RIVA, F.R; SOUZA, D.B. *Análise de eficiência dos produtores de leite do município de Rolim de Moura no estado de Rondônia. Campo Grande/MS*. 48º Congresso da SOBER, 2010. Disponível em <[HTTP://www.sober.org.br/palestra/15/949.pdf](http://www.sober.org.br/palestra/15/949.pdf)>. Acesso em: 22 Abril 2016.

SABBAG, O.J; COSTA, S.M.A.L. Eficiência técnica da produção de tilápias em Ilha Solteira, SP: uma análise não paramétrica. *Boletim da Indústria Animal*, v.72, n.2, 2015, p.155-162.

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

SHAFIQ, M.; REHMAN, T. The extent of resource use inefficiencies in cotton production in Pakistan's Punjab: an application of data envelopment analysis. *Agricultural Economics*. v. 22, p. 321-330, 2000.

SOARES DE MELLO, J.C.C.B; MEZA, L.A.; GOMES, E.G.; BIONI NETO, L. Curso de Análise de Envoltória de Dados. In: *Anais XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO)*. Gramado, RS, 2005.

7. Agradecimentos

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo), pelo apoio neste trabalho, através do auxílio à pesquisa vigente.