

Evaluation of productivity in tilapia farming for the years 2018 and 2019 using the Malmquist index

Reception of originals: 04/16/2021
Release for publication: 11/03/2022

Omar Jorge Sabbag

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

Renata Melon Barroso Bertolini

Pós-Doutora em Aquicultura - Washington State University
Instituição: Superintendência Federal da Agricultura/RS (Gabinete)
Endereço: Av. Loureiro da Silva, 515 – Porto Alegre/RS – CEP 90010-420
E-mail: renata.barroso@agricultura.gov.br

Abstract

Brazilian production stands out among the main tilapia producers and changes in fish systems can lead to increased productivity. Thus, this study aimed to evaluate the productivity indexes in intensive tilapiculture in net-tanks, seeking to investigate the variables that affect efficiency in the months of cultivation for the period 2018-2019, in a case study. Methodologically, the Data Envelopment Analysis technique (DEA analysis) was applied in conjunction with the Malmquist index, in order to calculate the growth of the total factor productivity (PTF) and its components. It was observed that although the productive performance was reduced by 6.7%, a 21.5% increase in technological change (tech) contributed to a 13.4% higher result for the total productivity factor (tfpch) in the period, inferring what technological change was the most important contributor to the growth of PTF. It is concluded that the improvement in productivity should, therefore, focus on managerial skills, in addition to innovation, regardless of seasonality between the months of cultivation, emphasizing that DEA analysis and the Malmquist index are important tools for targeting and decision-making process to those who produce.

Keywords: DEA Analysis. Production Evaluation. Malmquist Index.

1. Introdução

A produção brasileira de tilápia foi de 486.155 toneladas em 2020, destacando o país entre os quatro maiores produtores do mundo, atrás da China, Indonésia e Egito (PEIXE BR, 2021). Convém destacar que o Estado de São Paulo se encontra como 2º maior produtor do Brasil, atrás do Paraná, possuindo diversos reservatórios hidrelétricos com grande potencial para a prática da piscicultura em tanques-rede.

Por outro lado, o cultivo de tilápias pode ser decorrente de um reduzido nível de eficiência, podendo refletir na elevação de custos e consequente redução da competitividade

para um mercado promissor (MACEDO, 2004), considerando que a margem de lucro na tilapicultura é baixa, dependendo grandemente da eficiência produtiva e gerencial do negócio.

A eficiência de uma unidade produtiva é mensurada por meio da comparação entre os valores observados e os valores ótimos de suas saídas (*outputs*) e entradas (*inputs*). Embora existam estudos anteriores para estimação da eficiência na tilapicultura, são escassos os estudos que avaliam os efeitos das transformações ocorridas sobre a eficiência do piscicultor, enquanto gestor, relacionado à possíveis mudanças no sistema produtivo, como em pesquisa do setor aquícola, apontado por Aldatz et al. (2015).

Neste sentido, o aumento da produtividade do trabalho pode variar por diferentes razões, como a introdução de novos equipamentos na piscicultura ou ainda devido à melhor qualidade dos insumos utilizados. Por considerar um conjunto de fatores de produção, os índices de produtividade total dos fatores (TFP – *total factor productivity*) representam a realidade inerente ao desempenho dos processos produtivos.

Assim, a TFP pode ser interpretada como o aumento da quantidade de produto que não pode ser explicado pelo aumento na quantidade de insumos utilizados, mas sim pelos ganhos em produtividade; para estimação deste efeito, há um importante índice de estimação - o Índice de Malmquist (GASQUES; CONCEIÇÃO, 2000).

Segundo Almeida (2010), a finalidade do índice Malmquist é comparar períodos adjacentes usando os dados de *input* e *output* de um período base, de forma a complementar a análise envoltória de dados, segundo a qual as unidades organizacionais podem ser eficientes para alguns períodos no tempo e ineficientes para outros, tornando-se uma ótima ferramenta para medir a mudança de produtividade de quem produz.

Destaca-se ainda que a tilapicultura vem se modernizando, com a incorporação de novas tecnologias, aperfeiçoando os processos produtivos e oferecendo produtos de melhor qualidade.

Neste contexto, uma hipótese a ser levantada junto à eficiência produtiva e período de cultivo seria: sendo possível inferir que para uma dada uma quantidade de insumos, será que o piscicultor explora todas as potencialidades da produção e, mais além, promove um incremento de produtividade decorrente da variação da eficiência técnica e variação tecnológica?

Neste sentido, considerando a importância estratégica da eficiência e da produtividade, por meio das técnicas DEA e o Índice de Malmquist, o trabalho em si pretende ser de grande relevância ao contribuir para o suprimento da lacuna existente na aquicultura, sobretudo na tilapicultura em questão.

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar os índices de produtividade, por meio do índice de Malmquist, buscando-se investigar as variáveis que afetam a eficiência DEA para o período 2018-2019, em um estudo de caso, diante da relação tecnologia e produtividade.

2. Índice de Malmquist para avaliação da produtividade piscícola

As avaliações quantitativas de desempenho podem ser realizadas por indicadores sintéticos (RODRIGUEZ, 1998). A partir desse contexto, os indicadores se tornam variáveis essenciais para avaliar a eficiência dos investimentos na produção piscícola. Dentre os principais métodos - do tipo quantitativo - para avaliar técnicas de eficiência estão a análise envoltória de dados (DEA *analysis*) e o Índice Malmquist, podendo existir combinações entre as técnicas, o que torna de grande relevância para subsidiar a tomada de decisão do gestor.

A eficiência de uma unidade piscícola pode ser analisada através de diversos fatores, tanto na área zootécnica (como a quantidade de ração consumida e biomassa gerada) quanto na gestão (número de colaboradores e área de produção); aliado ao avanço da produção em determinado período de análise relacionada a novos processos e tecnologias, é que surge a motivação desta pesquisa.

Este tipo de metodologia multicriterial para avaliar eficiência 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.

Vale destacar que, no contexto de aplicação da DEA, quando se trabalha com dados referentes a mais de um período temporal, é frequente o emprego do índice de Malmquist para medir a mudança de eficiência e produtividade ao longo do tempo. Desta forma, o índice de Malmquist é uma técnica utilizada para que, de modo longitudinal (ao longo do tempo), possa avaliar a variação da produtividade, decompondo-a em mudança de eficiência técnica e mudança tecnológica (FERREIRA; GOMES, 2009).

Assim, o índice de Malmquist estima a produtividade total dos fatores de forma mais desagregada, considerando apenas os valores referentes às unidades físicas de produtos e insumos. É definido como uma abordagem não paramétrica, semelhante ao DEA (*Data Envelopment Analysis*), sendo capaz de evidenciar a causa da mudança de produtividade, sendo este processo resultado de mudanças tecnológicas ou mudança de eficiência técnica (SOUZA, 2013).

De forma geral, o Índice Malmquist apresenta como vantagem identificar o comportamento da eficiência oriunda da tecnologia e da natureza, relativas da mudança de produtividade, bem como a análise DEA, que analisa múltiplos produtos e múltiplos insumos sem a especificação de nenhuma forma funcional, além de determinar uma fronteira linear por partes compreendidas pelo conjunto de DMU's (ALMEIDA; REBELATTO, 2005).

Segundo Sollero (2007), a construção do índice de Malmquist, partiu do conceito introduzido por Malmquist em 1953, empregando técnicas de programação linear, como no método DEA. A finalidade do índice Malmquist é comparar períodos adjacentes usando os dados de *input* e *output* de um período base, porque a utilização apenas da análise DEA pode comprometer os resultados, tornando-os tendenciosos, visto que a técnica ignora a dinâmica de mercado, segundo a qual as unidades organizacionais podem ser eficientes para alguns períodos no tempo e ineficientes para outros (CHEN; IQBAL ALI, 2004), tornando-se uma ótima ferramenta para medir a mudança de produtividade das DMU's.

O índice de Malmquist tem muitas características desejáveis; dentre elas, pode-se destacar a possibilidade do desmembramento das mudanças de produtividade dentro de mudança no indicador de eficiência e mudança tecnológica, permitindo, dessa forma, conhecer a natureza da mudança de produtividade (WILHELM, 2003).

No Brasil, a maioria dos estudos centra-se na mensuração da PTF em setores da indústria ou na agricultura (SILVA FILHO, 2001). Como exemplo, Ferreira e Araujo (2014) estudaram a PTF agrícola no Brasil e sua decomposição no período 1970 a 2006. Os resultados mostraram uma variação na produtividade total agropecuária brasileira positiva, tendo o Estado do Mato Grosso maior variação, seguido por Rio Grande do Norte, Amapá e Piauí. Estados importantes para a agropecuária brasileira, como Bahia, Minas Gerais e São Paulo permaneceram com as variações na PTF positivas.

Na aquicultura, o estudo proposto por Hassanpour et al. (2010) em avaliação para um período de 5 anos em 207 unidades produtoras, sugeriu que a produção de trutas é influenciada com a adoção de novas tecnologias e melhoria na inovação do sistema de cultivo, no tocante à melhoria da produtividade total dos fatores.

Ainda neste sentido, Iliyasu et al. (2014) avaliaram mudanças técnicas e tecnológicas em 53% dos produtores de peixe em tanques-rede na Malásia, indicando progresso na produtividade, por meio do índice de Malmquist, com maior destaque às mudanças tecnológicas no sistema de cultivo.

Assim, segundo Almeida (2010), o índice de Malmquist é um procedimento mais adequado para identificar se as mudanças no desenvolvimento de um ambiente foram

relativas à mudança tecnológica ou à produtividade total dos fatores de produção de uma determinada DMU.

3. Material e Métodos

A presente pesquisa caracterizou-se por meio da observação direta, sendo aplicados formulários com questões adaptadas ao objeto de investigação (MARCONI; LAKATOS, 2003), constituídos por uma série ordenada de perguntas, que foram devidamente respondidas por escrito na presença do entrevistador, com periodicidade mensal, sendo registrados os coeficientes técnicos de produção em plataforma Microsoft Excel.

Ainda assim, o referido estudo trata-se de um estudo de caso, o qual é utilizado como delineamento para a investigação de um fenômeno dentro de seu contexto real, em que os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente percebidos (YIN, 2001).

Neste contexto, foram utilizados dados provenientes de observações médias mensais (DMU's) correspondentes às variáveis de estudo para o período de dois anos (2018 e 2019), em uma propriedade que cultiva a tilápia em sistema intensivo, localizada na região de Santa Fé do Sul/SP, conforme coordenadas geográficas de latitude 20° 2' 38'', longitude 50° 56' 3'' e altitude 325 m.

A principal contribuição foi a avaliação da evolução da produtividade da tilapicultura em uma unidade piscícola dotada de capacidade tecnológica consistente com seu padrão tecnológico, por meio do índice de Malmquist, sendo possível estimar se as transformações ocorridas na produção alteraram a eficiência, mensurada pela técnica DEA (modelo CCR ou constante de escala) em seu ambiente de cultivo, para as seguintes variáveis *input* I1-Custos com insumos (vacinas, alevinos e juvenis - R\$); I2-Ração consumida mensal (kg); I3-Taxa de conversão alimentar (%), referente à razão entre a quantidade de ração consumida e a biomassa gerada (kg); I4-Biomassa final mensal (kg), I5-descarte mensal de animais (%), referindo-se ao número de mortes e animais não vendidos; para o *output* O1- produção (vendas mensais) em kg.

Para compreender o significado de produtividade, suponha-se um ambiente em que há um único produto a partir do consumo de um único insumo em dois períodos distintos t e $t+1$. Assim, observa-se (x^t, y^t) no primeiro período e (x^{t+1}, y^{t+1}) no período seguinte. A medida FTP será dada por:

$$FTP = \frac{Y^{t+1} / X^{t+1}}{Y^t / X^t}$$

sendo a razão entre a produtividade no período $t+1$ e a produtividade no período t . A dificuldade para construir este tipo de índice se dá quando há mais de um insumo e mais de um produto, que é o caso mais geral. Em termos de funções distância, o índice de produtividade FTP possui, então, a seguinte definição:

$$FTP = \frac{D_p^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_p^t(X^t, Y^t)}$$

onde D_p^t é a função distância relativa a tecnologia referência do período t .

Ou seja, considerando a tecnologia do período t , qual a distância da DMU até a fronteira de produção considerando os níveis de consumo e de produção no período t e considerando os níveis dos mesmos insumos e produtos no período $t+1$. Deste modo tem-se um índice de produtividade relativo ao período t .

O índice FTP, acima definido, geralmente denomina-se índice produtividade de Malmquist - orientação produto, considerando a tecnologia do período t como referência, ou seja:

$$M_p^t(X^t, Y^t, X^{t+1}, Y^{t+1}) = \frac{D_p^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_p^t(X^t, Y^t)}$$

Esse índice comparou dados de 24 DMU's (meses de cultivo relacionados ao período 2018-2019) coletados em dois diferentes períodos, t e $t+1$, considerando a mesma tecnologia de referência relacionada ao período t .

Desta forma, o índice de Malmquist é expresso por:

$$M_p(X^t, Y^t, X^{t+1}, Y^{t+1}) = \frac{0c/0a}{0f/0e} \sqrt{\frac{0a/0d}{0b/0e}}$$

Em que a expressão fora do radical mede a mudança de eficiência entre os períodos t e $t+1$: $(0c/0a)$ é a eficiência técnica de (x^{t+1}, y^{t+1}) relativo ao período $t+1$ e $(0f/0e)$ é a eficiência técnica de (x^t, y^t) relativo ao período t . Este termo é chamado de componente da mudança de eficiência da mudança de produtividade, sendo expressa por:

$$EFFCH = \frac{D_p^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_p^t(X^t, Y^t)}$$

raiz quadrada do segundo termo captura movimentos na fronteira das melhores práticas entre t e $t+1$: $(0a/0d)$ medindo o movimento vertical de x^{t+1} e $(0b/0e)$ captura o movimento vertical avaliado em x^t . A média (geométrica) desses dois movimentos é denominada de mudança da tecnologia, definida por:

$$TECH = \sqrt{\frac{D_p^t(X^{t+1}, Y^{t+1}) D_p^t(X^t, Y^t)}{D_p^t(X^{t+1}, Y^{t+1}) D_p^{t+1}(X^t, Y^t)}}$$

Finalmente, o fator multiplicativo de EFFCH por TECH é igual a MP ($x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}$). Melhoria na produtividade é sempre demonstrada para valores de MP maiores que um, e considera-se o declínio na produtividade quando ocorre valores menores que um. As mesmas interpretações aplicam-se para os componentes da mudança de produtividade, EFFCH por TECH. Observa-se que a melhoria na produtividade pode ser acompanhada pela deterioração em um dos componentes medidos e vice-versa.

O processo de cálculo das funções distância, como já mencionado anteriormente, envolve o cálculo do índice de eficiência técnica orientação produção considerando retornos constantes de escala. Sejam os períodos t e $t+1$.

Assim, o índice de Malmquist destaca-se pelo seu caráter relativo, pois os valores podem variar de acordo com as DMU's que estão sendo analisadas, podendo representar uma importante característica, pois algumas unidades podem apresentar redução nos escores de eficiência, enquanto outras podem registrar melhoria. Da mesma forma, algumas DMU's podem apresentar progresso tecnológico, enquanto outras com regresso técnico ou até progresso técnico inalterado. Assim, por meio desse instrumento, torna-se possível examinar as variações dos níveis de produtividade de forma mais flexível e detalhada (WILHELM, 2006).

Assim, a componente mudança de eficiência (ou eficiência técnica) calculada em relação à tecnologia com CRS ou CCR (constante de escala) pode, então, ser decomposta em um componente de mudança de eficiência pura (PEC, calculado em relação à tecnologia com VRS) e, em um componente de mudança de eficiência de escala (SEC), que representa as alterações nos desvios entre as tecnologias de CRS e VRS.

Desta maneira, tem-se que $M_0(y_{t+1}, x_{t+1}, y_t, x_t) =$ Mudança Técnica (TECH) * Mudança Eficiência Pura (PEC) * Mudança de Escala (SEC), em que Mudança Eficiência (EFCH) = Mudança de Eficiência Pura (PEC) * Mudança de Escala (SEC), podendo ser reescrito com a seguinte expressão:

$$\text{Crescimento PTF} = \text{Mudança de Eficiência (EFCH)} * \text{Mudança Técnica (TECH)}$$

A decomposição do índice de Malmquist auxilia na determinação das fontes de eficiência ou ineficiência de uma firma. Em outras palavras, $TECH > 1$ indica um progresso técnico; $EFCH > 1$ significa a eficiência progrediu, assim como $SEC > 1$ indica que a firma está se aproximando da escala ótima em $t + 1$.

Para fins de determinação do índice de Malmquist, fez-se uso do *software Data Envelopment Analysis Program* (DEAP 2.1), desenvolvido por Coelli (1996).

4 Resultados e Discussão

Inicialmente, a Tabela 1 apresenta a distribuição dos meses de cultivo na unidade piscícola por classe de eficiência no modelo DEA-CCR para os anos de 2018 e 2019, permitindo classificá-los entre eficiente e ineficiente.

Em 2018, a classe de eficiência 0,9-1 identifica oito meses, com 66,7% da amostra (sendo 75% deste período com eficiência técnica em 100%), dos quais foram eficientes com maior expressividade com custos de insumos e consumo de ração, inferiores respectivamente em quantidade de 29% e 3% comparativos à classe de 80 a 89% de eficiência, bem como demonstrou valores superiores em sua conversão alimentar (CA), biomassa final mensal e produção em 3,5%, 6,9% e 5,7% comparativos para esta mesma classe.

Tabela 1: Distribuição dos meses de cultivo por classe de eficiência no modelo DEA-CCR (variáveis *inputs* e *output*), 2018 e 2019.

Classe de eficiência	%	I1	I2	I3	I4	I5	O1
Médias (2018)							
0,60 – 0,699	8,33	129.477,37	302.055,00	1.52	612.860,00	18.388,00	97.749,00
0,70 – 0,799	8,33	97.562,23	239.680,00	1.46	480.781,00	18.079,00	93.918,00
0,80 – 0,899	16,67	183.311,49	276.205,00	1.70	597.585,00	43.490,50	157.916,00
0,90 – 1,000	66,67	129.721,96	267.783,12	1.76	638.970,87	43.379,12	166.968,00
Médias (2019)							
0,40 – 0,699	8,33	147.919,10	304.990,00	1.58	526.290,00	39.858,00	105.699,00
0,70 – 0,799	8,33	149.854,55	220.175,00	2.04	492.502,00	63.133,00	137.578,00
0,80 – 0,899	33,34	141.579,40	271.829,25	1.72	492.645,00	45.341,00	169.781,50
0,90 – 1,000	50,00	126.359,07	240.887,17	1.82	498.131,50	44.387,17	192.099,00

Fonte: dados da pesquisa.

Vale ressaltar que em função de algumas relações existentes, dentre as quais consumo de ração/produção, custos de insumos/produção e animais descartados/produção, os cultivos

apresentados como eficientes obtiveram valores inferiores à média. Por exemplo, para a DMU 8 (representado pelo cultivo em agosto de 2018), obteve uma relação de 11,67 no quesito descarte/produção, considerando uma média de 24,57 e um valor máximo de 55,93 entre as DMU's analisadas, bem como no consumo com ração (1,47), valor este inferior em 20,54% à média para este quesito.

Para 2019, observa-se que as unidades com maior eficiência se reduziram para 50% no conjunto amostral. Embora apresentando menores custos com ração, obteve também maior descarte de peixes e menor biomassa.

De acordo com a Figura 1, a distribuição da eficiência técnica por DMU no modelo CCR é expressa por percentuais de eficiência técnica das unidades de produção, classificando como eficientes os cultivos que tiveram melhor racionalização dos gastos e parâmetros zootécnicos produtivos, mantendo-se constante a produção. De maneira geral, a média foi de 92,7% entre os cultivos no ano de 2018 para o modelo CCR-*input*. Já para 2019, a média geral entre os meses de cultivo foi de 87,4% para a unidade piscícola em análise.

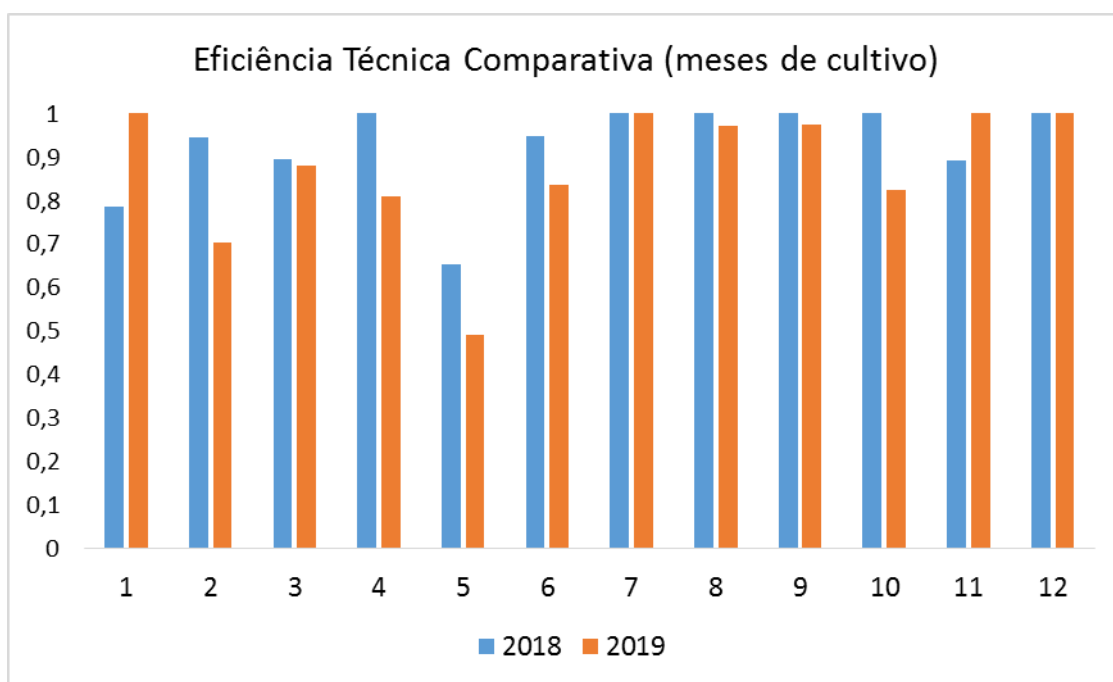


Figura 1: Distribuição da eficiência técnica por DMU no modelo DEA CCR (*input*), com destaque para os lotes mensais eficientes (eficiência = 1), 2018 e 2019.

Fonte: dados da pesquisa.

Vale mencionar que as comparações de eficiência entre 2018 e 2019 são relativas, sendo cada DMU (período de cultivo) comparado às demais DMU's no mesmo período de

tempo. Entretanto, para aferir a evolução da produtividade entre os períodos, o uso do índice Malmquist com seus componentes foi necessário, conforme Tabela 2.

A contribuição da mudança média de eficiência técnica (effch) e mudança tecnológica (tech) para o fator de produtividade total (tfpch) foi de 13,4%, correspondente ao fator resultante da diminuição da eficiência técnica em 6,7% e deslocamento para cima de 21,5% no componente tecnológico de produção. Isso infere que houve adoção de melhoria nas habilidades gerenciais, bem como aquisição de itens de capital fixo para incremento na produtividade da unidade piscícola para os meses de cultivo.

Tabela 2: Índice de Malmquist e componentes de variação para o período 2018-2019.

DMU	effch ¹	tech ²	pech ³	sech ⁴	tfpch ⁵
1	1,273	1,228	1,000	1,273	1,563
2	0,744	1,261	1,000	0,744	0,939
3	0,983	1,331	0,964	1,019	1,308
4	0,809	1,282	1,000	0,809	1,037
5	0,755	1,192	0,640	1,179	0,900
6	0,881	1,182	1,000	0,881	1,042
7	1,000	1,138	1,000	1,000	1,138
8	0,971	1,163	1,000	0,971	1,129
9	0,974	1,243	1,000	0,974	1,211
10	0,824	1,147	0,829	0,994	0,945
11	1,120	1,238	1,098	1,020	1,387
12	1,000	1,185	1,000	1,000	1,185
Mean	0,933	1,215	0,953	0,979	1,134

Sendo: ¹- technical efficiency change; ²- technological change; ³- pure technical efficiency change; ⁴- scale efficiency change; ⁵- total factor productivity (TFP).

Fonte: dados da pesquisa.

Especificamente neste estudo, como exemplo, uma despesa de 18 toneladas anteriormente demorava entre 7 e 8 horas para carregar o caminhão. Com nova estrutura mecanizada em 2019, todo o processo demanda apenas 4 horas, reduzindo-se também em 5 colaboradores, com prospecção para economia de até 20% nos custos de produção. Ainda assim, houve o aumento de intervalo de tempo (frequência) na alimentação de engorda, gerando maior desempenho nutricional e melhor taxa de conversão.

Em se tratando de aquicultura continental, tecnologias adequadas e a disponibilidade de mão de obra técnica especializada constituem como fatores que podem contribuir para que haja um aumento efetivo na produção, condizente a um crescente mercado consumidor (SIDONIO et al., 2012).

Por outro lado, a redução de eficiência técnica constatada em 67% dos meses de cultivo (effch < 1) foi devido ao aumento de descarte – morte de peixes (com incremento de

17% em relação a 2018), mesmo com produção superior em 13% no período. Isto ocorreu em função de haver muita oferta de tilápia no mercado (com reflexos para menor preço), bem como maior exigência padrão no tamanho destinado ao consumidor final, com peso final de 900g.

Entretanto, avaliando-se a eficiência técnica para a DMU 11 (mês de novembro), observa-se um aumento de 12% comparativo a 2018. Isto se deve a dois principais fatores: houve maior demanda de mercado em 2019 e disponibilidade de tilápia para comercialização. Embora o propósito seja possuir uma produção constante, os peixes de novembro são os juvenis de maio ou alevinos de fevereiro, que não são difíceis de se comprar, sendo os alevinos de melhor desova e que crescem no período de menor problema de sanidade (final de verão e inverno), havendo, portanto, disponibilidade nesse período. Vale destacar que as tilápias são peixes tropicais que apresentam conforto térmico entre 27 a 32°C, em que o manuseio e o transporte sob baixas temperaturas (<22°C), principalmente após o inverno, resultam em grande mortalidade. Ainda assim, tilápias bem nutridas e que não sofreram estresse por má qualidade da água, toleram melhor o manuseio sob baixas temperaturas (KUBITZA, 2000).

A *effch* consiste em dois componentes: o *pech*, relacionado à eficiência técnica pura, em que 75% dos meses de cultivo obtiveram máxima, bem como o *sech*, resultante da eficiência de escala, em 97,9%, o que implica melhoria na eficiência da alocação de insumos no sistema produtivo. No entanto, o *effch* médio foi de 0,933 (93,3%), refletindo em diminuição na produção, como exemplo a DMU 2 (fevereiro) com menor índice *effch*, em que os peixes de verão são os piores, apresentando crescimento ruim, com baixa taxa de conversão alimentar, depende muito do lote, aliado ao fato de que no período janeiro-março, por causa do verão, é propício para as doenças, gerando maior mortalidade e redução da oxigenação por causa do calor. Em trabalho de Vassdal e Holst (2011), relataram que havia progresso de *effch* e leve regressão de *tech* na criação de salmão norueguesa para o período de 2001 a 2008.

No entanto, a contribuição mais importante para o crescimento da PTF vem de *tech* (fator tecnológico), nos quais todos os meses de cultivo em 2019 tiveram crescimento, sendo o mais importante determinante do crescimento da PTF, estando em acordo com Asche et al. (2013) e Vassdal e Holst (2011).

Por fim, observa-se que a unidade piscícola em seus meses de cultivo em questão obteve uma evolução na produtividade de 2018 para 2019 (*ftpch*>1), sobretudo em razão de haver um progresso técnico (*tech*>1) decorrente de melhorias no processo e aquisição de

benfeitorias, mesmo com uma eficiência técnica regredida ($efch < 1$), mas compensando-se pelo fator de escala estar bem próximo à unidade.

5 Considerações Finais

O estudo do índice de Malmquist aplicado ao diagnóstico de cultivo de tilápias mostrou-se de grande utilidade, possibilitando meios adequados de gerenciar a atividade em sua evolução produtiva para diferentes períodos de tempo, em função de mudanças de eficiência técnica e de tecnologia.

A melhoria tecnológica não necessariamente condiz com a melhoria da eficiência produtiva. Apesar disso, a unidade piscícola obteve crescimento na produtividade, considerando uma possível melhoria gradativa correspondente ao uso racional dos recursos de produção.

Dentre os fatores considerados mais importantes para a determinação da produtividade crescente no biênio 2018-2019, destacam-se benfeitorias que reduziram o tempo de processo e número de pessoas em mão de obra. Desta forma, a melhoria na PTF deve, portanto, focar mais nas habilidades gerenciais (por meio de treinamentos contínuos), além da inovação para deslocar a fronteira de produção, independente da sazonalidade entre os meses de cultivo.

Cabe destacar que o referido estudo usou dados de apenas dois períodos para estimar o índice de PTF. Apesar desta limitação, o estudo contribuiu sobre a análise do crescimento da produtividade em piscicultura, e que em futuras pesquisas, a ampliação de anos subsequentes poderá propiciar resultados mais consistentes no tocante à gestão e eficiência, destacando que a análise DEA e o índice de Malmquist são importantes ferramentas de direcionamento e processo de tomada de decisão a quem produz.

6. Referências

ALDATZ, R. J.; SAMPAIO, L.; NEVES, F. L.; MOL, A. *Mudanças recentes e evolução da produtividade da carcinicultura do Rio Grande do Norte: uma abordagem utilizando o índice de Malmquist para os anos de 2004 e 2011*. 2015. (Apresentação de Trabalho/Congresso).

ALMEIDA, M. R. *A eficiência dos investimentos do programa de inovação tecnológica em pequena empresa (PIPE): uma integração da Análise Envoltória de Dados e Índice Malmquist*. 273 f. Tese de Doutorado da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

ALMEIDA, M; REBELATTO, D. Sistematização das técnicas para avaliar a eficiência: variáveis que influenciam a tomada de decisão estratégica. In: II SEGET – SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, São Carlos, USP, 2005. *Anais...* Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/artigos2005.php>> Acesso em: 20 dez. 2018.

ASCHE, F., ROLL, K. H (2013) Determinants of inefficiency in Norwegian salmon aquaculture. *Aquac Econ Manag* 17(3):300–321.

CHEN, Y.; IQBAL ALI, A. DEA Malmquist productivity measure: New insights with an application to computer industry. *European Journal of Operational Research*, v. 159, n. 1, p. 239–249, 2004.

COELLI, T. J. *A guide to DEAP version 2.1: a data envelopment analysis program*. Armidale, Austrália: University of New England. 1996, 49 p. (CEPA Working Papers, 08/96).

FERREIRA, C. B.; ARAUJO, J. A. Produtividade total dos fatores na agropecuária brasileira: análise de fronteira estocástica e índice de Malmquist. In: ENCONTRO NACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL - SOBER, 52, 2014, Goiânia. *Anais...* SOBER, 2014. p. 230-300.

FERREIRA, C. M. C; GOMES, A. P. *Introdução a Análise Envoltória de Dados*. Viçosa: Editora UFV, 2009. 390 p.

GASQUES, J. G.; CONCEIÇÃO, J. C. P. R. da. *Transformações Estruturais da Agricultura e Produtividade Total dos Fatores*. Brasília: IPEA, nov. 2000 (Texto para discussão, n. 768).

HASSANPOUR, B; ISMAIL, M. M; MOHAMED, Z, KAMARULZAMAN, N. H. Sources of productivity growth in rainbow trout aquaculture in Iran: technical efficiency change or technological progress? *Aquaculture Economics & Management*, 14:218–234, 2010, p. 218-234.

ILIYASU, A., MOHAMED, Z.A. & HASHIM, M. Productivity growth, technical change and efficiency change of the Malaysian cage fish farming: an application of Malmquist Productivity Index approach. *Aquaculture International*, 2015, v 23, p. 1013-1024.

KUBTIZA, F. Tilápias: Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade. *Panorama da Aquicultura*, ed. 59, 2000. Disponível em: <<https://panoramadaaquicultura.com.br/category/edicao-59/page/2/>>. Acesso em: 18 Fev. 2021.

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... VII SIMPOI*. São Paulo: FGV-SP, 2004 (disponível em CD-ROM).

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

PEIXE BR. *Anuário estatístico da piscicultura 2021*. São Paulo: Associação Brasileira de Piscicultura, 140 p.

RODRIGUEZ, M. J. D. *El capital público em la economía española*. Madrid: Universidad Europea-CEES Ediciones 1998. (Mimeo).

SIDONIO L. et al. *Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades*. BNDES Setorial 35, 2012. p. 421-463.

SILVA FILHO, T. N. T. *Estimando o produto potencial brasileiro: uma abordagem de função de produção*. Trabalhos para Discussão - Banco Central do Brasil, Brasília, n. 17, p. 1-36, 2001.

SOLLERO, M. K. V. *Avaliação de Empresas de Distribuição de Energia Elétrica através da Análise Envoltória de Dados com Integração das perspectivas do regulamento e das Concessionárias*. Tese de doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.

SOUZA, R. O. *Produtividade total dos fatores na agricultura goiana: uma análise microrregional para as culturas de cana-de-açúcar, milho e soja (1985, 1995/96 e 2006)*, 2013. 150 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, 2013.

VASSDAL, T., HOLST, H.M.S. (2011) Technical progress and regress in Norwegian Salmon farming: a Malmquist index approach. *Mar Res Econ* 26(4):329–341.

WILHELM, V. E. *DEA – Apostila dirigida ao curso de Pós-graduação em Métodos Numéricos em Engenharia*. Departamento de Matemática, Universidade Federal do Paraná, 2003.

WILHELM, V. E. *Data Envelopment Analysis – DEA*. Curitiba: UFPR, 2006. p. 79.

YIN, Robert K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 2. ed. Porto Alegre: Bookmann, 2001.

7. Agradecimentos

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