

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
dissertação será disponibilizado
somente a partir de 28/02/2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

***Benchmarking* da sustentabilidade ambiental
de fazendas de tilápia do Nilo (*Oreochromis
niloticus*) sob diferentes escalas de produção
instaladas em represas e reservatórios no
estado de São Paulo**

Naor Silveira Fialho

Jaboticabal, São Paulo
2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

***Benchmarking* da sustentabilidade ambiental
de fazendas de tilápia do Nilo (*Oreochromis
niloticus*) sob diferentes escalas de produção
instaladas em represas e reservatórios no
estado de São Paulo**

Naor Silveira Fialho

**Orientador: Dr. Guilherme Wolff Bueno
Coorientador: Wagner Cotroni Valenti**

Dissertação apresentada ao
programa de Pós-Graduação em
Aquicultura do Centro de Aquicultura
da UNESP - CAUNESP, como parte
dos requisitos para obtenção do título
de Mestre.

Jaboticabal, São Paulo
2019

Fialho, Naor Silveira
F438b *Benchmarking* da sustentabilidade ambiental de fazendas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) sob diferentes escalas de produção instaladas em represas e reservatórios no estado de São Paulo / Naor Silveira Fialho. -- Jaboticabal, 2020
viii, 54 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2020
Orientador: Guilherme Wolff Bueno
Coorientador: Wagner Cotroni Valenti
Banca examinadora: Carlos Augusto Prata Gaona, Flávia Tavares de Matos
Bibliografia

1. Aquicultura. 2. *Benchmarking*. 3. Indicadores ambientais. 4. Tanque-rede. 5. Sustentabilidade ambiental. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 639.3

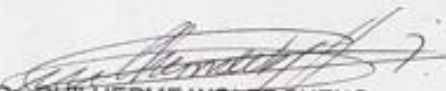
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Benchmarking da sustentabilidade ambiental de fazendas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), sob diferentes escalas de produção, instaladas em represas e reservatórios no estado de São Paulo

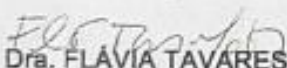
AUTOR: NAOR SILVEIRA FIALHO

ORIENTADOR: GUILHERME WOLFF BUENO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AQUICULTURA, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. GUILHERME WOLFF BUENO
Câmpus de Registro / UNESP, Registro-SP


Prof. Dr. CARLOS AUGUSTO PRATA GAONA
UNESP / Campus Registro


Profa. Dra. FLÁVIA TAVARES DE MATOS
Núcleo Temático de Pesca e Aquicultura / Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas - TO

Jaboticabal, 28 de fevereiro de 2020

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS.....	vii
AGRADECIMENTOS	1
APOIO FINANCEIRO.....	3
INTRODUÇÃO GERAL	4
RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1. INTRODUCTION.....	9
2. MATERIALS E METHODS	12
2.1. Study area	12
2.2. Sampling design	14
2.3. Water quality and feed composition	16
2.4. Growth performance and Thermal-unit Growth Coefficient (TGC)	16
2.5. Environmental evaluation	17
2.5.1. Water analyses	22
2.5.2. Sediment analyses	23
2.5.3. Gases analyses.....	23
2.5.4. Fish carcass analyses	24
2.6. Statistical analyses	24
2.6.1. Performance scale expressed in multidimensional diagrams (Environmental Sustainability Index)	24
2.6.2. Development of environmental sustainability benchmarking	25
3. RESULTS.....	26
3.1. Quality of water and feed.....	26
3.2. TGC and production data.....	28
3.3. Environmental Sustainability Indicators.....	28
3.3.1. Use of natural resources.....	28
3.3.2. Efficiency in the use of natural resources.....	29
3.3.3. Pollutants released to the environment and accumulated on the bottom of the water body	29
3.3.4. Risk of farmed species	29
3.4. Environmental sustainability index	31
3.5. Environmental sustainability benchmarking.....	34
4. DISCUSSION	35
4.1. Quality of water and feed.....	35

4.2. Growth Performance (TGC)	36
4.3. Environmental Sustainability Indicators	36
4.3.1. Use of natural resources.....	36
4.3.2. Efficiency in using resources.....	37
4.3.3. Pollutants released to the environment and accumulated on the bottom of the water body	
38	
4.3.4. Risked of farmed species	40
4.4. Environmental Sustainability Index	40
4.5. Environmental Sustainability Benchmarking	41
5. CONCLUSIONS	44
6. REFERENCES	46
CONSIDERAÇÕES FINAIS	53

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

(ADG)	Average daily gain
(AOM)	Accumulation of Organic Matter
(AP)	Accumulation of Phosphorus
(C)	Use of Carbon
(CONAMA)	Environment National Council
(CP)	Crude protein
(DO)	Dissolved oxygen
(E)	Use of Energy
(EC)	Efficiency in the Use of Carbon
(EE)	Efficiency in the Use of Energy
(EN)	Efficiency in the Use of Nitrogen
(EP)	Efficiency in the Use of Phosphorus
(ESI)	Environmental Sustainability Indicators
(FBW)	Final body weight
(FCR)	Feed conversion ratio
(GCP)	General Chemical Pollution
(GE)	Gross energy
(IBW)	Initial body weight
(N)	Use of Nitrogen
(NFE)	Nitrogen-free extract
(P)	Use of Phosphorus
(PEn)	Potential of Nitrogen Eutrophication
(PEp)	Potential of Phosphorus Eutrophication
(PGW)	Potential of Global Warming

(PH)	Pollution by Hormones
(PHM)	Pollution by Heavy Metals
(POP)	Potential of Organic Pollution
(PRE)	Proportion of Renewable Energy
(PU)	Production Actually Used
(RFS)	Risk of Farmed Species
(RSS)	Residual sum of squares
(S)	Use of Space
(TGC)	Thermal-unit Growth Coefficient
(W)	Dependence on Water

AGRADECIMENTOS

Aqui tenho o privilégio de dar toda honra e glória ao Rei e Senhor da minha vida, Jesus Cristo, o único e suficiente salvador. “Porque estou certo de que, nem a morte, nem a vida, nem os anjos, nem os principados, nem as potestades, nem o presente, nem o porvir, nem a altura, nem a profundidade, nem alguma outra criatura nos poderá separar do amor de Deus, que está em Cristo Jesus nosso Senhor” (Romanos 8:38-39).

Quero agradecer a minha esposa, que é uma só carne comigo, em quem tenho todo auxílio, por ser uma mulher virtuosa e temente a Deus. Hoje temos a alegria de estarmos gerando nosso maior sonho, o de sermos pais. “Eis que os filhos são herança do Senhor, e o fruto do ventre o seu galardão. Como flechas na mão de um homem poderoso, assim são os filhos da mocidade. Bem-aventurado o homem que enche deles a sua aljava; não serão confundidos, mas falarão com os seus inimigos à porta.” (Salmos 127:3-5).

Quero agradecer a todos meus familiares, em especial a meu pai e minha mãe, a quem devo honrar sempre. Aos meus irmãos, Aron e Ryan, quem sempre foram muito importantes na formação do meu caráter. Também a todos os familiares de minha esposa, que se tornaram também meus pais, avós, tios e primos, e me acolheram com muito amor, onde muito aprendi sobre a importância da família buscar sempre a unidade.

Quero agradecer a todos meus irmãos em Cristo, por fazerem dessa caminhada na fé uma experiência cada dia mais especial, por todas as orações, intercessões e exemplos, com quem muito aprendo sobre Jesus.

Quero agradecer ao meu orientador, Dr. Guilherme Wolff Bueno, por todos os anos de amizade e sempre buscar oportunidades para que eu pudesse crescer na minha carreira profissional. Também agradeço ao meu coorientador, Dr. Wagner Cotroni Valenti, por abrir as portas do laboratório e disponibilizar toda sua equipe para o desenvolvimento deste trabalho.

Quero agradecer a todos os meus amigos, pessoas que sempre fizeram e fazem parte da minha caminhada, e que se identificam ao ler esse

agradecimento. Agradeço a oportunidade de fazer parte da caminhada de cada um, e espero que todos nós possamos estar na eternidade juntos.

Agradeço a todos meus colegas de trabalho da UNESP e do CAUNESP. Cada um único no seu jeito de ser e trabalhar, e sempre mostrando um coração disposto a servir o próximo, creio que Deus fará grandes coisas através das suas vidas.

Agradeço a querida Elisa Godoy e ao meu estimado irmão, Danilo Proença, por todo o carinho, tempo, esforço e dedicação para o desenvolvimento e criação das metodologias e planilhas para este trabalho. Creio que este tempo que passamos juntos teve um propósito que vai além do nosso entendimento.

Agradeço aos colaboradores da UNESP e do Centro de Aquicultura da UNESP (CAUNESP) por todo tempo e esforço dedicado, para que fosse possível a realização desse mestrado.

Agradeço a banca examinadora, ao Dr. Carlos Augusto Prata Gaona e a Dra. Flávia Tavares de Matos, e a banca de qualificação, ao Dr. Pablo Gallardo Ojeda e ao Dr. Danilo Cintra Proença, por aceitarem serem membros da banca, pelo tempo e por todas as considerações para aprimorar essa dissertação.

O meu muito obrigado a todos, pois o Senhor tem um plano perfeito para a vida de cada um, e eu oro para que a vontade do Senhor seja feita em suas vidas, em nome de Jesus. Amém.

APOIO FINANCEIRO

Agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fornecimento da bolsa de mestrado, Processo nº 88882.433714/2019-01. Este estudo é parte integrante do projeto anterior da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) Mudanças Climáticas, processo nº 2016/10.563-0.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço as pisciculturas pela parceria, apoio na logística, infraestrutura e fornecimento de dados históricos de produção e ao Centro de Aquicultura da UNESP (CAUNESP) pelo apoio institucional ao longo do desenvolvimento dessa dissertação.

INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente, a sustentabilidade dos processos de produção de alimentos vem sendo debatida, especialmente no âmbito ambiental. Na aquicultura, existe essa preocupação sobre as práticas sustentáveis para produção de organismo aquáticos, e como deve ser medida a sustentabilidade desta atividade. A aquicultura é um dos setores produtores de alimentos que mais cresce no mundo (DAVID *et al.*, 2017a, 2017b; ENGLE, 2019). No Brasil, existe uma expectativa de crescimento da produção de peixes de 104% até 2025, atingindo 1.145.000 toneladas de peso vivo (FAO, 2016). São Paulo é um dos estados de maior destaque no país, sendo o segundo maior produtor de peixes (PEIXE BR, 2019). Neste cenário, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é a principal espécie produzida, representando quase 95% de todos os peixes cultivados no estado de São Paulo (PEIXE BR, 2019).

A aquicultura ambientalmente sustentável é baseada no uso racional dos recursos naturais no processo de produção (GONÇALVES, 2017). A principal característica da produção sustentável é assumir que a natureza é finita. Além disso, cada geração deve deixar uma herança de recursos naturais equivalentes ou superiores ao que eles receberam para a próxima geração (KIMPARA *et al.*, 2012; VALENTI *et al.*, 2018). No entanto, as externalidades ambientais geradas pelo ecossistema da aquicultura são uma preocupação para alcançar o desenvolvimento sustentável da atividade. Externalidades ambientais são os impactos da produção sobre terceiros que não estão diretamente envolvidos com a atividade, podendo ser positivas ou negativas (MOTTA, 1997). Os seres humanos não consomem todo o organismo cultivado. As partes restantes se tornam resíduos e são descartadas. Assim, grande parte da energia e material que é fornecida aos organismos cultivados está incorporada nesses resíduos (BUENO *et al.*, 2017; VALENTI *et al.*, 2018). Também há parte dos materiais e energia que não são incorporados pelo organismo. Um dos principais materiais é a ração utilizada. Esses materiais, que não são incorporados, são absorvidos pela biota natural associada à cultura, acumulada no sistema como sedimento ou dispersa no ambiente circundante (DAVID *et al.*, 2017a, 2017b). Portanto, o não

gerenciamento dessas externalidades pode comprometer a sustentabilidade ambiental dos ambientes aquáticos.

Medir a sustentabilidade dos sistemas utilizados, das técnicas de manejo aplicados, e das novas tecnologias que estão sendo geradas são essenciais para alcançar uma aquicultura ambientalmente sustentável (KIMPARA *et al.*, 2012). Nesse contexto, vários pesquisadores (ODUM, 1986, SCIENCEMAN, 1987; REES & WACKERNAGEL, 1996; PAPATRYPHON, 2004; ADGER, 2000; WARHURST, 2002; BOYD *et al.*, 2007; VALENTI *et al.*, 2018) têm apresentado diferentes métodos para avaliar a sustentabilidade como: análise do ciclo de vida, análise emergética, pegada ecológica, indicadores de sustentabilidade e análise de resiliência, que são os métodos mais usados para medir a sustentabilidade da aquicultura (KIMPARA *et al.*, 2012). Dentre esses, destaca-se o método de grupo de indicadores de sustentabilidade, formulado especificamente para a aquicultura (VALENTI *et al.*, 2018).

Os indicadores de sustentabilidade ambiental (ISA) podem ser utilizados no gerenciamento de externalidades ambientais (VALENTI *et al.*, 2018). Os indicadores fornecem valores que simplificam um fenômeno mais complexo e resumem as características de um sistema de maneira simplificada. Esses são combinados em um índice que pode ser usado na comparação de diferentes sistemas ou no mesmo sistema ao longo do tempo (VALENTI *et al.*, 2018). Essa ferramenta permite fazer projeções de curto prazo, apresenta novas soluções para resolver os problemas atuais e ajuda a melhorar a sustentabilidade da aquicultura (NESS *et al.*, 2007; PROENÇA, 2013).

No entanto, é necessário adaptar e padronizar essa ferramenta, os indicadores de sustentabilidade, para diferentes modalidades e situações da aquicultura. A padronização permitirá realizar uma comparação e gerar um produto, que seja aplicável e auxilie os tomadores de decisão. Isto pode ser realizado por meio do processo de *benchmarking*, o qual consiste em comparar o desempenho de uma organização com outros grupos ou padrões aceitáveis (GIACOMINI, 2008; MCDUGAL, 2012). Essa função serve para identificar os pontos fortes e fracos de uma operação, melhorando resultados ou desempenho de forma incremental ao longo do tempo (MCDUGAL, 2012).

Portanto, estudos que permitem avaliar o *benchmarking* da sustentabilidade ambiental, utilizando informações obtidas por meio dos ISA, podem auxiliar os gestores na avaliação de diferentes cenários para calcular a eficiência da produção. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho consistiu na aplicação dos ISA para avaliar o *benchmarking* de sustentabilidade ambiental de fazendas comerciais com diferentes escalas de produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), criadas em barragens e reservatórios no estado de São Paulo.

Dessa forma, a abordagem do *benchmarking* ambiental se tornará um padrão que poderá orientar gerentes, produtores e agências ambientais no planejamento e gestão de empresas aquícolas, visando o desenvolvimento de uma aquicultura sustentável e responsável.

Essa dissertação foi redigida sob a forma de artigo científico. As citações e referências foram formatadas de acordo com as normas do periódico Ecological Indicators, ao qual pretendemos submetê-lo após a defesa.

RESUMO

O *benchmarking* é um processo que permite comparar empresas e seus processos visando identificar oportunidades de melhoria e estratégias para atingir determinado objetivo. Neste contexto, foi aplicado indicadores de sustentabilidade ambiental (ISA) para avaliar o *benchmarking* ambiental de fazendas comerciais com diferentes escalas de produção da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), criadas em represas e reservatórios nas regiões do Vale do Ribeira e Paranapanema, estado de São Paulo. O estudo foi realizado em quatro pisciculturas (A, B, C e D) com escalas de produção de 9,5 a 150 toneladas por ano. Foram monitorados três lotes em cada fazenda, durante um ciclo de produção, com durações variando entre 189 a 263 dias, totalizando doze unidades amostrais de *O. niloticus*. Durante o cultivo, foram coletadas amostras de água, sedimentos, peixes, rações e gases de efeito estufa que foram utilizadas para calcular os ISA. Estes foram divididos em cinco critérios: uso de recursos naturais; eficiência no uso de recursos; liberação de poluentes e subprodutos não utilizados no meio ambiente; poluentes acumulados no fundo do corpo d'água; conservação da diversidade genética e da biodiversidade. Cada ISA foi convertido em uma escala de performance. Os dados dos ISA junto com dados da literatura foram usados para desenvolver um valor de “referência” para cada ISA, permitindo a realização do *benchmarking* ambiental. As propriedades que alcançaram os melhores índices de sustentabilidade ambiental foram as fazendas B e C (82), o pior índice foi a fazenda D (70) e a fazenda A obteve o índice 76. A fazenda C foi influenciada pelo uso de energia, nitrogênio, fósforo e carbono, que foi em média 17% menor em relação às outras fazendas, e pela maior eficiência no uso de nitrogênio e fósforo (32,7% e 23,6%, respectivamente). A fazenda B foi influenciada pelo menor acúmulo de fósforo e matéria orgânica (1 e 90 kg/t, respectivamente). A fazenda D foi influenciada pelos altos níveis de fósforo e matéria orgânica acumulados (10 e 723 kg/t, respectivamente). O uso do ISA foi adequado para realizar o *benchmarking* ambiental e permitiu atingir um valor de referência para os principais ISA. O *benchmarking* demonstrou ser eficiente com a utilização dos ISA para alcançar uma aquicultura mais sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: aquicultura, *benchmarking*, indicadores ambientais, tanque-rede, sustentabilidade ambiental.

ABSTRACT

Benchmarking is a process that allows comparing companies and their processes to identify improvement opportunities and strategies to achieve a certain goal. In this context, environmental sustainability indicators (ESI) were applied to assess the environmental benchmarking of commercial farms with different Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) production scales, created in dams and reservoirs in the “Vale do Ribeira” and Paranapanema regions, state of São Paulo. The study was conducted in four fish farms (A, B, C and D) with production scales from 9.5 to 150 tons per year. Three batches were monitored on each farm during a production cycle, with durations ranging from 189 to 263 days, totaling twelve sample units of *O. niloticus*. During cultivation, samples of water, sediment, fish, feed and greenhouse gases were collected and used to calculate the ESI. These indicators were divided into five criteria: the use of natural resources; efficiency in the use of resources; release of pollutants and unused by-products to the environment; pollutants accumulated on the bottom of the water body; conservation of genetic diversity and biodiversity. Each indicator was converted into a performance scale. Data of ESI obtained from each evaluated farm and the literature review were used to develop a “standard” value, allowing performing the environmental benchmarking of the farms. The farms that achieved the best environmentally sustainable indexes were farms B and C (82), the worst was farm D (70), and farm A achieved the index 76. Farm C was influenced by the use of energy, nitrogen, phosphorus, and carbon, which was on average 17% lower than the other farms, and by the highest efficiency in the use of nitrogen and phosphorus (32.7% and 23.6%, respectively). Farm B was influenced by the lowest accumulation of phosphorus and organic matter (1 and 90 kg/t, respectively). Farm D was influenced by the high levels of accumulated phosphorus and organic matter (10 and 723 kg/t, respectively). The use of ESI was adequate and effective to apply the environmental benchmarking and allowed to achieve a reference value for the main ESI of Nile tilapia farms in reservoirs and dams. The environmental sustainability index and benchmarking have proven to be the way to use ESI to achieve more sustainable aquaculture.

KEY-WORDS: aquaculture, benchmarking, environmental indicators, net-cage, environmental sustainability.

1. INTRODUCTION

Nowadays, there is an on-going and considerable debate over environmental sustainability, mainly related to food production. On aquaculture, there is also this concern over what environmental sustainable and responsible managed aquaculture is, and how it should be measured. Aquaculture is one of the fastest-growing food-producing sectors in the world (DAVID *et al.*, 2017a, 2017b; ENGLE, 2019). In Brazil, there is an expectation of growth in fish production of 104% up to 2025, reaching 1,145,000 tonnes live weight (FAO, 2016). The state of São Paulo is highlighted for being the second-largest fish producer in the country (PEIXE BR, 2019). Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) is the main species produced, representing almost 95% of all fish cultivated in the state (PEIXE BR, 2019).

Environmentally sustainable aquaculture is based on the rational use of natural resources in the production process (GONÇALVES, 2017). The main characteristic of sustainable production is to assume that nature is finite. Besides, each generation should leave an inheritance of natural resources equivalent to or greater than the one that they received for the next (KIMPARA *et al.*, 2012; VALENTI *et al.*, 2018). However, the environmental externalities generated by aquaculture ecosystem are a concern for achieving sustainable development of the activity. Environmental externalities are the positives and/or negatives impacts of production on third parties that are not directly involved with the activity (MOTTA, 1997). Humans don't consume the whole farmed organisms. The remaining parts become waste and are discarded. Much of the energy and material that are provided are not incorporated by the reared organism and are embodied in these wastes (BUENO *et al.*, 2017; VALENTI *et al.*, 2018). One of the main materials used is the feed, which is not fully incorporated by the farmed organism and is absorbed by the natural biota associated with the culture, accumulated at the system as sediment, or dispersed to the surrounding environment (DAVID *et al.*, 2017a, 2017b). Therefore, failure to manage these externalities can compromise the environmental sustainability of aquatic environments.

Measuring the sustainability of the systems used, of the management techniques applied, and of the new technologies that are being generated are essential to achieve environmentally sustainable aquaculture (KIMPARA *et al.*, 2012). In this context, several researchers (ADGER, 2000; BOYD *et al.*, 2007; ODUM, 1986, 1988; PAPATRYPHON, 2004; REES & WACKERNAGEL, 1996; SCIENCEMAN, 1987; VALENTI *et al.*, 2018; WARHURST, 2002) are using different methods to evaluate the sustainability. Life-cycle assessment, emergy analysis, ecological footprint, sustainability indicators, and resilience analysis are the most used methods to measure aquaculture sustainability (KIMPARA *et al.*, 2012). Among them, the group of sustainability indicators was formulated specifically for the aquaculture systems (VALENTI *et al.*, 2018).

Environmental sustainability indicators (ESI) can also be used in the management of environmental externalities (VALENTI *et al.*, 2018). Indicators provide values that simplify a more complex phenomenon and summarize characteristics of a system in a simplified way. These indicators are combined into an index that can be used in the comparison of different systems or the same system over time (VALENTI, 2008; VALENTI *et al.*, 2018). This tool allows making short-term projections, introduces new solutions to solve current problems and helps to upgrade the aquaculture sustainability (NESS *et al.*, 2007; PROENÇA, 2013).

However, it is necessary to adapt and standardize this tool, i.e. sustainability indicators, for different aquaculture modalities and situations. Standardization is going to allow the comparison and the generation of a product, which is applicable and helps the decision-makers. This can be accomplished through *benchmarking*. *Benchmarking* is the act of comparing an organization's performance to other groups or acceptable standards (GIACOMINI, 2008; MCDUGAL, 2012). This function serves to identify the strengths and weaknesses within an operation, improving results or performance incrementally over time (MCDUGAL, 2012).

Thus, studies that allow environmental sustainability benchmarking, using information obtained through ESI, can assist managers with the evaluation of different scenarios to appraise the production efficiency. In light of the above facts, the objective of this work was to apply environmental sustainability indicators to

evaluate the environmental sustainability benchmarking of commercial farms with different production scales of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), raised in dams and reservoirs in the state of São Paulo. In this way, benchmarking will become a standard that can guide managers, producers, and environmental agencies on planning and aquaculture enterprise management, aiming for the development of sustainable and responsible aquaculture.

5. CONCLUSIONS

Through the environmental sustainability index was possible to conclude that the farms B (medium-scale) and C (small-scale) were the most environmentally sustainable. The use of indicators and index are adequate and effective to evaluate the environmental sustainability benchmarking in aquaculture. The main aspects of the system were detected, identified and quantified. It was possible to achieve a reference value for the main environmental sustainability indicators of cultures of Nile tilapia in reservoirs and dams. With the demand for methods to monitor and measure the sustainability of aquaculture in reservoirs, mainly related to environmental impacts, this tool shows great potential to meet this demand. Environmental benchmarking is a way to develop a process of constant improvement. In this way, the farms can learn with what has been done and reduce the impacts on the environment.

The environmental sustainability index and benchmarking have proven to be the way to use ESI to achieve more sustainable aquaculture. It can be an important management tool for aquaculture certification programs due to the development of reference values for the indicators. The application of this tool can improve the safety of the growth of aquaculture, once that it establishes a continuous improvement of the production with the decrease of the environmental impact. This decrease creates the prosperity of the enterprise, once that the use of the main limiting factor (natural resource) becomes increasingly efficient.

However, reliable and systematic reference indicators are required for the application of benchmarking tools. It is necessary to increase the number of enterprises that were used to achieve these averages for each indicator. In this way, the numbers obtained are going to become more reliable to the reality of production in Brazil or worldwide. Nevertheless, the methods to collect this data need to be enhanced so that they can be more accessible, and also more efficient and able to apply more constantly. The use of monitoring sensors can be an alternative to improve the use of this tool by creating big data to improve the accuracy of the indicator reference values. But the cost of sensors may be a limiting factor for their use. Studies to develop more effective techniques of data

collection and processing of this data need to be developed, to make benchmarking more accurate and achieve the best performance of this tool.

6. REFERENCES

- ADGER, W. N. (2000). Social and ecological resilience: are they related? *Progress in Human Geography*, Londres, v.24, n.3, p.347-364.
- AGRINESS (2014). *Suino.Cultura: como o Pensamento+1 pode transformar o seu negócio*. Florianópolis. 220p.
- ALMEIDA, R. (2013). Indicadores de sustentabilidade do cultivo de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em tanques-rede em um reservatório tropical. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura. Jaboticabal, 48p.
- ALMEIDA, T. F. (2017). *Lambaricultura como forma de desenvolvimento sustentável de comunidades rurais remanescentes de áreas protegidas no Brasil*. Dissertação (mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista (UNESP), São Vicente, São Paulo – Brasil. 49p.
- AOAC. (1995). *Official Methods of Analysis*, 16th ed. AOAC International, Washington, DC.
- AOAC. (2000). ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, 16th ed., v. 1, Arlington: A.O.A.C., 2000, chapter 3. p 4. (method 985.01).
- APHA. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, Washington, DC.
- BALLESTER-MOLTÓ, M.; SANCHEZ-JEREZ, P.; CEREZO-VALVERDE, J.; AGUADO-GIMÉNEZ, F. (2017). Particulate waste outflow from fish-farming cages. How much is uneaten feed? *Mar. Pollut. Bull.*, v.119, p.23-30.
- BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. (1998). *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Boston: Kluwer Academic Publishers. 700p.
- BOYD, C. E. *et al.* (2003). *Best management practices for channel catfish farming in Alabama*. Alabama: Alabama Catfish Producers, 2003. (Special report, n. 1).

- BOYD, C. E., TUCKER, C.; MCNEVIN, A.; BOSTICK, K.; CLAY, J. (2007). Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*. v.15, p.327-360.
- BRASIL. (2009). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 413, de 26 de Julho de 2009. Dispõe sobre o licenciamento ambiental da aquicultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, n. 122, 30 de junho de 2009, p.126-129.
- BUENO, G. W. (2015). Modelo bioenergético nutricional e balanço de massas para o monitoramento e estimativa de efluentes da produção comercial de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em reservatório tropical. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2015, 118p. *Tese (Tese em Ciências Animais)* - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília.
- BUENO, G. W.; BUREAU, D.; SKIPPER-HORTON, J.; ROUBACH, R.; MATTOS, F. T.; BERNAL, F. E. M. (2017). Mathematical modeling for the management of the carrying capacity of aquaculture enterprises in lakes and reservoirs. *Pesq. Agropec. Bras.* v.52, n.9, p.695-706.
- BUENO, G. W.; MARENGONI, N. G.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; BOSCOLO, W. R.; TEIXEIRA, R. A. (2008). Estado trófico e bioacumulação do fósforo total no cultivo de peixes em tanques-rede na área aquícola do reservatório de Itaipu. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, v.30, n.3, p.237-243.
- BUENO, G. W.; OSTRENSKY, A.; CANZI, C.; MATOS, F.T.; ROUBACH, R. (2015). Implementation of aquaculture parks in Federal Government waters in Brazil. *Rev. Aquac.*, v.7, n.1, p.1-12.
- CAMP, R. C. (1998). *Benchmarking: o caminho da qualidade total*. 3.ed. São Paulo: Pioneira. 250p.
- CETESB. (2009). Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo. São Paulo: SMA.
- CONAMA- Brasil (2005). Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de

- lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial [da] União: seção 1, Brasília, DF, n. 053, p.58-63, 18 mar. 2005.
- COSTA, C. M. (2019). Sustainability of Pacific Whiteleg shrimp farming according to levels of intensification. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura. Jaboticabal, 101p.
- COSTA, M.L.S.; MELO, F.P.; CORREIA, E.S. (2009). Efeitos de diferentes níveis protéicos da ração no crescimento na tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1757), variedade chitralada, criadas em tanques-rede. *Boletim do Instituto de Pesca*, v.35, n.2, p.285-294.
- DAVID, F. S.; PROENÇA, D. C.; VALENTI, W. C. (2017a). Nitrogen budget in integrated aquaculture systems with Nile tilapia and Amazon River prawn. *Aquaculture International*, v.25, n.5, p.1733-1746.
- DAVID, F. S.; PROENÇA, D. C.; VALENTI, W. C. (2017b). Phosphorus Budget in integrated multitrophic aquaculture systems with Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, and Amazon River Prawn, *Macrobrachium amazonicum*. *Journal of the World Aquaculture Society*, v.48, n.3, p.402–414.
- DUMAS, A.; FRANCE, J.; BUREAU, D. P. (2010). Modelling growth and body composition in fish nutrition: where have we been and where are we going? *Aquaculture Research*, v.41, p.161-181.
- ENGLE, C. R. (2019). Bringing aquaculture sustainability down to earth. *Journal of the World Aquaculture Society*, v.50, p.246-248. DOI: 10.1111/jwas.12609
- FAST A. W.; LESTER L. J. (1992). Marine shrimp culture: principles and practices. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*, v.23, 862p.
- FIGUEIREDO, B. R.; BORBA, R. P.; ANGÉLICA, R. S. (2007). Arsenic occurrence in Brazil and human exposure. *Environ Geochem Health*, v.29, p.109–118. <https://doi.org/10.1007/s10653-006-9074-9>
- FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION - FAO (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture. Contributing to food security and nutrition for all*. Rome, 200p.
- FURUYA, W. M.; BOTARO, D.; MACEDO, R. M. G.; SANTOS, V. G.; SILVA, L. C. R.; SILVA, T. C.; FURUYA, V. R. B.; SALES, P. J. P. (2005). Aplicação do

conceito de proteína ideal para redução dos níveis de proteína em dietas para tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, p.1433-1441.

GIACOMINI, P. (2008). Use of the dairy records database to establish benchmarks and estimates for potential economic improvements of individual herds. Proceedings of the 36th ICAR Biennial Session, ICAR Technical Series No. 13, Niagara Falls, USA, p.221-225.

GODOY, E. M. (2019). Indicadores de sustentabilidade ambiental aplicados em pisciculturas familiares produtoras de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em sistema semi-intensivo. Trabalho de Graduação (Bacharel) – Universidade Estadual Paulista, Câmpus Experimental de Registro. Registro, 46p.

GONÇALVES, F. H. A. S. B. (2017). Sustentabilidade dos sistemas de produção do lambari-do-rabo-amarelo. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura. Jaboticabal, 149p.

GILSON, F. D. A. (2019). Farm size influence on sustainability by tambatinga production in the Northeast region of Brazil. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura. Jaboticabal, 134p.

HARDY, R. W.; GATLIN, D. (2002). Nutritional strategies to reduce nutrient losses in intensive aquaculture. In: Cruz-Suárez, L. E., Rique-Marie, D., TapiaSalazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México.

HOULIHAN, D.; BOUJARD, T.; JOBLING, M. (2001). *Food Intake in Fish*. Blackwell Science, Oxford, 440p.

IPCC. (2008). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – A primer, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Miwa K., Srivastava N. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

ISLAM, M. S. (2002). Evaluation of supplementary feeds for semi-intensive pond culture of mahseer, *Tor putitora* (Hamilton). *Aquaculture*. v.212, p.263-276.

- IWAMA, G. K.; TAUTZ, A. F. (1981). A simple growth model for salmonids in hatcheries. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, v.38, p.649-656.
- JENSEN, T.; DEMPSTER, E.B.; THORSTAD, I.; UGLEM, A. F. (2010). Escapes of fishes from Norwegian sea-cage aquaculture: causes, consequences and prevention. *Aquac. Environ Interact* v.1, p.71–83.
- KIMPARA, J. M.; ZAJDBAND, A. D.; VALENTI, W. C. (2012). Métodos para medir a sustentabilidade da aquicultura. *EMBRAPA Meio Norte*. Teresina. 72p.
- LOVATTO, P. A.; LEHNEN, C. R.; ANDRETTA, I.; CARVALHO, A. D.; HAUSCHILD, L. (2007). Meta-analysis in scientific research: A methodological approach. *Brazilian Journal of Animal Science*, v.36, p.285-294.
- MATVIENKO, B.; SIKAR, E.; ROSA, L. P.; SANTOS, M. A.; FILIPPO, R.; CIMBLERIS, A. C. P. (2001). Gas release from a reservoir in the filling stage. *International association of theoretical and applied limnology - Proceedings*, v.27, n.3, p.1415–1419.
- MCDUGALL, R. (2012). Why benchmarking is important. *Proceedings of the 2012 London Swine Conference*, London, Canada, p.59-60.
- MECHI, A.; SANCHES, D. L. (2010). The Environmental Impact of Mining in the State of São Paulo. *Estudos Avançados*, v.24, n.68, p.209-220. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142010000100016>
- MICHELSEN, O. B. (1957). Photometric determination of phosphorus as molybdovanadophosphoric acid. *Analytical Chemistry*, v.29, p.60–62.
- MOTTA, R. S. (1997). Manual para valoração econômica de recursos ambientais. *IPEA/MMA*. Rio de Janeiro. 242p.
- MOURA, R. S. T.; VALENTI, W. C.; HENRY-SILVA, G. G. (2016). Sustainability of Nile tilapia netcage culture in a reservoir in a semi-arid region. *Ecol. Ind.*, v.66, p.574–582.
- NAKAMURA, M. (1957). The series of chemical experiments. *B. Chem. Soc. Jap.*, v.23, p.528-532.
- NESS, B.; URBEL-PIRSALU, E.; ANDERBERG, S.; OLSSON, L. (2007). Categorising tools for sustainability assessment. *Ecol. Econ.*, v.60, p.498–508.

- ODUM, H. T. (1986). Emergy in ecosystems. In: POLUNIN, N. (Ed.). Environmental Monographs and Symposia. New York: John Wiley. p.337-369.
- ODUM, H. T. (1988). Self-Organization, Transformity, and Information. Science, Washington, v.242, p.1132-1139.
- PAPATRYPHON, E., PETIT, J., KAUSHIK, S., VAN DER WERF, H., (2004). Environmental impact assessment salmonid feeds using life cycle assessment (LCA). *Ambio*, v.33, n.6, p.316–323.
- PEIXE BR. (2019). Anuário Peixe BR da Piscicultura 2019. Available at: <https://www.peixebr.com.br/Anuario2019/AnuarioPeixeBR2019.pdf>. Accessed in: June, 18th, 2019.
- PEREIRA, S. A. (2019). Viabilidade econômica e sustentabilidade do cultivo da macroalga *Hypnea pseudomusciformis*. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura. Jaboticabal, 69p.
- PROENÇA, D. C. (2013). Aplicação de indicadores e índices para avaliar a sustentabilidade ambiental em um sistema de aquicultura integrado e multitrófico com diferentes substratos. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura. Jaboticabal, 33p.
- REES, M.; WACKERNAGEL, W. (1996). Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable - And why they are a key to sustainability. *Environmental Impact Assessment Review*, Amsterdam, v.16, n.4-6, p.223-248.
- ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. (2007). Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia*, v.66, n.4, p.711-720. <https://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000400022>
- SCIENCEMAN, D. M. (1987) Energy and emergy. In: PILLET, G., MUROTA, T. (Ed.). Environmental economics: the analysis of a major interface. Geneva: Leimgruber, 1987. p. 257-276.
- VALENTI, W. C. (2008). A aquicultura brasileira é sustentável?. *Aquic. Pesca*, p.36-44.

- VALENTI, W.C.; KIMPARA, J.M.; PRETO, B.L.; MORAES-VALENTI, P. (2018). Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. *Ecological Indicators*. v.88, p.402-413.
- WARHURST, A., (2002). Sustainability Indicators and Sustainability Performance Management. Report to the Project: Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD). International Institute for Environment and Development (IIED). Warwick, England.
- WATANABE, W.O.; OLLA, L.B.; WICKLUND, R.I.; HEAD, W.D. (1997). Saltwater culture of the Florida Red Tilapia and other saline tolerant Tilapias: Review. In: COSTA-PIERCE, B.A.; RAKOCY, J.E. (Eds.) *Tilapia Aquaculture in the Americas*, 1st ed., Baton Rouge: *World Aquaculture Society*. p.54-141.

