



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

**INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE NA AVALIAÇÃO
DO SISTEMA DE CULTIVO DE TILÁPIA DO NILO EM
TANQUES-REDE NO RESERVATÓRIO DE SANTA CRUZ,
APODI-RN**

RODRIGO SÁVIO TEIXEIRA DE MOURA

Engenheiro de Pesca

MOSSORÓ – RN – BRASIL

DEZEMBRO – 2013

RODRIGO SÁVIO TEIXEIRA DE MOURA

INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE NA AVALIAÇÃO DO
SISTEMA DE CULTIVO DE TILÁPIA DO NILO EM TANQUES-
REDE NO RESERVATÓRIO DE SANTA CRUZ, APODI-RN

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do
Semi-Árido – UFERSA, Campus de Mossoró, como parte
das exigências para a obtenção do título de Mestre em
Ciência Animal.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva

MOSSORÓ – RN – BRASIL

DEZEMBRO – 2013

O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade de seus autores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência

M929i Moura, Rodrigo Sávio Teixeira de.

Indicadores de sustentabilidade na avaliação do sistema de cultivo de tilápia do Nilo em tanques-rede no reservatório de Santa Cruz, Apodi-RN / Rodrigo Sávio Teixeira de Moura. -- Mossoró, 2014.

95f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva.

Dissertação (Mestrado em Ciência Animal.) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pós-Graduação.

1. Aquicultura sustentável. 2. Tilápia do Nilo - Cultivo. 3. Avaliação social. 4. Impactos ambientais. 5. Modelagem da sustentabilidade. 6. Sedimentação de nutrientes. I. Título.

RN/UFERSA/BCOT /367-14

CDD (23.ed.) : 639.31

Bibliotecária: Vanessa Christiane Alves de Souza Borba
CRB-15/452

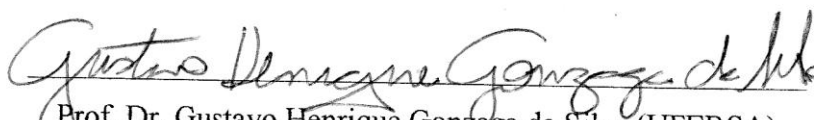
RODRIGO SÁVIO TEIXEIRA DE MOURA

INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE NA AVALIAÇÃO
DO SISTEMA DE CULTIVO DE TILÁPIA DO NILO EM
TANQUES-REDE NO RESERVATÓRIO DE SANTA CRUZ,
APODI-RN

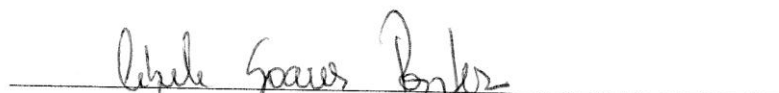
Dissertação apresentada à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus de
Mossoró, como parte das exigências para a obtenção
do título de Mestre em Ciência Animal.

APROVADA EM 19 / 12 / 13

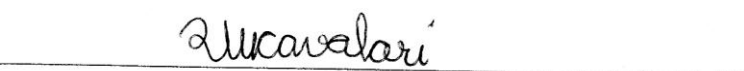
BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva (UFERSA)

Orientador


Profa. Dra. Cibele Soares Pontes (UFRN)

Primeiro Conselheiro


Prof. Dra. Virginia Maria Cavaleri Henriques (UFERSA)

Segundo Conselheiro

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

RODRIGO SÁVIO TEIXEIRA DE MOURA – Nascido na cidade de Mossoró, Rio Grande do Norte, cursou Engenharia de Pesca na UFRSA entre os anos de 2006 e 2010. Durante este período atuou principalmente em projetos de pesquisa relacionados com ecologia de ecossistemas aquáticos, com estudos em ambientes lóticos e lênticos, tratando principalmente de limnologia abiótica e estudos de comunidades de macrófitas aquáticas.

Dedico este trabalho a meus pais,
Rodrigues e Rosana, e a minha irmã, Sofia,
com todo amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva, não somente pela orientação, mas pela amizade e companheirismo durante este tempo; pelas discussões compartilhadas e os conhecimentos repassados.

À Profa. Cibele Soares Pontes e à Profa. Virginia Maria Cavalari Henriques pelas valorosas sugestões e pela disposição em adicionar conhecimentos e melhorar a qualidade deste trabalho.

Ao Prof. José Luís Costa Novaes e ao Prof. Rodrigo Fernandes pelas importantes contribuições que só vieram a enriquecer e aprimorar o andamento deste trabalho.

Ao CNPQ e o Ministério da Pesca e Aquicultura, pela concessão da bolsa e pelo apoio financeiro que possibilitou a execução e o desenvolvimento deste estudo.

Aos meus familiares, meus pais Rodrigues e Rosana, minha irmã Sofia, meus avôs e avós, tios e tias, pela compreensão e incentivo durante mais esta etapa da minha vida acadêmica. Sem vocês, nada disto teria sentido.

Aos integrantes do Laboratório de Limnologia e Qualidade de Água do Semiárido (LIMNOAQUA), Cyntia, Luiza, Eudilena, Cléo e Yuri, e ao químico do laboratório, Luís Carlos. A vocês sou grato por toda ajuda e descontração nestes anos, pelas participações tanto acadêmicas, quanto no dia-a-dia de sempre. Obrigado por estarem presentes durante esta jornada.

A todos vocês que de alguma forma contribuíram para que este estudo fosse realizado, o meu muito obrigado!

INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE NA AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE CULTIVO DE TILÁPIA DO NILO EM TANQUES-REDE NO RESERVATÓRIO DE SANTA CRUZ, APODI-RN

MOURA, Rodrigo Sávio Teixeira. **Indicadores de sustentabilidade na avaliação do sistema de cultivo de Tilápia do Nilo em tanques-rede no reservatório de Santa Cruz, Apodi-RN**. 2013. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal: Ecologia e Conservação no Semiárido) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2014.

RESUMO - O consumo mundial de pescado vem aumentando rapidamente nos últimos anos e a aquicultura contribui cada vez mais para suprir esta demanda por pescado. É importante, entretanto, estabelecer padrões e métodos para avaliar esta sustentabilidade, a fim de analisar a situação dos sistemas produtivos atualmente em uso. Os indicadores vêm a ser uma ferramenta poderosa, pois permitem obter uma visão holística do sistema produtivo, em suas dimensões ambiental, social, e econômica. Desta maneira, o objetivo deste trabalho foi avaliar a sustentabilidade do sistema de cultivo em tanques-rede desenvolvido no reservatório de Santa Cruz, Apodi/RN, nas suas vertentes ambiental, social e econômica. Para tanto foram calculadas as taxas de sedimentação de nutrientes e material particulado no reservatório, bem como foi utilizado um conjunto de 49 indicadores de sustentabilidade, que foram modelados dentro do arcabouço *Drivers-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR)*. Os resultados indicam que o sistema de cultivo é viável economicamente, gerando lucro e distribuindo renda, possibilitando assim sua permanência ao longo do tempo. Entretanto, a renda gerada beneficia poucas pessoas, e não é fixada na comunidade. Ambientalmente falando, o sistema se mostrou ineficiente no uso de recursos, em especial os nutrientes nitrogênio e fósforo, sendo boa parte destes recursos não incorporada em biomassa animal e sedimentada no reservatório. Na dimensão social o empreendimento emprega pouca mão-de-obra, gerando pouco emprego direto. Podemos perceber que a piscicultura altera as características da água do reservatório, e o conjunto de indicadores utilizado juntamente com a modelagem *DPSIR* foram capazes de refletir de maneira satisfatória estas influências.

Palavras-Chave: Aquicultura sustentável, sedimentação de nutrientes, impactos ambientais, avaliação econômica, avaliação social, modelagem da sustentabilidade

SUSTAINABILITY INDICATORS IN THE EVALUATION OF THE NILE TILAPIA CAGE GROWING SYSTEM IN THE SANTA CRUZ RESERVOIR, APODI-RN

SUMMARY - The global fish consumption has increased rapidly in recent years and aquaculture contributes increasingly to meet this demand for fish. It is important, however, to establish standards and methods to assess this sustainability in order to analyze the situation of production systems currently in use. The indicators come to be a powerful tool because it allows to obtain a holistic view of the production system in its environmental, social, and economic aspects. Thus, the aim of this study was to evaluate the sustainability of the cage farming system developed in the reservoir of Santa Cruz, Apodi-RN , on their environmental, social and economic aspects . For that were calculated the nutrients and particulate material sedimentation rates in the reservoir, and were used a set of 49 sustainability indicators which were modeled within the Drivers-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) framework. The results indicate that the culture system is economically feasible, generating profit and distributing income, thereby enabling their viability over time. However, the capital generated benefits just a few people, and it is not fixed in the community. Environmentally speaking, the system was inefficient in the use of resources, especially nitrogen and phosphorus, and most of these resources are not incorporated into biomass but sedimented in the reservoir. For the social dimension, the enterprise employs little, generating little direct employment. We realize that fish farming changes the water characteristics of the reservoir, and the indicators used along with the DPSIR modeling were able to satisfactorily reflect these influences.

Key words: sustainable aquaculture, sedimentation of nutrients, environmental impacts, economic analysis, social assessment, modeling of sustainability

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 1 - Localização do reservatório de Santa Cruz, com ênfase para a região de cultivo de tilápia do Nilo em tanques-rede.....31

Figura 2 - Taxas de sedimentação de a) amônia; b) nitrato; c) nitrito; d) nitrogênio total; e) ortofosfato; f) fósforo total; g) carbono orgânico total; h) carbono inorgânico total; e i) material particulado. Valores médios, onde barras verticais representam os respectivos desvios-padrão; médias entre parênteses.....35

CAPÍTULO III

Figura 1 - Localização do reservatório de Santa Cruz, com ênfase para a região de cultivo de tilápia do Nilo em tanques-rede.....52

Figura 2 - Triângulo da sustentabilidade para os quatro cenários modelados mais a realidade.....66

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1 - Percentual de Proteína Bruta (PB) e Fósforo (P) nas rações comerciais utilizadas no cultivo.....	32
---	----

CAPÍTULO III

Tabela 1 – Características técnicas do cultivo nos 22 tanques-rede acompanhados.....	53
--	----

Tabela 2 – Lista dos indicadores de sustentabilidade econômica, ambiental e social utilizados.....	54
--	----

Tabela 3 – Indicadores utilizados como entrada no MULINO para modelagem DPSIR.....	58
--	----

Tabela 4 – Escala de performance utilizada na classificação da sustentabilidade dos cenários modelados. (Fonte: VALENTI et al., 2008).....	59
--	----

Tabela 5 – Histórico de produção, receitas e despesas da AQUAPO.....	60
--	----

Tabela 6 – Fluxo de caixa para os anos de 2007 a 2012, considerando o capital inicial investido.....	61
--	----

Tabela 7 – Indicadores de sustentabilidade econômica.....	61
---	----

Tabela 8 – Valores médios de sedimentação de nutrientes e contribuição líquida da piscicultura. TR: Tanques-rede; CT: Controle; Contr.: Contribuição líquida dos tanques-rede; Orto: Ortofosfato; NT: Nitrogênio Total; PT: Fósforo Total; COT: Carbono orgânico total; CIT: Carbono inorgânico total.....	63
--	----

Tabela 9 – Indicadores de sustentabilidade ambiental.....	64
---	----

Tabela 10 – Indicadores de sustentabilidade social.....	65
---	----

Tabela 11 – Escores da sustentabilidade para cada dimensão considerada em cada cenário modelado mais o real e índice geral de sustentabilidade. Escores em negrito indicam o cenário mais sustentável para cada dimensão e para o índice geral. Amb: Dimensão ambiental; Soc: Dimensão social; Eco: Dimensão econômica.....	67
---	----

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO I – AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA, SOCIAL E AMBIENTAL DAS ATIVIDADES DE AQUICULTURA	
1 INTRODUÇÃO.....	14
2 USO DE INDICADORES PARA AVALIAR A SUSTENTABILIDADE DAS ATIVIDADES DE AQUICULTURA.....	17
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	22
REFERÊNCIAS.....	24
 CAPÍTULO II - INFLUÊNCIA DA CRIAÇÃO DE TILÁPIA DO NILO EM TANQUES-REDE NA SEDIMENTAÇÃO DE NUTRIENTES E MATERIAL PARTICULADO EM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO DO RIO GRANDE DO NORTE	
RESUMO.....	29
1 INTRODUÇÃO.....	29
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	30
2.2 DELINEAMENTO AMOSTRAL.....	31
2.3 ANÁLISE DOS DADOS.....	33
3 RESULTADOS.....	33
4 DISCUSSÃO.....	36

5 CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS.....	42
 CAPÍTULO III - AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DA CRIAÇÃO DE TILÁPIA DO NILO EM TANQUES-REDE EM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO DO RIO GRANDE DO NORTE	
RESUMO.....	49
1 INTRODUÇÃO.....	49
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	52
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	52
2.2 DELINEAMENTO AMOSTRAL.....	53
2.3 AVALIAÇÃO ECONÔMICA E SOCIAL.....	54
2.4 AVALIAÇÃO AMBIENTAL.....	55
2.4.1 Compartimento Peixes e Insumos.....	55
2.4.2 Compartimento Água.....	55
2.4.3 Compartimento Sedimento.....	56
2.4.4 Análises de nutrientes.....	56
2.5 MODELAGEM DPSIR.....	56
3 RESULTADOS.....	59
3.1 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA.....	59
3.2 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.....	61
3.3 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE SOCIAL.....	64
3.4 MODELAGEM DA SUSTENTABILIDADE.....	65
4 DISCUSSÃO.....	67

4.1 DIMENSÃO ECONÔMICA.....	67
4.2 DIMENSÃO AMBIENTAL.....	68
4.3 DIMENSÃO SOCIAL.....	71
4.4 MODELAGEM DA SUSTENTABILIDADE.....	73
 5 CONCLUSÃO.....	 74
 REFERÊNCIAS.....	 75
 ANEXO I - INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA.....	 83
 ANEXO II - INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.....	 87
 ANEXO III - INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE SOCIAL.....	 91

ESTRUTURAÇÃO DOS CAPÍTULOS

O primeiro capítulo intitulado “**Avaliação da sustentabilidade econômica, social e ambiental das atividades de aquicultura**” trata de uma introdução geral ao tema. Em um primeiro momento são abordados aspectos relacionados ao uso de recursos hídricos e as alterações provocadas pela atividade de piscicultura nos ambientes aquáticos, bem como são discutidas questões de sustentabilidade e ferramentas que visem sua avaliação e quantificação. Em um segundo momento é apresentado uma revisão de literatura sobre o uso de indicadores na avaliação da sustentabilidade em aquicultura.

Os capítulos II e III são referentes à avaliação efetuada sobre o reservatório de Santa Cruz e a produção de Tilápias-do-Nilo em tanques-rede instalada neste reservatório. Toda a avaliação foi feita durante o ano de 2012.

O segundo capítulo intitulado “**Influência da criação de tilápia do Nilo em tanques-rede na sedimentação de nutrientes e material particulado em reservatório do semiárido do Rio Grande do Norte**” teve como objetivo avaliar a influência da produção de peixes em tanques-redes nas taxas de sedimentação de nutrientes e material particulado no reservatório de Santa Cruz. Para tanto foram instalados câmaras de sedimentação em baixo dos tanques rede e em área afastada do cultivo (controle), durante um ciclo de cultivo, a fim de se acompanhar a influência durante todas as fases de produção no reservatório.

O terceiro capítulo intitulado “**Avaliação da sustentabilidade da criação de tilápia do Nilo em tanques-rede em reservatório do semiárido brasileiro**” teve como objetivos avaliar a sustentabilidade do sistema de produção de tilápias em tanques-rede no reservatório de Santa Cruz, nas suas dimensões ambiental, social e econômica; bem como verificar se um conjunto de indicadores selecionados e o modelo conceitual *Drivers-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR)* são adequados para avaliar a sustentabilidade deste sistema de produção. Neste sentido, foi selecionado um conjunto de 49 indicadores de sustentabilidade englobando os três pilares da sustentabilidade. Os indicadores foram então calculados com base no sistema produtivo em questão, através do levantamento dos dados necessários durante o acompanhamento de um ciclo de produção. Os indicadores foram ainda utilizados para abastecer o modelo *DPSIR*, implementado no *software* MULINO, a fim de se comparar a sustentabilidade do atual sistema de produção praticado no reservatório com quatro cenários hipotéticos, com diferentes densidades de estocagem, a saber, 125, 150, 175 e 225 ind./m³.

CAPÍTULO I – AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA, SOCIAL E AMBIENTAL DAS ATIVIDADES DE AQUICULTURA

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento exponencial da população humana, a demanda por água tem sido incrementada em grandes níveis, não somente para suas necessidades básicas (abastecimento), mas também para outros fins, como industrial, recreativo e para atividades agrícolas. Nas regiões semiáridas tropicais, a escassez e irregularidade da pluviometria, juntamente com a ocorrência de elevadas taxas de evaporação provocam a perda de grande parte da água superficial, causando a intermitência de quase toda a rede hídrica, o que constitui um severo problema para a captação e armazenamento desse recurso (SOUSA, 2007). Neste contexto, a construção de barragens e reservatórios é uma das principais pressões antrópicas que os cursos de água no Brasil estão submetidos. Entretanto, o barramento de um curso de água promove mudanças no ecossistema tanto a jusante quanto a montante do trecho interrompido (WARD; STANFORD, 1983). Vale salientar ainda que estas mudanças não se limitam à dimensão ambiental dentro do reservatório, atingindo também os aspectos sociais e econômicos.

A construção destes reservatórios vem auxiliando a suprir uma demanda da população por melhores fontes de proteína animal (DEMIRAK et al., 2006), em especial com o consumo de pescado. Para acompanhar esta crescente demanda por pescados, o cultivo de organismos aquáticos em cativeiro tem aumentado significativamente ao longo dos anos. Nos anos 80, a aquicultura era responsável por aproximadamente 9% do suprimento de pescados a nível mundial (91% era suprido pela pesca extrativa), passando a representar 47% do total de pescado produzido em 2006 no mundo (FAO, 2007; FAO, 2009). Crescendo 43,8% entre 2007 e 2009 e apresentando o maior crescimento anual médio (6,9%) dentre todos os setores da produção animal (FAO, 2009; MPA, 2010). Apesar do rápido crescimento da aquicultura ao redor do mundo, este crescimento parece estar sendo limitado por questões de sustentabilidade.

As políticas públicas atualmente visam promover o crescimento e expansão do setor aquícola brasileiro, em especial no que se trata da criação de peixes em tanques-rede. Contudo, por ser uma atividade intensiva, a mesma depende de uma enorme quantidade de insumos e os impactos negativos sobre o ecossistema são crescentes, dado o nível de intensificação (HENRY-SILVA; CAMARGO, 2008). Dentre os impactos negativos produzidos pela aquicultura, podemos destacar alterações nas comunidades biológicas, no solo e na qualidade de água do corpo hídrico que recebe os efluentes da atividade (ELER; MILLANI, 2007). Estes impactos, juntamente com as características do ecossistema aquático no qual a atividade está inserida determinam o quanto a produção pode ser incrementada sem comprometer os usos múltiplos do sistema.

A eutrofização em lagos e reservatórios é um dos principais problemas na gestão de águas ao redor do mundo (KUO et al., 2006), e a aquicultura, nos moldes atuais pode ser mais um fator de aceleração deste processo. Os efluentes de aquicultura normalmente são ricos em compostos fosfatados e nitrogenados, além de contribuírem fortemente com o aumento do material particulado, matéria orgânica, e a diminuição nos níveis de oxigênio dissolvido no ambiente aquático (PILLAY, 1992; MCGHIE et al., 2000). Este cenário é ainda mais severo em ecossistemas semiáridos, uma vez que estes estão localizados em regiões com escassez de água, e um elevado tempo de retenção, fatores que favorecem o acúmulo e concentração de poluentes (PEDRO, 2003). Assim, por ser uma atividade cuja expansão implica em uma possível maior degradação dos ambientes aquáticos (BEVERIDGE, 1994), faz-se necessário que a atividade seja desenvolvida sob práticas sustentáveis.

O termo “sustentabilidade”, ou “desenvolvimento sustentável” é muitas vezes usado sem sentido definido e demasiado simplista, mas é um conceito muito mais complexo. A sustentabilidade é um conceito que visa garantir um ambiente habitável para todos, e que se mantenha em longo prazo. Um dos primeiros conceitos de desenvolvimento sustentável foi definido como sendo o desenvolvimento que supre as necessidades presentes sem comprometer a habilidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades (WCED, 1987). Dois anos depois, em torno de 140 outras definições de sustentabilidade foram propostas (JOHNSTON et al., 2007), fato que evidencia como este documento foi um marco no estudo da sustentabilidade.

É importante ainda compreender que embora muitas vezes o termo sustentabilidade seja utilizado em relação a ações ambientalmente responsáveis, o desenvolvimento sustentável não

se limita apenas à dimensão ambiental. Mais do que isso, a sustentabilidade deve-se apoiar em pelo menos três pilares, sendo eles representados pelas dimensões econômica, ambiental e social (FRANKIC; HERSHNER, 2003). Desse modo podemos considerar um sistema produtivo como sustentável quando o mesmo se desenvolve sob três pilares: a) produção economicamente viável, b) ambientalmente não degradante; e c) socialmente benéfica (VALENTI, 2002). Assim, uma produção economicamente sustentável deve possuir uma cadeia produtiva consolidada e ter ações desenvolvidas pelos setores privados e governamentais. Ambientalmente a produção será sustentável se o manejo aplicado minimizar as perdas de biodiversidade local e minimizar o aporte de poluentes aos corpos hídricos. Já na dimensão social, o sistema produtivo deve ser capaz de gerar empregos e renda para a população local, sempre melhorando a qualidade de vida das pessoas envolvidas (VALENTI, 2008).

O estabelecimento de instrumentos adequados para avaliação da sustentabilidade ainda é um dos desafios na busca pelo desenvolvimento sustentável (POLAZ; TEIXEIRA, 2009). Os esforços no sentido do desenvolvimento de ferramentas que fossem capazes de mensurar a real sustentabilidade de um sistema foram alavancados após a publicação do “*Our Common Future*”, no ano de 1987 (ROTH et al., 2000). Percebe-se então a importância de se medir a sustentabilidade dos sistemas produtivos, no sentido da busca pelo desenvolvimento sustentável. Dentre as ferramentas aplicadas para medir a sustentabilidade na aquicultura, podemos citar: a) a análise emergética (ODUM, 1986); b) a pegada ecológica (REES; WACKERNAGEL, 1994); c) a análise do ciclo de vida (ISO, 2003); d) a análise da resiliência; e e) a utilização de conjuntos de indicadores.

Neste contexto surgem os indicadores, que podem ser entendidos como uma medida ou componente do sistema do qual as conclusões sobre certo fenômeno podem ser inferidas (HEINK; KOWARIK, 2010), sendo que a principal vantagem no uso de indicadores é que estes transformam dados técnicos e complexos em informações sintetizadas e mais simples (CALIJURI et al., 2009). Em um sistema de produção aquícola, a sustentabilidade deve ser avaliada para garantir que aquele sistema de produção seja capaz de gerar lucros, melhorias sociais e ser ambientalmente correto. Em sistemas aquícolas foram propostos diversos conjuntos de indicadores (DALSGAARD et al., 1995; DALSGAARD; OFICIAL, 1997; TIPRAQSA et al., 2007) que se propõe a avaliar o nível de sustentabilidade dos sistemas nos termos ambiental, social e econômico.

Mais recentemente, o arcabouço teórico e modelo conceitual DPSIR (*Drivers-Pressure-State-Impact-Response*) permitiu agregar informações de diversos indicadores, juntamente com informações gerenciais como políticas públicas e sistemas de gestão aplicados à aquicultura, se tornando assim um modelo conceitual capaz de determinar e expressar os impactos de um sistema aquícola. Sendo um método de avaliação ambiental integrada, o DPSIR é capaz de fornecer informações sobre as interações econômicas, sociais e ambientais do sistema analisado e ainda apontar ações de manejo e gestão para mitigar os impactos produzidos pelo sistema em questão (NOBRE, 2009; NOBRE et al., 2010).

2 USO DE INDICADORES PARA AVALIAR A SUSTENTABILIDADE DAS ATIVIDADES DE AQUICULTURA

Entre os métodos para mensuração da sustentabilidade, os conjuntos de indicadores vêm sendo amplamente utilizados em aquicultura. Estes indicadores são ferramentas poderosas na análise da sustentabilidade, uma vez que proporcionam uma visão holística do sistema analisado através da avaliação de informações fracionadas (KIMPARA et al., 2010). De modo que este método de avaliação vem sendo utilizado em aquicultura de forma satisfatória em várias partes do mundo.

Na região das Filipinas, DALSGAARD et al. (1995) estudaram quatro modelos de fazendas de arroz, sendo que elas cultivavam: (i) somente arroz; (ii) arroz e peixes; (iii) arroz, frutas, vegetais, cereais e gado; e (iv) arroz, peixes, frutas, vegetais, cereais, gado e grama. Estes 4 modelos tiveram a sua sustentabilidade ambiental avaliada com base em quatro indicadores ecológicos, sendo eles (i) diversidade, medida pelo índice de Shannon; (ii) Ciclicidade, medida pelo índice de Shannon; (iii) estabilidade, medida pela quantificação da sobrecarga do sistema; e (iv) capacidade, medida pela razão entre a produção em biomassa e os recursos naturais utilizados pelo sistema. O sistema de cultivo apenas de arroz foi o menos sustentável dos quatro, apresentando uma classificação geral de sustentabilidade baixa, e os quatro indicadores tiveram performance também baixa. Por outro lado, o sistema de cultivo de arroz, peixes, frutas, vegetais, cereais, gado e grama foi classificado como o mais sustentável dos sistemas estudados, apresentando as performances dos indicadores diversidade, ciclicidade, estabilidade e capacidade classificadas como alta. Assim, percebemos que o

sistema mais sustentável foi aquele em que os recursos eram compartilhados e integrados entre as culturas, e ao mesmo tempo o sistema demandava poucos recursos internos.

Alguns anos mais tarde, DALSGAARD e OFICIAL (1997) continuaram a estudar os sistemas de produção de arroz nas Filipinas. Considerando quatro sistemas de produção, abrangendo desde (i) monocultivo de arroz; (ii) cultivo diversificado (arroz, aquicultura, pecuária); e (iii) o cultivo integrado, um sistema semelhante ao sistema de cultivo diversificado, com a particularidade que neste sistema integrado os recursos são compartilhados entre os componentes do sistema. Para avaliar a sustentabilidade dos sistemas em questão foi elaborado um conjunto de 11 indicadores agroecológicos, dentre eles riqueza de espécies, produtividade do sistema, ciclagem de nutrientes e o balanço de massas. Para complementar o escopo dos indicadores, dois indicadores agroeconômicos foram adicionados ao conjunto inicial, sendo eles a margem de lucro bruta e o retorno do capital para a mão-de-obra. Assim, os resultados obtidos mostram que quanto maior o grau de diversificação e integração na produção, maior era a sustentabilidade total do sistema, indicando que imitar a estrutura e função ecossistêmica dentro de um sistema de produção agrário tende a beneficiar ambos os lados, tanto o ambiental, quanto o agrônomo.

Na região sudeste dos Estados Unidos da América, CAFFEY et al. (2001) realizaram uma ampla pesquisa em bases Delphi, envolvendo mais de 100 participantes. Este tipo de metodologia de pesquisa visa desenvolver opiniões consensuais em um grupo de especialistas, de maneira conjunta. A partir desta abordagem se almejou um consenso na escolha de indicadores de sustentabilidade na aquicultura, que fossem capazes de refletir as três dimensões da sustentabilidade (econômica, ambiental e social). Ao término da pesquisa foi elaborado um conjunto de 31 indicadores, sendo 12 da dimensão ambiental, 10 da econômica e 9 da social. Dentre as dimensões dos indicadores, foi consenso que a dimensão econômica era a mais importante na avaliação da sustentabilidade de um sistema de produção, seguida pela dimensão ambiental, e finalmente pela dimensão social. Os indicadores econômicos estavam mais relacionados com o lucro, os riscos, a eficiência financeira e aspectos do mercado. Já os indicadores ambientais refletiam aspectos como o uso dos recursos naturais e no potencial de poluição dos empreendimentos. Por fim, os indicadores sociais estiveram relacionados principalmente com a disponibilidade de empregos, as taxas de compensação social, os benefícios sociais e os níveis de segurança no trabalho.

GONZÁLEZ et al. (2003), estudando a sustentabilidade de fazendas de camarão na região de Sonora, no México, aplicou um conjunto de 17 indicadores, onde 12 deles foram extraídos e modificados do conjunto de 130 indicadores de desenvolvimento sustentável propostos e publicados pelas Nações Unidas (UN, 1995). Os outros cinco indicadores foram desenvolvidos pelos autores, especificamente para o cultivo semi-intensivo de camarão marinho em Sonora, México. Ao final do cálculo dos indicadores, um índice geral de sustentabilidade foi criado, a fim de resumir os resultados de todos os indicadores em um único parâmetro. O índice de sustentabilidade é igual a soma algébrica das performances (escala de 0 a 5) de todos os indicadores considerados. No estudo foi mostrado que no âmbito econômico estes estabelecimentos foram menos sustentáveis, em parte devido aos altos impostos aplicados sobre a atividade na região. Dessa maneira, fica evidente a importância do uso de conjuntos de indicadores na avaliação da sustentabilidade da aquicultura a nível mundial.

Os fatores que determinam a viabilidade econômica da aquicultura, de uma maneira geral são a equidade social e os impactos ambientais gerados pela atividade, e foi com base nestes fatores que BERGQUIST (2007) realizou seu estudo, a fim de elucidar as diferenças locais e regionais entre a aquicultura no Sri Lanka e nas Filipinas. No Sri Lanka, o cultivo intensivo de camarão é a prática mais comum, enquanto que nas Filipinas, o sistema mais comum é o policultivo extensivo de peixe com camarão. Para tanto foi elaborado um conjunto de 29 indicadores que envolviam aspectos técnicos (12), ambientais (5), institucionais (6) e socioeconômicos (6). Os resultados indicaram que a diferença mais significativa é o nível de participação da população local. Nas Filipinas, a maioria das pessoas envolvidas na aquicultura é local, enquanto que em Sri Lanka, menos da metade são locais. Nas fazendas do Sri Lanka foi observada uma grande demanda por recursos naturais, enquanto nas Filipinas esta demanda foi reduzida. Assim, a aquicultura nas Filipinas parece estar em um cenário muito mais próximo da sustentabilidade do que na região do Sri Lanka, tanto em termos ambientais quanto em termos socioeconômicos.

Frequentemente a dimensão mais avaliada da sustentabilidade é a ambiental, principalmente devido às evidências dos impactos ambientais causados pela atividade de aquicultura. Pensando na mitigação destes impactos, BOYD et al. (2007) desenvolveram um conjunto de indicadores de sustentabilidade ambiental pensando nas espécies mais cultivadas no mundo, desde peixes como truta e salmão, até camarões marinhos. De uma maneira geral

os autores percebem que a utilização de boas práticas de manejo em aquicultura por si só já representa uma grande amenização dos impactos causados pela atividade ao meio ambiente. Pensando nisso, o conjunto de indicadores foi composto de: (i) sete indicadores de uso dos insumos, abrangendo fatores como índice de conversão alimentar, e a composição bromatológica das rações utilizadas; (ii) dois indicadores de uso da água, abrangendo fatores como volume de água utilizado para produção, e o custo desta água; (iii) um indicador de uso da terra, sendo expresso pela quantidade de terra utilizada por unidade de produção; (iv) dois indicadores do uso dos nutrientes, sendo expressos pela quantidade de nitrogênio utilizada e pela quantidade de nitrogênio recuperada pelo sistema; (v) dois indicadores de materiais limitantes, sendo expressos como a quantidade de carbonato de cálcio utilizada para a produção; (vi) dois indicadores de uso energético, expressos pela energia elétrica utilizada para o funcionamento dos aeradores e das bombas de água; e (vii) quatro indicadores da geração de resíduos; abrangendo fatores como a quantidade de resíduos gerada por unidade de produção ou de tempo. Assim, estes 20 indicadores desenvolvidos são uma ferramenta de ampla aplicação em aquicultura, podendo ser utilizada em diferentes escalas temporais e de produção. Estes fatores confirmam a eficácia dos indicadores e a sua possibilidade de comparação entre diferentes sistemas de cultivo.

Conjuntos de indicadores são uma ferramenta valiosa, uma vez que permitem uma avaliação mais holística do sistema de produção, bem como refletem aspectos intrínsecos do sistema. De modo que com base nesses indicadores é possível se estabelecer planejamentos que norteiem o sistema de produção para um cenário mais sustentável. Pensando nisso, GIBBS (2007) propôs um conjunto de indicadores para avaliação da sustentabilidade ambiental de sistemas de cultivo suspenso de moluscos bivalves. Para o autor, os indicadores de sustentabilidade ambiental devem trazer como resposta a capacidade de carreamento do ambiente adjacente ao cultivo, bem como o tamanho da população cultivada que pode ser suportada pelo ambiente sem comprometer os processos ecológicos, populações ou comunidades. Assim, através de uma pesquisa na literatura especializada sobre as interações entre o cultivo suspenso de bivalves e o ambiente adjacente, o autor propôs um conjunto de 4 indicadores ambientais, específicos para o cultivo suspenso de bivalves. Aplicando este conjunto a um sistema de cultivo de bivalves na Nova Zelândia, foi percebido que apesar de os indicadores fornecerem uma resposta útil e de suma importância na avaliação do sistema de produção, deve-se tomar cuidado com a seleção dos mesmos, a fim de se evitar indicadores

de difícil mensuração, ou que dois ou mais indicadores reflitam um mesmo aspecto do cultivo, tornando-os ambíguos.

Na região nordeste da Tailândia, TIPRAQSA et al. (2007) avaliaram diversos sistemas de produção agrários, com foco na integração dos recursos em sistemas multifuncionais. O estudo procurou avaliar os quatro princípios fundamentais da agricultura integrada na Tailândia, sendo eles: (i) funções de segurança alimentar, considerando que a integração dos recursos aumenta a disponibilidade de alimento para a comunidade; (ii) funções ambientais, considerando que a integração de recursos aumenta a qualidade dos próprios recursos (solo, água); (iii) funções econômicas: considerando que a integração dos recursos aumenta o retorno econômico da atividade; e (iv) funções sociais, considerando que a integração dos recursos é uma prática bem aceita na comunidade local. Para tanto os autores selecionaram fazendas com cultivo integrado de peixes com arroz e outros vegetais, bem como fazendas com cultivo unicamente de arroz e outros vegetais, e as compararam com base em sete indicadores de sustentabilidade que refletiam os aspectos relacionados às quatro dimensões consideradas. A comparação evidenciou que os sistemas integrados elevam a segurança alimentar, aumentam a gama de recursos, geram maiores retornos econômicos, e suprem melhor as necessidades sociais.

O uso de indicadores tem se mostrado versátil, podendo ser aplicado como ferramenta principal em uma avaliação de sustentabilidade, bem como pode ser utilizado como ferramenta secundária, no intuito de fornecer informações complementares, que auxiliem na avaliação geral da sustentabilidade do sistema de produção. Trabalhos como o de KRUSE et al. (2009) demonstram bem esta possibilidade. Neste trabalho, os autores utilizaram um conjunto de indicadores socioeconômicos para auxiliar na avaliação da sustentabilidade de sistemas de produção de salmão. A ferramenta de avaliação principal foi a Análise do Ciclo de Vida (ISO, 2003). Assim, foi definido um conjunto de 27 indicadores. Os indicadores foram selecionados de acordo com 3 critérios, sendo eles: relevância, exequibilidade e solidez. Vale salientar ainda que a seleção dos indicadores levou em consideração duas perspectivas diferentes, agregando tanto indicadores de valor social para a comunidade local quanto indicadores que refletem os interesses da indústria e dos envolvidos na atividade. Ao longo do desenvolvimento dos indicadores ficou ainda claro a necessidade de se estudar melhor o macro cenário da atividade, pois o que é bom para os envolvidos no cultivo pode não ser bom para o meio ambiente, ou mesmo para a comunidade local. Do mesmo modo,

deve-se ter cuidado ao avaliar se o uso de trabalho manual, onde o local de trabalho não ofereça uma condição mínima satisfatória, é mais sustentável do que o uso de máquinas, que vão aumentar a emissão de gases do efeito estufa. Dessa forma, percebemos que o desenvolvimento e escolha de um conjunto representativo e equilibrado de indicadores requer cuidado e pesquisa intensa, sobretudo nestas interações entre os fatores envolvidos.

Na França, REY-VALETTE et al. (2008) propuseram uma metodologia de avaliação da sustentabilidade na aquicultura. Esta metodologia se baseava na co-construção de indicadores de sustentabilidade, onde um grupo com diversos representantes do setor desenvolvem, selecionam e validam um conjunto de indicadores. A fundamentação básica da construção de indicadores segue a proposta PCI (Princípios, Critérios, e Indicadores). Esta metodologia tem por finalidade permitir que os indicadores certos sejam escolhidos com base nas combinações de indicadores, que podem ser adaptadas para cada cenário. Alguns anos depois REY-VALETTE et al. (2010) propõem uma abordagem para a co-construção dos indicadores de sustentabilidade na aquicultura. Nesta abordagem, seguindo a metodologia PCI, o importante é reunir os conhecimentos dos diversos atores do setor aquícola. Dessa forma, a metodologia PCI permite uma ampla gama de aplicações, deixando os tomadores de decisão livre a respeito dos princípios e critérios empregados, bem como dos indicadores escolhidos para uso.

Na África do Sul NOBRE et al. (2010) avaliaram a sustentabilidade de uma fazenda de cultivo de abalone sob a ótica do arcabouço *DPSIR*. Nesta avaliação foram selecionados indicadores ambientais, sociais e econômicos que pudessem refletir a sustentabilidade do sistema produtivo. Foram construídos então dois cenários hipotéticos, considerando a integração do cultivo de abalone com o cultivo integrado de algas marinhas, em duas densidades de estocagem. Os indicadores foram estimados para os cenários hipotéticos e todas as informações fizeram parte do modelo. A modelagem possibilitou a constatação de que o cultivo integrado de abalone com algas marinhas trazia não somente benefícios econômicos, como era socialmente mais benéfica e ambientalmente menos degradante.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As discussões sobre as questões que envolvem a promoção e manutenção de um desenvolvimento sustentável em sistemas produtivos vêm se intensificando nos últimos anos. Nas mais diversas áreas da indústria tanto os gestores e administradores quanto os consumidores estão cada vez mais preocupados não somente com o produto que está sendo produzido, mas com o modo como ele é produzido, e para a aquicultura não é diferente. Neste sentido, esforços vêm sido empregados não somente na mitigação dos impactos negativos e elevação dos benefícios da atividade como também na avaliação global da sustentabilidade destes sistemas.

As técnicas de avaliação da sustentabilidade utilizadas em aquicultura atualmente tendem a ser unilaterais, com sua avaliação fundamentada em apenas um dos pilares da sustentabilidade, deixando de lado as demais dimensões. Isto constitui um problema uma vez que nenhum sistema produtivo pode ser enxergado de forma unidimensional, pois estão inseridos em uma conjuntura muito mais complexa, onde uma dimensão pode (e costuma) afetar as outras dimensões. Os estudos em aquicultura parecem se pautar basicamente em termos ambientais e econômicos de forma isolada, não considerando a interação destes fatores, e raramente levando em consideração os custos e benefícios sociais envolvidos na atividade. Dessa forma, ferramentas de avaliação multifacetadas, que promovam uma visão holística do sistema em várias das suas dimensões é o tipo de avaliação que permite um melhor entendimento da real condição de sustentabilidade ou insustentabilidade da atividade.

Torna-se necessário uma concentração dos esforços em termos de se entender o sistema aquícola sob uma ótica macroscópica, bem como conhecer e a sinergia entre suas dimensões. O uso de indicadores, dentre todas as ferramentas disponíveis parece ser a mais flexível e maleável nestes termos, por permitir ao avaliador conhecer o estado global de sustentabilidade de um sistema através do conhecimento de vários aspectos chave divididos em dimensões bem definidas. Este tipo de avaliação não só permite um entendimento global da atividade, como permite a identificação das relações entre as dimensões, inclusive permitindo a identificação dos fatores críticos para a sustentabilidade para o sistema em estudo.

Assim, o uso de indicadores de sustentabilidade na avaliação sistêmica em aquicultura parece ser o caminho a se seguir no entendimento da estrutura e funcionamento destes sistemas produtivos e suas relações com o meio ambiente e a comunidade. No presente estudo foi aplicado e avaliado um conjunto de indicadores formulado por diversos pesquisadores a nível nacional, e está, portanto vinculado a um projeto maior, que visa estabelecer uma rede

nacional de avaliação da sustentabilidade da aquicultura brasileira. Estão sendo avaliados por esta rede 22 diferentes sistemas de cultivo em diferentes regiões do Brasil, utilizando um conjunto de indicadores em comum.

REFERÊNCIAS

BERGQUIST, D. A. Sustainability and local people's participation in coastal aquaculture: regional differences and historical experiences in Sri Lanka and the Philippines. *Environmental Management*, v.40, p.787-802, 2007.

BEVERIDGE, M. C. M.; ROSS, L. G.; KELLY, L. A. Aquaculture and biodiversity. *Ambio.*, v.23, n.8, p.497-502, 1994.

BOYD, C. E.; TUCKER, C.; MCNEVIN, A.; BOSTICK, K.; CLAY, J. Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, v.15, p.327-360, 2007.

CAFFEY, R. H.; KAZMIERCZAK, R. F.; AVAULT, J. W. *Developing consensus indicators of sustainability for south-eastern united states aquaculture*. Louisiana State University, Agricultural Center, Bulletin, 879, 40 p., 2001.

CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; CAMARGO, R. A. et al. Estudo de indicadores de saúde ambiental e de saneamento em cidade do Norte do Brasil. *Engenharia Sanitária & Ambiental*, v.14, n.1, p.19-28, 2009.

DALSGAARD, J. P. T.; LIGHTFOOT, C.; CHRISTENSEN, B. Towards quantification of ecological sustainability in farming systems analysis. *Ecological Engineering*, v.4, p.181-189, 1995.

DALSGAARD, J. P. T.; OFICIAL, R. T. A quantitative approach for assessing the productive performance and ecological contributions of smallholder farms. *Agricultural Systems*, v.55, n.4, p.503-533, 1997.

DEMIRAK, A.; BALCI, A.; TÜFEKÇİ, M. Environmental impact of the marine aquaculture in Güllük Bay, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, v.123, p.1-12, 2006.

ELER, M. N.; MILANI, T. J. Métodos de estudos de sustentabilidade aplicados a aquicultura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, p.33-44, 2007.

FAO (Fisheries and Aquaculture Department). *Fishstat plus*: universal software for fishery statistical time series. Aquaculture production: quantities 1950-2005, Aquaculture production: values 1984-2005; Capture production: 1950-2005. Fisheries Department, Fishery Information Data and Statistics Unit. Rome, 2007.

FAO (Fisheries and Aquaculture Department). *The State of World Fisheries and Aquaculture - 2008 (SOFIA)*. Fisheries and Aquaculture Department, 2009. 176 p.

FRANKIC, A.; HERSHNER, C. Sustainable aquaculture: developing the promise of aquaculture. *Aquaculture International*, v.11, p.517-530, 2003.

GIBBS, M. T. Sustainability performance indicators for suspended bivalve aquaculture activities. *Ecological Indicators*, v.7, p.94-107, 2007.

GONZÁLEZ, O. H. A.; BELTRÁN, L. F.; CÁCERES-MARTÍNEZ, C.; RAMÍREZ, H.; HERNÁNDEZ-VAZQUEZ, S.; TROYO-DIEGUEZ, E.; ORTEGA-RUBIO, A. Sustainability development analysis of semi-intensive shrimp farms in Sonora, México. *Sustainable Development*, v.11, p.213-222, 2003.

HEINK, U.; KOWARIK, I. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, v.10, p.584-593, 2010.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Impacto das atividades de aquicultura e sistemas de tratamento de efluentes com macrófitas aquáticas – relato de caso. *Boletim do Instituto de Pesca*, v.34, n.1, p.163-173, 2008.

ISO. 2003. *ISO 14041*. International Organization for Standardization, Geneva, Suíça. Disponível em: <http://www.iso.org>. Acesso em 22 de Junho de 2011.

JOHNSTON, P.; EVERARD, M.; SANTILLO, D.; ROBÈRT, KARL-HENRIK. Reclaiming the definition of sustainability. *Environmental Science & Pollution Research*, v.14, n.1, p.60-66, 2007.

KIMPARA, J. M.; ZADJBAND, A. D.; VALENTI, W. C. Medindo a sustentabilidade na aquicultura. *Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia*, v.38, n.2, 2010.

KRUSE, S. A.; FLYSJÖ, A.; KASPERCZYK, N.; SCHOLZ, A. J. Socioeconomic indicators as a complement to life cycle assessment – an application to salmon production systems. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v.14, p.8-18, 2009.

KUO, JAN-TAI; LUNG, WU-SENG; YANG, CHOU-PING; LIU, WEN-CHENG; YANG, MING-DER; TANG, TAI-SHAN. Eutrophication modelling of reservoirs in Taiwan. *Environmental Modelling & Software*, v.21, p.829-844, 2006.

MCGHIE, T. K.; CRAWFORD, C. M.; MITCHELL, I. M.; O'BRIEN, D. The degradation of fish-cage waste in sediments during fallowing. *Aquaculture*, v.187, p. 351-366, 2000.

MPA (Ministério da Pesca e Aquicultura). *Produção pesqueira e aquícola: estatística 2008 e 2009*. Ministério da Pesca e Aquicultura, 2010. 29 p.

NOBRE, A. M. An ecological and economic assessment methodology for coastal ecosystem management. *Environmental Management*, v.44, p.185-204, 2009.

NOBRE, A. M.; ROBERTSON-ANDERSSON, D.; NEORI, A.; SANKAR, K. Ecological-economic assessment of aquaculture options: comparison between abalone monoculture and integrated multi-trophic aquaculture of abalone and seaweeds. *Aquaculture*, v.306, p.116-126, 2010.

ODUM, H. T. Emergy in ecosystems. In: POLUNIN, N. (Ed.). *Environmental Monographs and Symposia*. New York: John Wiley, 1986. p. 337–369.

PEDRO, F. 2003. *Ciclo hidrológico e dinâmica de dois rios intermitentes da região semi-árida do Brasil, com ênfase em macrófitas aquáticas*. 2003. 116 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2003.

PILLAY, T. V. R. *Aquaculture and the environment*. Londres: Fishing News Books, 1992. 189p.

POLAZ, C. N. M.; TEIXEIRA, B. A. N. Indicadores de sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos: um estudo para São Carlos (SP). *Engenharia Sanitária & Ambiental*, v.14, n.3, p.411-420, 2009.

REES, W. E.; WACKERNAGEL, M. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: measuring the natural capital requirements of the human economy. In: JANSSON, A. M.; HAMMER, M.; FOLKE, C.; COSTANZA, R. (Eds.). *Investing in Natural Capital: the Ecological Economics Approach to Sustainability*. Washington: Island Press, 1994. p. 362-389.

REY-VALETTE, H.; CLÉMENT, O.; AUBIN, J.; MATHÉ, S.; CHIA, E.; LEGENDRE, M.; CARUSO, D.; MIKOLASEK, O.; BLANCHETON, J. P.; SLEMBROUCK, J.; BARUTHIO, A.; RENÉ, F.; LEVANG, P.; MORRISENS, P.; LAZARD, J. *Guide to co-construction of sustainable development indicators in aquaculture*. Montpellier: EVAD, 2008. 144 p.

REY-VALETTE, H.; CLÉMENT, O.; AUBIN, J.; MATHÉ, S.; CHIA, E.; LEGENDRE, M.; CARUSO, D.; MIKOLASEK, O.; BLANCHETON, J. P.; SLEMBROUCK, J.; BARUTHIO, A.; RENÉ, F.; LEVANG, P.; MORRISENS, P.; LAZARD, J. *An approach to co-construct sustainable development indicators in aquaculture*. Montpellier: EVAD, 2010. 17 p.

ROTH, E.; ROSENTHAL, H.; BURBRIDGE, P. A discussion of the use of the sustainability index: “ecological footprint” for aquaculture production. *Aquatic Living Resources*, v.13, p.461-469, 2000.

SOUSA, W. *Comunidades zooplanctônicas como bioindicadores da qualidade da água de quatro reservatórios da região semi-árida do Rio Grande do Norte*. 2007. 400f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2007.

TIPRAQSA, P.; CRASWELL, E. T.; NOBLE, A. D.; SCHMIDT-VOIGT, D. Resource integration for multiple benefits: Multifunctionality of integrated farming systems in Northeast Thailand. *Agricultural Systems*, v.94, p.694–703, 2007.

UN (United Nations). Indicators of sustainable development. UN Department for Policy Coordination and Sustainable Development. Division for Sustainable Development, 1995.

VALENTI, W. C. *A aquicultura Brasileira é sustentável?* Palestra apresentada durante o IV Seminário Internacional de Aquicultura, Maricultura e Pesca, Aquafair 2008, Florianópolis, 2008. p. 1-11, 2008. Disponível em: <www.avesui.com/anais>.

VALENTI, W. C. Aquicultura sustentável. In: CONGRESSO DE ZOOTECNIA, 12., 2002, Portugal. *Proceedings...* Vila Real: Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos, 2002. p.111-118.

WARD, J. V.; STANFORD, J. A. 1983. The serial discontinuity concept in lotic ecosystems. In: FONTAINE, T. D.; BARTHEL, S. M. (Eds.). *Dynamic of lotic ecosystems*. Michigan: Ann. Arbor. Scien., 1983. p. 347-356.

WCED (World Commission on Environment and Development). 1987. *Our Common Future*. The Brundtland Report, Oxford University Press, New York.

CAPÍTULO II - INFLUÊNCIA DA CRIAÇÃO DE TILÁPIA DO NILO EM TANQUES-REDE NA SEDIMENTAÇÃO DE NUTRIENTES E MATERIAL PARTICULADO EM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO DO RIO GRANDE DO NORTE

RESUMO: Os níveis de nutrientes dissolvidos e particulados em reservatórios de água vêm aumentando ao longo dos anos ao redor do mundo e atividades como o cultivo de peixes em tanques-rede possuem o potencial de causar impactos negativos nestes ambientes. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a sedimentação dos principais nutrientes e de material particulado no reservatório de Santa Cruz, determinando a influência da piscicultura na modificação deste ambiente. Os resultados indicam que houve diferenças significativas para todos os nutrientes considerados, com maiores taxas de sedimentação sendo encontradas na região da piscicultura, e taxas reduzidas encontradas em regiões afastadas do cultivo. Assim, percebemos que a piscicultura exerce uma influência sobre o ambiente, elevando os níveis de sedimentação de material particulado e nutrientes no reservatório, portanto a avaliação desta sedimentação deve ser levada em consideração, juntamente com análises da coluna de água, como uma importante ferramenta na avaliação do real impacto destes sistemas produtivos.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos as políticas públicas brasileiras estimularam o uso de reservatórios de água para produção de peixes em tanques-redes através de programas governamentais (AYROZA et al., 2006, ARARIPE et al., 2006). Em nível nacional a atividade vem crescendo continuamente, principalmente devido aos incentivos para desenvolvimento do setor aquícola nacional. Destaque especial vem sendo dado à criação de tilápias em tanque-rede em reservatórios, principalmente na região nordeste do Brasil (OSTRENSKY et al., 2008).

As atividades antrópicas nos reservatórios podem provocar alterações físicas, químicas e biológicas na coluna d'água e a jusante e montante do barramento (TUNDISI, 1999; WARD; STANFORD, 1983). Dentre estas atividades, a instalação de tanques-rede pode

interferir na dinâmica destes ecossistemas aquáticos (MALLASEN et al., 2012). A principal problemática para os cultivos em tanque-rede é que grandes quantidades de dejetos orgânicos são lançados diretamente no ambiente na forma de excretas e ração não consumida (YIYONG et al. 2001; GUO; LI, 2003; BACCARIN; CAMARGO, 2005; AZEVEDO et al., 2011). Estes resíduos chegam ao ambiente aquático principalmente na forma de nitrogênio, fósforo e material particulado que pode contribuir para o processo de eutrofização artificial (BOYD et al., 2007; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008; GUO et al., 2009).

A eutrofização em lagos e reservatórios é um dos principais problemas na gestão de águas ao redor do mundo, sendo que a aquicultura pode ser mais um fator de aceleração deste processo (KUO et al., 2006; HENRY-SILVA; CAMARGO, 2008). A eutrofização causada pelas atividades de aquicultura pode ser ainda mais impactante em reservatórios do semiárido, uma vez que estes ambientes estão localizados em regiões com escassez de água e com um elevado tempo de retenção hídrica, fatores estes que favorecem o acúmulo de nutrientes (BEVERIDGE, 1994; MCGHIE et al., 2000; PEDRO, 2003).

Em virtude das emissões de compostos orgânicos e inorgânicos oriundos dos tanques-rede para o ambiente aquático não serem passíveis de tratamento, os estudos que avaliam os impactos causados por esta atividade aquícola são importantes para se identificar alterações na estrutura e no funcionamento dos reservatórios, além de fornecer informações relevantes para minimizar possíveis conflitos pelo uso do recurso hídrico. Neste contexto o objetivo do presente estudo foi avaliar a influência da produção de peixes em tanques-redes nas taxas de sedimentação de nutrientes e material particulado no reservatório de Santa Cruz, semiárido do Rio Grande do Norte.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O reservatório de Santa Cruz está localizado na bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró e encontra-se no município de Apodi, semiárido do Rio Grande do Norte (Figura 1). A sua área é de 3413,36 ha, com capacidade máxima de 599.712.000,00 m³. A

altura máxima corresponde a 57,5 m e a área de sua bacia engloba 4.264,00 km² (ANA, 2007). O clima local é do tipo BSw'h', da classificação climática de Köppen, caracterizado por um clima muito quente e semiárido, com a estação chuvosa se atrasando para o outono.

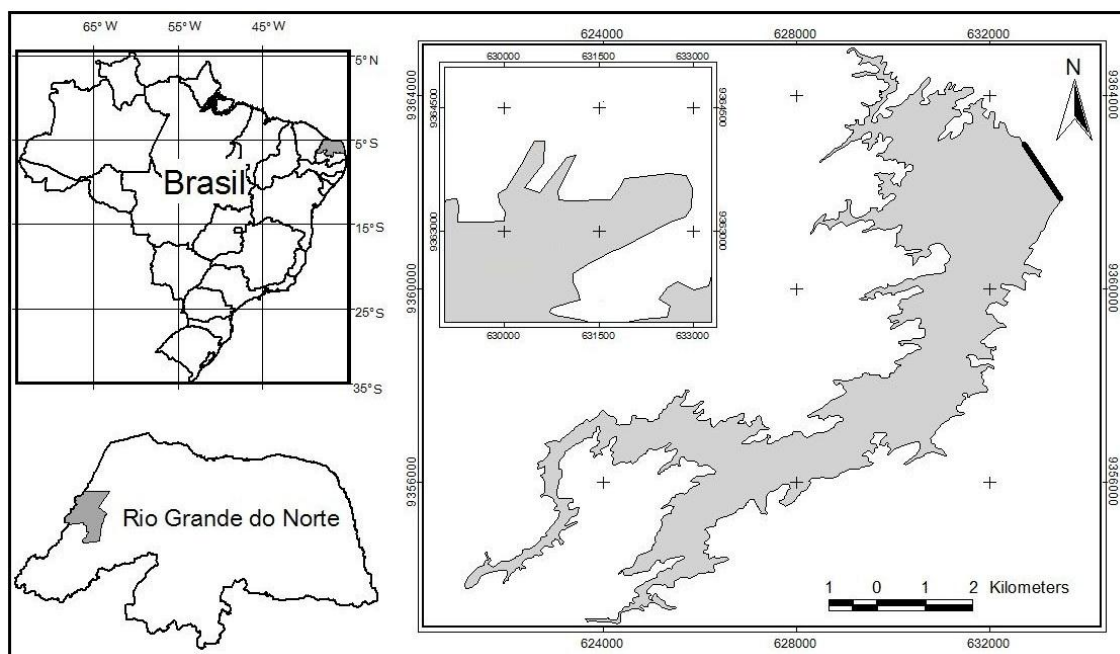


Figura 1. Localização do reservatório de Santa Cruz, com ênfase para a região de cultivo de tilápia do Nilo em tanques-rede.

2.2 DELINEAMENTO AMOSTRAL

No reservatório está instalada uma estação de piscicultura, com cultivo intensivo de tilápia-do-Nilo em tanques rede. A fim de avaliar sua influência sobre o reservatório, foi feito o acompanhamento da produção de 22 tanques-rede de 4 m² estocados com 200 tilápias/m², do povoamento até a despesca, totalizando 150 dias de cultivo. O cultivo é dividido em fase de berçário e engorda, com duração de aproximadamente 50 e 100 dias, respectivamente. A produção total para os 22 tanques, durante um ciclo de cultivo (150 dias), foi de 6258 Kg de peixe. Como principal aporte de nutrientes para o sistema, a piscicultura utiliza quatro tipos de ração comercial com diferentes composições, a saber: Inicial até 21 dias, Alevino até 42 dias, Crescimento até 87 dias e Engorda até 150 dias (Tabela 1). A ração é ofertada com uma frequência de oito vezes ao dia durante a fase de berçário (inicial), seis vezes ao dia durante a

fase de alevino e duas vezes ao dia durante a fase de engorda, em uma quantidade relativa à biomassa estocada. As porcentagens de biomassa para o cálculo da oferta de ração variam de 20% na primeira semana, com decréscimos semanais, terminando a fase de berçário com a oferta de 8% da biomassa em ração. Para a fase de engorda é ofertada em ração a quantidade de 6% da biomassa estocada, com decréscimos semanais, finalizando na última semana de cultivo com a oferta de 4% da biomassa na forma de ração.

Tabela 1. Caracterização das rações comerciais utilizadas no cultivo. %PB: Porcentagem de proteína bruta na ração; %P Porcentagem de fósforo na ração.

Ração	%PB	%P	Granulometria (mm)
Inicial	50	1	0,8
Alevino	40	0,7	2,0 a 3,0
Crescimento	32	0,6	4,0 a 6,0
Engorda	28	0,6	6,0 a 8,0

Durante o período de cultivo, com frequência mensal, foram instalados seis conjuntos de câmaras de sedimentação no reservatório, sendo três conjuntos colocados diretamente sob três tanques-rede sorteados aleatoriamente, e outros três conjuntos alocados em região afastada 400 m do cultivo (controle), durante um período de incubação de 72 horas, a 2,5 metros de profundidade em ambas as regiões. As câmaras na região dos tanques-rede tiveram por objetivo refletir o impacto do cultivo sobre as condições do reservatório, enquanto as da região afastada tiveram a finalidade de representar as condições naturais do reservatório, agindo como um controle.

Antes de serem dispostas no ambiente as câmaras foram preenchidas completamente com água destilada, a fim de evitar a deposição de material antes do início do período de incubação. A construção das câmaras e o cálculo das taxas de sedimentação de material particulado foram feitos segundo descrito por BUFFON et al. (2009). Amostras de água foram coletadas no interior das câmaras de sedimentação e foram então determinadas as concentrações de amônia, nitrato e nitrito (MACKERETH et al., 1978); nitrogênio total (KOROLEFF, 1976); ortofosfato e fósforo total (GOLTERMAN et al., 1978); carbono orgânico total e carbono inorgânico total (oxidação em combustão catalítica usando um Analisador de Carbono VARIO-TOC, método de combustão em alta temperatura).

2.3 ANÁLISE DOS DADOS

A fim de se identificar diferenças significativas nas taxas de sedimentação de material particulado, amônia, nitrato, nitrito, ortofosfato, nitrogênio total, fósforo total, carbono inorgânico total e carbono orgânico total, entre os tanques-rede e o controle, foi aplicado um teste *t de student* para os dados paramétricos e o teste de *Mann-Whitney* com correção de *p-value* segundo Bonferroni para os dados não paramétricos, ambos a 5% de probabilidade. Os pressupostos estatísticos de normalidade e homocedasticidade foram avaliados com os testes de *Shapiro-Wilk* e *Bartlett*, respectivamente, ambos 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas no *Software R* v3.0.1 (R CORE TEAM, 2013).

3 RESULTADOS

A taxa de sedimentação de material particulado e dos nutrientes apresentou diferença significativa entre os tanques-rede e o controle, ao longo de todo o período de cultivo, mostrando uma influência da piscicultura no aporte de material particulado para o reservatório.

As taxas naturais (controle) de sedimentação de material particulado apresentaram dois períodos distintos, com menores taxas até o 67º dia, e taxas mais elevadas até o final do período de cultivo. Já para a taxa na região dos tanques-rede, foi observado um comportamento crescente durante todo o cultivo, com uma elevação mais acentuada durante a segunda metade do período considerado (a partir do 67º dia) (Figura 2a).

A sedimentação de nitrogênio total foi significativamente maior para a região dos tanques-rede. Foi percebida uma elevação nas concentrações de N-Total até o 42º dia, com um decréscimo acentuado logo após este período, e posterior elevação das concentrações durante o final do cultivo (Figura 2b). Para a sedimentação na região controle, foi observado um comportamento distinto, com maiores menores e constantes durante a primeira metade do cultivo e com maiores concentrações na segunda metade, particularmente do 87º dia de cultivo em diante. A sedimentação de amônia mostrou uma tendência decrescente do primeiro ao último dia de cultivo, sendo significativamente maior que na região de controle até os 87

dias, e menor até o final do tempo considerado, exibindo um pico pronunciado aos 87 dias (Figura 2c). As sedimentações de nitrito e nitrato também foram significativamente superiores, apresentando, porém uma tendência crescente do início ao fim do período de cultivo, com pico de sedimentação aos 87 dias para nitrato e aos 115 dias para nitrito (Figuras 2d e 2e).

A sedimentação de fósforo total foi significativamente superior para a região dos tanques-rede durante todo o período de tempo considerado, sendo observado um decréscimo nas taxas durante a primeira metade do cultivo (até os 87 dias), com um subsequente aumento até o final do período considerado. Para o controle o comportamento foi distinto, com as taxas se mantendo relativamente estáveis durante a primeira metade do cultivo, com um pico de sedimentação aos 87 dias e posterior decréscimo desta taxa (Figura 2f). A sedimentação do ortofosfato foi significativamente superior para os tanques-rede, e crescente ao longo do tempo, enquanto na região controle não houve uma tendência nem de acréscimo nem de decréscimo desta taxa ao longo do tempo, permanecendo durante todo o cultivo com valores próximos a zero (Figura 2g).

As taxas de sedimentação de COT e CIT apresentaram comportamentos opostos, com uma tendência crescente do carbono orgânico (e decrescente do inorgânico) até os 87 dias de cultivo, com subsequente que diminuição dos valores de carbono orgânico (e elevação do carbono inorgânico) até o final do cultivo, para a região dos tanques-rede. De forma geral, a tendência foi que a porção orgânica do carbono aumentasse enquanto a porção inorgânica diminuísse ao longo do período de cultivo. Para a região controle o comportamento foi semelhante tanto para COT quanto para CIT, com uma tendência crescente com pico de sedimentação aos 87 dias de cultivo com posterior decréscimo dos valores até o final do tempo considerado (Figuras 2h e 2i).

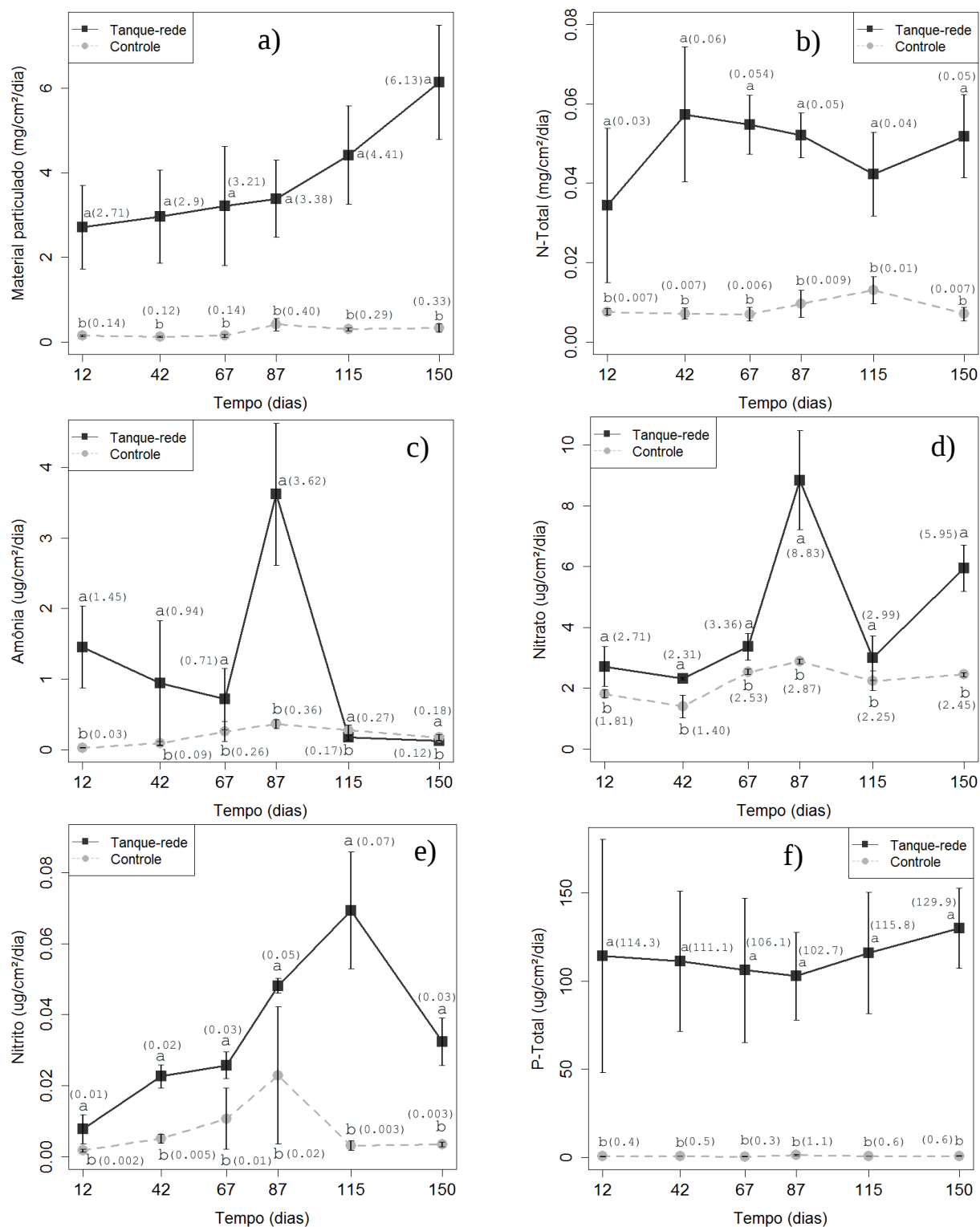
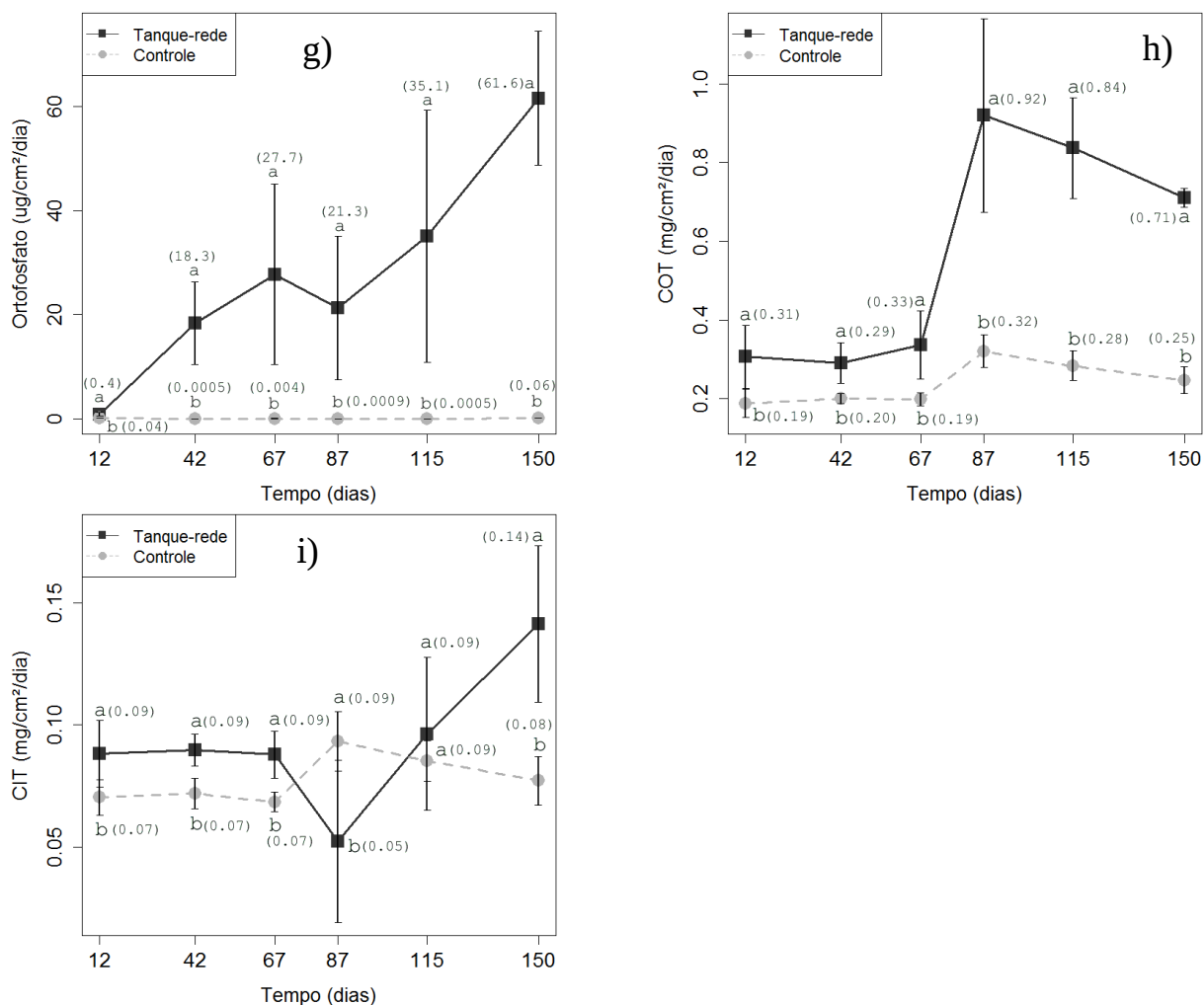


Figura 2. Taxas de sedimentação de a) amônia; b) nitrato; c) nitrito; d) nitrogênio total; e) ortofosfato; f) fósforo total; g) carbono orgânico total; h) carbono inorgânico total; e i) material particulado. Valores médios e desvios-padrão; médias entre parênteses. (continua).



(cont.) Figura 2. Taxas de sedimentação de a) amônia; b) nitrato; c) nitrito; d) nitrogênio total; e) ortofosfato; f) fósforo total; g) carbono orgânico total; h) carbono inorgânico total; e i) material particulado. Valores médios e desvios-padrão; médias entre parênteses.

4 DISCUSSÃO

Foi verificado que as taxas de sedimentação de material particulado, bem como a sedimentação dos nutrientes foram influenciadas pela presença da piscicultura, mostrando taxas mais elevadas quando comparadas com o ambiente natural. Estando estas maiores concentrações principalmente relacionadas com o aporte de sólidos suspensos, e consequentemente matéria orgânica, oriundo dos tanques-rede, para o reservatório.

A sedimentação de material particulado do reservatório na região dos tanques-rede foi influenciada pela atividade de piscicultura, exibindo taxas de sedimentação crescentes ao longo do tempo, com maior incremento na segunda metade do cultivo. É provável que a maior quantidade de material particulado gerado pela piscicultura a partir da segunda metade do cultivo esteja relacionada com a oferta crescente de ração e a diminuição da frequência de alimentação, acarretando em grandes quantidades de ração sendo ofertada ao mesmo tempo, e consequentemente um possível maior desperdício desta ração.

A influência da piscicultura na sedimentação de sólidos suspensos no reservatório possivelmente esteve relacionada com o aporte de ração no sistema produtivo, uma vez que ao longo do tempo a quantidade de ração ofertada ao sistema é crescente e a biomassa animal cultivada também cresce. PILLAY (2004) aponta que até 30% da ração ofertada em sistemas de cultivo em tanques-rede em águas interiores é perdida para o ambiente, na forma de ração não consumida ou de excretas. Assim, o aumento na oferta de ração e consequente aumento na quantidade de material fecal e de ração não consumida parece ser a principal causa no aumento da sedimentação próximo a pisciculturas (BORGHETTI; OSTRENSKY, 1999). ALMEIDA (2013) encontrou valores de sedimentação de material particulado da ordem de 8,0 mg/cm²/dia logo abaixo de tanques rede, e taxas da ordem de 0,4 mg/cm²/dia de material particulado sedimentado em regiões afastadas da área de cultivo. Estes resultados corroboram o presente trabalho, onde a sedimentação na região de cultivo foi em geral 20 vezes maior do que na região afastada.

Vale salientar que a dinâmica do próprio sistema deve ser levada em consideração, o qual apresentou taxas de sedimentação maiores durante a segunda metade do cultivo na região de controle, possivelmente devido a correntes de água interna e ação dos ventos. Como observado por ALVES (2006), o aumento das taxas de sedimentação em locais afastados da área de influência dos tanques-rede estão principalmente relacionados com a dinâmica das massas de água no ambiente, estando menos relacionadas com fatores externos como chuvas. Assim, durante a segunda metade do período de cultivo a dinâmica do ambiente parece contribuir para um maior carreamento e maior distribuição do material particulado no reservatório. Este cenário é particularmente impactante uma vez que os efluentes dos tanques-rede para o ambiente são principalmente na forma sólida, sendo que até 60% do fósforo total e 65% do nitrogênio total emitidos pelas unidades de cultivo estão na forma particulada (TEMPORETTI; PEDROZO, 2000; BUREAU et al., 2003).

O conteúdo em N-Total no reservatório foi influenciado pela presença de tanques-rede, uma vez que nesta região se observam os maiores valores, com concentrações médias oscilando ao longo do tempo, com uma tendência crescente do início ao fim do período de cultivo. A quantidade de nitrogênio liberada para o ambiente é proporcional à quantidade de ração ofertada e ao conteúdo de proteína desta ração, assim, a crescente quantidade de ração ofertada juntamente com a decrescente proporção de proteína nas rações utilizadas pode ter determinado as variações ao longo do tempo nos níveis de N-Total encontrados. AZEVEDO et al. (2011) estimou matematicamente um aumento de até 10% na emissão de Nitrogênio total e dissolvido quando a porção de ração perdida para o ambiente (não consumida e excretada) aumenta em 4%. GUO e LI (2003) apontam ainda que temperaturas da água tropicais (entre 28 e 31°C) promovem uma maior ineficiência no aproveitamento dos nutrientes da ração, uma vez que a aceleração do metabolismo dos animais faz com que menos compostos sejam metabolizados, sendo então perdidos para o ambiente. Dessa forma, é evidenciado que a emissão de N-Total para o ambiente está não somente relacionado com a quantidade de ração e proteína ofertada, mas principalmente com a eficiência de uso da proteína, ou seja, quanto da proteína contida na ração ofertada se transforma em biomassa animal (AZEVEDO et al., 2004a).

As taxas de sedimentação de amônia, nitrato e nitrito revelam que o ambiente está em condições aeróbicas, onde provavelmente não há déficit de oxigênio, uma vez que a sedimentação do nitrato é superior às taxas de sedimentação de nitrito e amônia. Vale salientar ainda que enquanto a tendência geral das concentrações de nitrato e nitrito foi aumentar ao longo do cultivo, a da amônia foi de decrescer do início ao final do cultivo. Este comportamento evidencia que a ciclagem do nitrogênio está ocorrendo na região da piscicultura, de modo que provavelmente a comunidade bacteriana está dando suporte à redução da Amônia (diminuindo seus níveis) em Nitrito e Nitrato (elevando seus níveis). LOPES (2011) estudando o comportamento nictimeral do reservatório de Santa Cruz, não constatou concentrações deficitárias de oxigênio ao longo da coluna de água, tanto na região da piscicultura quando em regiões afastadas. ALVES (2006) encontrou um efeito significativo da influência de uma piscicultura na sedimentação de compostos nitrogenados em um reservatório, com valores de sedimentação de nitrato (até 7,6 ug/cm²/dia) superiores aos de nitrito (até 0,3 ug/cm²/dia) e amônia (até 0,7 ug/cm²/dia). Estes valores corroboram o observado no presente estudo, com taxas de sedimentação menores para o nitrito (até 0,07

ug/cm²/dia), mais elevadas para o nitrato (até 8,8 ug/cm²/dia) e intermediárias para a amônia (até 3,6 ug/cm²/dia). Desta forma percebemos que as quantidades de material particulado cada vez maior ao longo do cultivo não necessariamente elevam a sedimentação de todas as formas nitrogenadas, já que os processos bióticos internos do sistema modificam a relação Amônia-Nitrito-Nitrato.

A sedimentação de P-Total foi significativamente maior na área dos tanques-rede do que no controle, mostrando o efeito do cultivo sobre o ambiente. Na região do controle os valores encontrados foram até 100 vezes menores do que as encontradas na região de cultivo. DAVID et al. (2011) observou efeito semelhante, constatando que as emissões de tanques-rede elevam os níveis de sedimentação de P-Total na área de cultivo, encontrando valores superiores aos encontrados em regiões afastadas. De uma maneira geral, tem sido consenso entre os estudos que, tanto em ambientes temperados quanto tropicais, a presença de pisciculturas eleva sensivelmente a sedimentação, em especial de compostos fosfatados, na região do cultivo e em seu entorno (YIYONG et al., 2001; NA; KIM, 2003; GUO; LI, 2003; AZEVEDO et al., 2004b). ALVES (2006) encontrou uma sedimentação de até 8,0 ug/cm²/dia de fósforo total para regiões abaixo dos tanques rede, e taxas de até 3,0 ug/cm²/dia para regiões afastadas do cultivo. Da mesma forma, no presente estudo foram observados valores significativamente superiores de sedimentação de P-Total no interior da piscicultura (até 129,9 ug/cm²/dia) e valores menores na região afastada (até 1,1 ug/cm²/dia).

A sedimentação do ortofosfato se comportou de maneira semelhante às taxas de sedimentação do fósforo-total, fato que corrobora a pressão da piscicultura sobre a sedimentação do fósforo reservatório, evidenciando que o aporte de ração e fezes da piscicultura eleva a sedimentação de compostos fosfatados da mesma maneira. Esta contribuição da piscicultura fica ainda mais evidente quando levamos em consideração que na região de controle a sedimentação de ortofosfato é próxima a zero, o que é esperado para este composto, dada a sua alta solubilidade e sua fácil assimilação pelos organismos (ALVES, 2006). Desse modo, provavelmente o ambiente próximo à piscicultura não tem uma comunidade desenvolvida ao ponto de assimilar todo este fosfato que está sendo lançado dos tanques-redes, o que provoca o aumento de sua sedimentação juntamente com o aumento do fornecimento de ração.

A sedimentação do carbono orgânico revela que uma das principais fontes de carbono é oriunda da piscicultura, elevando a taxa a valores bem acima dos naturais. Já para a

sedimentação do carbono inorgânico, ainda que a influência da piscicultura seja determinante nas taxas encontradas, a sedimentação natural de CIT apresentou valores mais próximos das taxas encontradas na região dos tanques-rede. Desta forma percebemos que provavelmente a principal fonte de carbono orgânico para o reservatório sejam os resíduos oriundos dos tanques-rede, elevando o conteúdo de matéria orgânica do sistema e consequentemente contribuindo com elevadas taxas de sedimentação de COT. A fração inorgânica, por outro lado, recebe menor influência dos tanques-rede, uma vez que o conteúdo de carbono inorgânico nas emissões da piscicultura é menor.

A principal problemática com relação a cultivos em sistemas de tanque-rede é que são modelos de produção abertos e não permitem o tratamento dos efluentes, uma vez que as emissões são feitas diretamente no ambiente. A emissão de fósforo para o ambiente é um dos pontos mais críticos no avanço da piscicultura em águas continentais, uma vez que sua liberação excessiva para o meio aquático pode acarretar problemas com eutrofização e conflitos nos múltiplos usos desses ecossistemas.

O uso de rações não balanceadas e com baixa digestibilidade, aliado a práticas de manejo não eficientes parecem ser os principais fatores que levam ao aumento da sedimentação dos nutrientes em regiões de cultivo (ARARIPE et al., 2006). Estes fatores aliados a um sistema com alta densidade de estocagem e que produz durante o ano inteiro pode levar a um aumento nas sedimentações de fósforo e nitrogênio nas proximidades do cultivo e contribuir para a eutrofização desta área (ROCHA, 2006). Este efeito fica ainda mais evidente quando tratamos de ambientes tropicais, com temperatura elevada durante todo o ano. Estudos mostram que com maiores temperaturas da água, o maior metabolismo dos animais e a ciclagem de nutrientes mais eficiente do ambiente promovem uma sedimentação de fósforo e nitrogênio potencialmente mais elevadas na área de cultivo (MALLASEN; BARROS, 2008; CARNEIRO; CARVALHO, 2009).

Embora a sedimentação tenha sido claramente influenciada pela produção de peixes em tanques-rede, esta influência parece estar restringida à área logo abaixo dos tanques-rede e à área adjacente ao sistema produtivo. Trabalhos como o de GUO e LI (2003) que as influências na sedimentação não são percebidas a mais de 20 metros de distância da piscicultura. Não somente a distância influencia nesta área de influência, mas possivelmente a profundidade onde os tanques-rede estão instalados é um fator a se considerar. Pisciculturas instaladas em ambientes de menor profundidade podem exercer uma influência maior na

sedimentação do reservatório, dada a maior facilidade na circulação de água, maior distribuição do material particulado e maior facilidade na ocorrência de resuspensão do sedimento (LEITE, 1998). Por outro lado, em regiões mais profundas (mais de 15 metros), as influências da produção sobre o ambiente natural podem ser menores (ALVES; BACARIN, 2005).

As contribuições em termos de compostos fosfatados, nitrogenados e carbonados dos tanques-rede para o ambiente natural são evidentes para a sedimentação destes compostos, entretanto esta influência não é observada na coluna de água. Ainda que as taxas de sedimentação destes nutrientes sejam maiores na região de cultivo do que em regiões afastadas, esta elevação na sedimentação parece não ser refletida nas concentrações destes mesmos compostos na coluna de água do reservatório. LOPES (2011), estudando o comportamento nictimeral do reservatório de Santa Cruz, e avaliando as diferenças entre uma região próxima à piscicultura e uma região afastada, não encontrou diferenças significativas para os níveis de nutrientes, mostrando que na água de superfície as concentrações são semelhantes. Trabalhos como o de PAES (2006) mostram que não são detectadas diferenças para os parâmetros limnológicos da coluna de água entre a região da piscicultura de Tilápias em tanques-rede e regiões afastadas (controle). Resultados semelhantes são encontrados em sistemas produtivos com diferentes densidades de estocagem e diferentes quantidades de unidades produtivas (ALVES; BACCARIN, 2005; ZANATTA, 2007). Este padrão pode ser explicado pelo comportamento não conservativo dos nutrientes (AZEVEDO et al., 2011) que tendem a sofrerem transformações ou serem assimilados da coluna de água.

Em geral as pisciculturas em tanques-rede estão inseridas em ambientes de água aberta com grande complexidade estrutural e que dão suporte a múltiplos usos, tornando difícil a detecção da contribuição real, em termos de nutrientes, que é oriunda da criação de peixes (REID et al., 2006). Essas variações nas concentrações de nutrientes são de importância para se garantir os múltiplos usos do recurso hídrico, principalmente os níveis de P-Total na coluna de água. AZEVEDO et al. (2011) destaca que os processos de decaimento e consumo pelos produtores primários removem rapidamente os compostos fosfatados da coluna de água, mesmo em regiões próximas ao cultivo. Este efeito pode ser explicado pela modificação e adaptação das comunidades no entorno das pisciculturas que pode absorver o fósforo e retirá-lo da coluna de água (CORNEL; WHORISKEY, 1993), bem como pela ciclagem do fósforo,

que pode ser acelerada através das enzimas contidas nas fezes dos peixes cultivados (YIYONG, 2001).

5 CONCLUSÃO

Podemos concluir que a atividade de piscicultura influenciou as taxas de sedimentação no reservatório, de maneira que na região dos tanques-rede a sedimentação de nutrientes e matéria orgânica é maior do que em região afastada do cultivo. Dessa forma, a criação de Tilápia-do-Nilo gera um aporte de material para o reservatório que altera as condições naturais de sedimentação do ambiente. Sendo importante perceber que somente amostragens realizadas na coluna d'água do corpo hídrico não são suficientes para representar o real impacto destas atividades sobre o ambiente aquático, sendo necessárias amostragens mais completas a fim de representar mais adequadamente os aportes da piscicultura para o ambiente.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. *Indicadores de sustentabilidade do cultivo de tilápia-do-nilo (Oreochromis niloticus) em tanques-rede em um reservatório tropical*. 2013. 53 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.
- ALVES, R. C. P. *Monitoramento de características físicoquímicas da água e taxas de sedimentação de tripton no córrego da arribada (baixo Tietê-SP) relacionadas à piscicultura em tanques-rede*. 2006. 65 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.
- ALVES, R. C. P.; BACCARIN, A. E. Efeito da produção de peixes em tanques-rede sobre sedimentação de material em suspensão e de nutrientes no córrego do Arribada (UHE Nova Avanhandava, Baixo Rio Tietê, SP). In: NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R.; JORCIN, A. *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. São Carlos: Rima, 2005. p.329-347.

ANA (Agência Nacional de Águas). *Boletim de monitoramento dos reservatórios do nordeste do Brasil*. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Usos Múltiplos. Brasília, 2007.

ARARIPE, M. N. B. A. et al. Efeito do cultivo de peixes em tanques-rede sobre o aporte de fósforo para o ambiente. *Revista Científica de Produção Animal*, v.8, n.2, p.56-65, 2006.

AYROZA, D. M. M. R.; FURLANETO, F. P. B.; AYROZA, L. M. S. Regularização dos projetos de tanques-rede em águas públicas continentais de domínio da união no estado de São Paulo. *Boletim Técnico do Instituto de Pesca*, v.36, p.1-32, 2006.

AZEVEDO, P. A.; LEESON, S.; CHO, C. Y.; BUREAU, D. P. Growth and feed utilization of large size rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared in freshwater: diet and species effects, and responses over time. *Aquac. Nutr.*, v.10, p.401-411, 2004a.

AZEVEDO, P. A.; LEESON, S.; CHO, C. Y.; BUREAU, D. P. Growth, nitrogen and energy utilization of juveniles from four salmonid species: diet, species and size effects. *Aquaculture*, v.234, p.393-414, 2004b.

AZEVEDO, P. A.; PODEMSKI, C. L.; HESSLEIN, R. H.; KASIAN, S. E. M.; FINDLAY, D. L.; BUREAU, D. P. Estimation of waste outputs by a rainbow trout cage farm using a nutritional approach and monitoring of lake water quality. *Aquaculture*, v.311, p.175-186, 2011.

BACCARIN, A. E.; CAMARGO, A. F. M. Characterization and evaluation of the impact of feed management on the effluents of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, v.48, n.1, p.81-90, 2005.

BEVERIDGE, M. C. M.; ROSS, L. G.; KELLY, L. A. 1994. Aquaculture and biodiversity. *Ambio.*, v.23, n.8, p.497-502.

BORGHETTI, J. R.; OSTRENSKY, A. Pesca e Aqüicultura de Água Doce no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Eds.). *Águas Doces do Brasil*. São Paulo: Escrituras Editora, 1999. p.451-473.

BOYD, C. E.; TUCKER, C.; MCNEVIN, A.; BOSTICK, K.; CLAY, J. Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, v.15, p.327-360, 2007.

BUFFON, A. G. M.; TAUKE-TORNISIELO, S. M.; PIÃO, A. C. S. Tempo de vida útil da represa velha da microbacia do córrego da barrinha, Pirassununga, SP, Brasil. *Arquivos do Instituto Biológico*, v.76, n.4, p.673-679, 2009.

BUREAU, D. P.; GUNTHER, S.; CHO, C. Y. Chemical composition and preliminary theoretical estimates of waste outputs of rainbow trout reared on commercial cage culture operations in Ontario. *North American Journal of Aquaculture*, v.65, p.33-38, 2003.

CARNEIRO, G. H. A; CARVALHO, S. L. Avaliação dos teores de nitrogênio e fósforo na água em piscicultura com cultivo em tanques rede, no rio São José dos Dourados em Ilha Solteira-SP. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 9., 2009, São Lourenço. *Proceedings...* São Lourenço: Sociedade de Ecologia do Brasil. CD-ROM.

CORNEL, G. E.; WHORISKEY, F. G. The effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cage culture on the water quality, zooplankton, benthos and sediments of Lac du Passage, Quebec. *Aquaculture*, v.109, p.01-107, 1993.

DAVID, G. S.; CARVALHO, E. D.; RAMOS, I. P.; SILVA, R. J.; AYROZA, D. M. M. R.; AYROZA, L. M. S.; LEMOS, D. Evaluation of mass balance models to predict impact of cage fish farming in large freshwater reservoirs. In: WORLD AQUACULTURE WA 2011 (CONFERENCE AQUACULTURE FOR A CHANGING WORLD), 2011, Natal. *Proceedings...* Natal: [s.n.], 2011. 322p.

GOLTERMAN, H. L.; CLIMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. 2.ed. Oxford: IBP, 1978. 213 p.

GUO, L.; LI, Z. Effects of nitrogen and phosphorus from fish cage-culture on the communities of a shallow lake in middle Yangtze River basin of China. *Aquaculture*, v.226, p.201–212, 2003.

GUO, L.; LI, Z.; XIE, P.; NI, L. Assessment effects of cage culture on nitrogen and phosphorus dynamics in relation to fallowing in a shallow lake in China. *Aquaculture International*, v.17, p.229-241, 2009.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Impacto das atividades de aqüicultura e sistemas de tratamento de efluentes com macrófitas aquáticas. *Boletim do Instituto de Pesca*, v.34, p.165-175, 2008.

KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. (Ed.). *Methods of seawater analysis*. New York: Verlag Chemie Weinheim, 1976. p.117-181.

KUO, JAN-TAI; LUNG, WU-SENG; YANG, CHOU-PING; LIU, WEN-CHENG; YANG, MING-DER; TANG, TAI-SHAN. Eutrophication modelling of reservoirs in Taiwan. *Environmental Modelling & Software*, v.21, p.829-844., 2006.

LEITE, M. A. *Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no Reservatório de Salto Grande (Americana – SP) e sua influência sobre as características limnológicas do sistema*. 1998. 164 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

LOPES, Y. V. A. *Dinâmica nictimeral e vertical das variáveis limnológicas no reservatório de Santa Cruz (semiárido do Rio Grande do Norte) utilizado para a criação de peixes em tanques-rede*. 2011. 44 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2011.

MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. *Water analysis: some revised methods for limnologists*. London: Freshwater Biological Association, 1978. 121p.

MALLASEN, M.; BARROS, H. P. Piscicultura em tanques-rede na concentração de nutrientes em um corpo d'água. In: CYRINO, J. E. P.; FURUYA, W. M.; RIBEIRO, R. P.; SCORVO FILHO, J. D. *Tópicos especiais em biologia aquática e aquicultura III*. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2008. p.79-85.

MALLASEN, M.; CARMOS, C. F.; TUCCI, A.; BARROS, H. P.; ROJAS, N. E. T.; FONSECA, F. S.; YAMASHITA, E. Y. Qualidade da água em sistema de piscicultura em tanques rede no reservatório de ilha solteira, SP. *Boletim do Instituto de Pesca*, v.38, n.1, p.15-30, 2012.

MCGHIE, T. K.; CRAWFORD, C. M.; MITCHELL, I. M.; O'BRIEN, D. 2000. The degradation of fish-cage waste in sediments during fallowing. *Aquaculture*, v.187, p.351-366.

NA, K.; KIM, D. Response of reservoir water quality to nutrient inputs from streams and inlake fishfarms. *Water, Air, and Soil Pollution*, v.149, p.27-49, 2003.

OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J. R.; SOTO, D. *Aqüicultura no Brasil: o desafio é crescer*. Brasília: SEAP, 2008. p.135-158.

PAES, J. V. K. *A ictiofauna associada e as condições limnológicas num sistema de piscicultura em tanques-rede no reservatório de Nova Avanhandava (baixo Rio Tietê, SP)*. 2006. 183f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

PEDRO, F. 2003. *Ciclo hidrológico e dinâmica de dois rios intermitentes da região semi-árida do Brasil, com ênfase em macrófitas aquáticas*. 2003. 116 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2003.

PILLAY, T.V.R. *Aquaculture and the environment*. 2 ed. Oxford: Fishing News Books, 2004. 199p.

R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013.

REID, G. K.; MCMILLAN, I.; MOCCIA, R. D. Near-field loading dynamics of total phosphorus and short-term water quality variations at a rainbow trout cage farm in Lake Huron. *J. Environ. Monit.*, v.8, n.9, p.947–954, 2006.

ROCHA, E. S. *Sustentabilidade ambiental do cultivo intensivo de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em tanques-rede e a capacidade de suporte de quatro reservatório em uma região semi-árida tropical*. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

TEMPORETTI, P.; PEDROZO, F. Phosphorus release rates from freshwater sediments affected by fish farming. *Aquaculture Research*, v.31, n.5, p.447-455, 2000.

TUNDISI, J. G. Reservatórios como sistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In: HENRY, R. (Ed.). *Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. São Paulo: FAPESP/FUNDIBIO, v.1, 1999. p. 19-38.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631 p.

WARD, J. V.; STANFORD, J. A. 1983. The serial discontinuity concept in lotic ecosystems. In: FONTAINE, T. D.; BARTHEL, S. M. (Eds.). *Dynamic of lotic ecosystems*. Michigan: Ann. Arbor. Scien., 1983. p. 347-356.

YIYONG, Z.; JIANQIU, L.; YONGQING, F.; MIN, Z. Kinetics of alkaline phosphatase in lake sediment associated with cage culture of *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, v.203, p.23-32, 2001.

ZANATTA, A. S. *Tilapicultura em ecossistemas aquáticos: desenvolvimento sustentável ou degradação ambiental? Estudo de caso em represa oligotrófica*. 2007. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

CAPÍTULO III - AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DA CRIAÇÃO DE TILÁPIA DO NILO EM TANQUES-REDE EM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO DO RIO GRANDE DO NORTE

RESUMO: Dentre as ferramentas utilizadas na mensuração da sustentabilidade em aquicultura os conjuntos de indicadores ganham destaque por permitirem uma visão holística do sistema, em suas dimensões ambiental, social, e econômica. Abordagens que aliem os indicadores a modelos como o arcabouço *Drivers-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR)* permitem ainda um melhor entendimento desta sustentabilidade. Desta maneira, o objetivo deste trabalho foi avaliar a sustentabilidade do sistema de cultivo em tanques-rede desenvolvido no reservatório de Santa Cruz e verificar se o conjunto de indicadores utilizados juntamente com o modelo conceitual *DPSIR* foram eficazes no estudo da sustentabilidade do sistema. As taxas de sedimentação de nutrientes foram calculadas com a instalação de câmaras de sedimentação, dentro e fora da área da piscicultura. Foram utilizados 49 indicadores, que foram calculados a partir de informações obtidas em questionários e pelo acompanhamento da produção do sistema. A sustentabilidade foi modelada ainda e comparada com cenários hipotéticos, com diferentes densidades de estocagem. Os resultados indicam que o sistema de cultivo é viável economicamente, gerando lucro e distribuindo renda. Entretanto, a renda gerada beneficia poucas pessoas, e não é fixada na comunidade. Ambientalmente falando, o sistema foi muito dependente de insumos, em especial os nutrientes nitrogênio e fósforo e energia, além de elevar a sedimentação de nutrientes no reservatório. Na dimensão social o empreendimento emprega pouca mão-de-obra. A modelagem mostrou que o sistema é potencialmente sustentável, e que alterações em sua densidade de estocagem diminuiriam esta sustentabilidade. Foi visto que o sistema mostrou sinais de sustentabilidade em certos aspectos, mas ao mesmo tempo foi pouco sustentável em outros.

1 INTRODUÇÃO

O consumo mundial de pescado vem aumentando nas últimas décadas, não somente pelo aumento da população humana, mas também por um aumento na busca por melhores fontes de proteína animal (BRUSCHI, 2001; DEMIRAK et al., 2006). Para acompanhar esta crescente demanda por pescados, o cultivo de organismos aquáticos em cativeiro tem aumentado significativamente ao longo dos anos. Nos anos 80, a aquicultura era responsável por aproximadamente 9% do suprimento de pescados a nível mundial (91% era suprido pela pesca extrativa), passando a representar 47% do total de pescado produzido em 2006 no mundo (FAO, 2007; FAO, 2009). Crescendo 43,8% entre 2007 e 2009 e apresentando o maior crescimento anual médio (6,9%) dentre todos os setores da produção animal no Brasil, principalmente na região nordeste do Brasil (ARARIPE et al., 2006; AYROZA et al., 2006; OSTRENSKY et al., 2008; MPA, 2010). Apesar deste rápido crescimento da aquicultura ao redor do mundo, este crescimento é limitado por questões de sustentabilidade.

A sustentabilidade é um conceito que visa garantir um ambiente habitável para todos, e que se mantenha em longo prazo. Este conceito foi definido como sendo o desenvolvimento que supre as necessidades presentes sem comprometer a habilidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades (WCED, 1987). Dois anos após a formulação deste conceito, em torno de 140 outras definições de sustentabilidade foram propostas (JOHNSTON et al., 2007), fato este que evidencia o crescimento da importância dada ao desenvolvimento nos moldes da sustentabilidade.

É importante ainda compreender que embora muitas vezes o termo sustentabilidade seja utilizado em relação a ações ambientalmente responsáveis, o desenvolvimento sustentável não se limita apenas à dimensão ambiental. Mais do que isso, a sustentabilidade deve-se apoiar em pelo menos três pilares, sendo eles representados pelas dimensões econômica, ambiental e social (FRANKIC; HERSHNER, 2003). De modo que uma produção sustentável deve ser economicamente viável, ambientalmente não degradante e socialmente benéfica (VALENTI, 2002).

Os esforços no sentido do desenvolvimento de índices que fossem capazes de mensurar a sustentabilidade de um sistema foram alavancados após a publicação do “*Our Common Future*”, no ano de 1987 (ROTH et al., 2000). Percebe-se então a importância de se medir a sustentabilidade dos sistemas produtivos atualmente em uso, no sentido da busca pelo desenvolvimento sustentável da atividade aquícola. Dentre os diversos índices aplicados para medir a sustentabilidade na aquicultura, podemos citar: a) a análise emergética (ODUM,

1986); b) a pegada ecológica (REES; WACKERNAGEL, 1994); c) a análise do ciclo de vida (ISO, 2003); d) a análise da resiliência; e e) a utilização de um conjunto de indicadores (DALSGAARD et al., 1995; DALSGAARD; OFICIAL, 1997; CAFFEY et al., 2001; GONZÁLEZ et al., 2003; GIBBS, 2007; TIPRAQSA et al., 2007; REY-VALETTE et al., 2008; KRUSE et al., 2009; REY-VALETTE et al., 2010.).

O estabelecimento de instrumentos adequados para avaliação da sustentabilidade ainda é um dos desafios na busca pelo desenvolvimento sustentável (VAN BELLEN, 2008; POLAZ; TEIXEIRA, 2009; KIMPORA et al., 2010). Neste contexto surgem os indicadores, que podem ser entendidos como uma medida ou componente do sistema do qual as conclusões sobre certo fenômeno podem ser inferidas (HEINK; KOWARIK, 2010), sendo que a principal vantagem do seu uso é que estes transformam dados técnicos e complexos em informações sintetizadas e mais simples (CALIJURI et al., 2009). Assim, os conjuntos de indicadores são ferramentas descritivas que refletem o cenário estudado através de pontos críticos, facilitando a identificação das forças e fraquezas, que em outra avaliação talvez ficassem despercebidas. É importante perceber que cada indicador em separado pode exercer influência nos demais indicadores em várias dimensões ao mesmo tempo, influenciando assim na sustentabilidade global do sistema.

Mais recentemente, o arcabouço teórico e modelo conceitual *DPSIR* (*Drivers-Pressure-State-Impact-Response*) permitiu agregar as informações de diversos indicadores com informações gerenciais como políticas públicas aplicadas à aquicultura. Sendo um modelo de avaliação sistêmica, o *DPSIR* é capaz de fornecer informações sobre as interações econômicas, sociais e ambientais do sistema analisado, apontando qual o caminho mais sustentável no gerenciamento do recurso, destacando ainda quais são os indicadores mais importantes (NOBRE et al., 2009; NOBRE et al., 2010; SOARES, 2007). Esta abordagem conceitual vem sido aplicada à gestão de recursos naturais principalmente na Europa por meio de modelos computacionais como o *MULINO mDSS* (GIUPPONI, 2007) que permite uma interface entre os gestores no intuito de auxiliar na tomada de decisão.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivos: (i) avaliar a sustentabilidade do sistema de produção de tilápias em tanques-rede em reservatório do semiárido do Rio Grande do Norte nas suas dimensões ambiental, social e econômica, por meio da aplicação de um conjunto de indicadores e (ii) verificar se o conjunto de indicadores selecionados e o modelo conceitual *DPSIR* são adequados para avaliar a sustentabilidade deste sistema de produção.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Toda a avaliação foi feita em relação ao sistema de cultivo de tilápias em tanques-rede, gerido e operado pela Associação dos Aquicultores do Apodi (AQUAPO), no reservatório de Santa Cruz, município de Apodi/RN (Figura 1). O reservatório de Santa Cruz, localizado na bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró, possui área de 3413,4 ha, com capacidade máxima de 599.712.000,00 m³ (ANA, 2007). O clima local é do tipo BSw'h', da classificação climática de Köppen, caracterizado por um clima muito quente e semiárido.

A piscicultura na qual foi implementada a avaliação é formada por 10 aquicultores, que se revezam na execução dos serviços operacionais da fazenda, e administram em conjunto o sistema produtivo. O sistema é composto por aproximadamente 120 tanques-rede de 4 m³ em funcionamento, e produziu aproximadamente 33 toneladas de peixe em 2012.

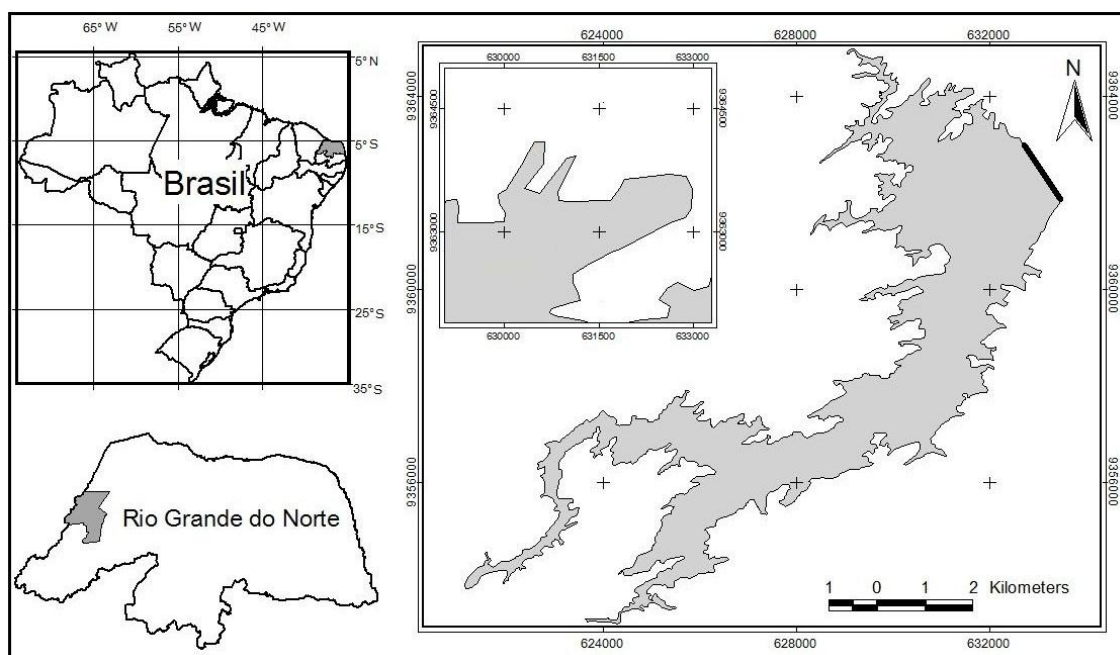


Figura 1. Localização do reservatório de Santa Cruz, com ênfase para a região de cultivo de tilápia do Nilo em tanques-rede.

2.2 DELINEAMENTO AMOSTRAL

Foram feitas visitas com frequência mensal, ou conforme necessidade, à sede da AQUAPO e ao sistema de cultivo. Foi realizado o acompanhamento da produção de um lote de peixes, durante o tempo de um ciclo de cultivo, de abril a setembro de 2012, totalizando 5 meses (150 dias) de produção, incluindo desde o povoamento até a despesca dos peixes. Aproximadamente 21000 indivíduos foram povoados para o início do cultivo que durante a fase de engorda proporcionou a ocupação de 22 tanques-rede (4 m³ de volume útil cada). Os tanques-rede povoados foram acompanhados durante todo o cultivo, com biometrias semanais até os 42 dias e quinzenais até o final do cultivo, e acompanhamento diário da mortalidade. Os detalhes técnicos do cultivo para os 22 tanques-rede acompanhados estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1. Características técnicas do cultivo nos 22 tanques-rede acompanhados.

Parâmetro	Valor
Sobrevivência (%)	88
Peso Médio Inicial (g)	1
Peso Médio Final (g)	400
Conversão Alimentar Aparente	1,92
Ciclos por ano	2,5
Densidade Engorda (ind./m ³)	200
Produção por ciclo (Kg)	6258,4

Os indicadores utilizados foram escolhidos de forma a representar os três pilares da sustentabilidade, totalizando 49 indicadores distribuídos entre as dimensões econômica, ambiental e social (Tabela 2) (ALMEIDA, 2013; BOYD et al., 2007; FERNANDES, 2013; PROENÇA, 2013). Em cada visita foi empregada metodologia específica no intuito de se obter dados para o cálculo dos indicadores de sustentabilidade definidos, conforme descrito a seguir. As equações utilizadas nos cálculos dos indicadores estão explicitadas nos Anexos I, II e III.

Tabela 2. Lista dos indicadores de sustentabilidade econômica, ambiental e social utilizados.

Indicadores de Sustentabilidade		
Dimensão Econômica	Dimensão Ambiental	Dimensão Social
1. Relação Renda Investimento	Uso do Espaço	Equidade Salarial
2. Taxa Interna de Retorno	Dependência de Água	Custo Proporcional do Trabalho
3. Período de Retorno do Capital	Uso de Energia	Distribuição de Renda
4. Relação Benefício/Custo	Proporção de Energia Renovável	Remuneração por Produção
5. Valor Presente Líquido	Uso do Nitrogênio	Inclusão Racial
6. Lucro	Uso do Fósforo	Inclusão de Gênero
7. Renda Anual	Eficiência Uso da Energia	Inclusão Étnica
8. Taxa de Risco	Eficiência Uso Nitrogênio	Trabalho por Área
9. Diversidade de Produtos	Eficiência Uso Fósforo	Trabalho por Produção
10. Diversidade de Mercados	Produção Efetivamente Utilizada	Geração de Ocupação Direta
11. Capital Investido Gerado na Atividade	Potencial de Eutrofização	Geração de Postos de Trabalho
12.	Poluição Geral	Proporção Auto empregos
13.	Poluição por Hormônios	Uso de Mão de obra Local
14.	Potencial de Acidificação	Fixação de Renda
15.	Acúmulo de Fósforo	Consumo Local
16.	Acúmulo de Mat. Orgânica	Programas de Saúde
17.	Acúmulo de Mat. Particulado	Escolaridade
18.	Risco da Espécie Cultivada	Permanência na Atividade
19.		Participação da Comunidade
20.		Segurança no Trabalho

2.3 AVALIAÇÃO ECONÔMICA E SOCIAL

Por se tratar de uma associação, com capital investido através de projetos governamentais, o valor monetário recebido pela associação foi considerado como sendo os investimentos iniciais e totais, para fins de cálculo dos indicadores econômicos. Os custos fixos e variáveis foram estimados considerando os custos dos insumos ao longo dos anos e a aquisição e depreciação dos tanques-rede. As receitas brutas, lucro e renda anuais foram determinados considerando o preço de venda dos peixes em cada ano, de acordo com a produção do sistema no ano respectivo.

Para levantamento dos dados sociais necessários foram realizadas entrevistas com questionários semiestruturados juntamente com os membros a associação. Os questionários constavam de questões objetivas e subjetivas, a fim de proporcionar liberdade ao entrevistado em suas respostas, e as questões foram elaboradas de forma a representar as informações necessárias para os cálculos dos indicadores utilizados no estudo. Foram ainda adquiridas informações em *websites* de instituições como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

2.4 AVALIAÇÃO AMBIENTAL

A biomassa dos organismos estocados foi estimada por meio da pesagem de uma amostra da população de cultivo, feita semanalmente até os 42 dias de cultivo, e quinzenalmente até o final do ciclo de produção, pelos próprios piscicultores. Após a despesca, os organismos sobreviventes foram contados e então calculados a massa média final, a sobrevivência, e a produtividade. As entradas e saídas no sistema de material particulado, nitrogênio e fósforo totais, carbono orgânico e inorgânico e energia foram mensuradas. Além disso, foram determinados os conteúdos de nitrogênio e fósforo totais, carbono orgânico e inorgânico e energia em cada compartimento do biossistema, conforme descrito a seguir.

2.4.1 Compartimento Peixes e Insumos

Na ocasião do povoamento, uma amostra da população foi pesada para a determinação da massa inicial. Toda a ração fornecida durante todo o cultivo foi somada e amostras aleatórias foram coletadas durante o cultivo para determinação de nitrogênio, fósforo e energia, juntamente com amostras dos organismos, coletados com frequência mensal até o momento da despesca. Para as amostras de peixes foram determinadas os teores de nitrogênio total, fósforo total, energia e carbono orgânico e inorgânico para o pescado inteiro *in natura*, com vísceras e escamas.

2.4.2 Compartimento Água

Amostras da água de cultivo foram coletadas mensalmente para a determinação de material particulado, amônia, nitrato, nitrito, nitrogênio total, ortofosfato, fósforo total, carbono orgânico e carbono inorgânico. As amostras foram obtidas no interior das câmaras de

sedimentação, instalados sob três tanques-rede aleatórios, e em uma área afastada em 400 m do cultivo (controle).

2.4.3 Compartimento Sedimento

O sedimento gerado sob os tanques rede foi medido com a instalação de câmaras de sedimentação sob cada estrutura, em coletas mensais. Os coletores (em triplicata) foram instalados sob três tanques-rede aleatórios, e permaneciam submersos durante 72 horas. Cada amostra dos sedimentos foi pesada e os valores de concentração de material particulado e matéria orgânica foram calculados segundo BUFFON et al. (2009). Foi calculada ainda a taxa de sedimentação natural do reservatório, com a instalação de três conjuntos de câmaras de sedimentação na região controle.

2.4.4 Análises de nutrientes

Os conteúdos de nitrogênio total, fósforo total, energia e carbono orgânico e inorgânico, nas rações e nos peixes foram analisados segundo os métodos APHA (2005, 4500-N C), APHA (2005, 4500-P B3), bomba calorimétrica e analisador de carbono (VARIO-TOC), respectivamente.

Foram determinadas para as amostras de água no interior das câmaras de sedimentação as concentrações de nitrogênio total (KOROLEFF, 1976), fósforo total e ortofosfato (GOLTERMAN et al., 1978), nitrato e nitrito (MACKERETH et al., 1978) e carbono orgânico e inorgânico (analisador de carbono VARIO-TOC).

Ao final, a contribuição líquida do cultivo, em termos de material particulado, amônia, nitrato, nitrito, nitrogênio total, ortofosfato, fósforo total, carbono orgânico e carbono inorgânico foi calculada pela subtração da sedimentação natural (controle) pela sedimentação registrada abaixo dos tanques-rede.

2.5 MODELAGEM DPSIR

O modelo conceitual foi implementado com o auxílio do *software Multisectorial, Integrated and Operational Decision Support System for Sustainable Use of Water Resources at the Catchment Scale* (MULINO mDSS) v5.12 (GIUPPONI, 2007). Como dados de entrada neste modelo foi utilizado um subconjunto do conjunto inicial de indicadores selecionados, totalizando 20 indicadores de sustentabilidade distribuídos nas três dimensões consideradas e ao longo dos critérios DPSIR (Tabela 3). Para integrar este subconjunto foram selecionados os indicadores que melhor refletiram as mudanças no sistema de acordo com as diferentes densidades de estocagem modeladas. Desta maneira os indicadores selecionados serviram de entrada no *software*, e foram então agrupados de acordo com os critérios DPSIR, que consideram: (i) indicadores de Forças Motrizes, sendo considerada aqui a atividade de aquicultura em tanques-rede; (ii) indicadores de Pressão sobre o ecossistema; (iii) indicadores de Estado das condições atuais do sistema estudado; (iv) indicadores dos Impactos causados pela atividade; e (v) possíveis Respostas em termos de manejo para mitigação dos impactos gerados. Uma análise de sensibilidade foi executada, através de uma sub rotina do programa. Esta análise avalia o comportamento dos cenários modelados em resposta à mudanças em cada um dos indicadores, individualmente, e aponta quais são os indicadores mais importantes para o sistema. Os indicadores mais importantes são aqueles que pequenas mudanças em seus valores influenciam fortemente na sustentabilidade do sistema. Na modelagem realizada estes indicadores receberam o dobro do peso atribuído aos demais.

Tabela 3. Indicadores utilizados como entrada no MULINO para modelagem DPSIR.

Indicador	Peso	Critério	Dimensão Primária
Dependência de água	0,038	Força Motriz	Ambiental
Lucro	0,038	Força Motriz	Econômica
Produção	0,038	Força Motriz	Todas
Relação Renda Investimento	0,038	Força Motriz	Econômica
Renda anual	0,077	Força Motriz	Econômica
Trabalho por Produção	0,038	Força Motriz	Social
Uso do espaço	0,038	Força Motriz	Ambiental
Aclúmulo de M.O.	0,077	Pressão	Ambiental
Acúmulo de M.P.	0,038	Pressão	Ambiental
Uso de Energia	0,038	Pressão	Ambiental
Uso de Fósforo	0,038	Pressão	Ambiental
Uso de Nitrogênio	0,038	Pressão	Ambiental
Custo Proporcional do Trabalho	0,077	Estado	Social
Eficiência Uso da Energia	0,038	Estado	Ambiental
Eficiência Uso Fósforo	0,038	Estado	Ambiental
Eficiência Uso Nitrogênio	0,038	Estado	Ambiental
Relação Benefício Custo	0,077	Estado	Econômica
Remuneração por Produção	0,077	Estado	Social
Potencial de Acidificação	0,038	Impactos	Ambiental
Potencial de Eutrofização	0,077	Impactos	Ambiental
Mudanças nos indicadores		Resposta	Todas

A sustentabilidade real do sistema de cultivo foi avaliada sob este arcabouço, bem como foi comparado com outros quatro cenários alternativos (e hipotéticos), considerando diferentes densidades de estocagem para a piscicultura em questão, totalizando cinco opções, a saber: a) DENS 225, cenário hipotético onde o sistema opera com uma densidade de estocagem de 225 ind./m³; b) DENS 200, realidade, onde o sistema opera com uma densidade de estocagem de 200 ind./m³, praticada atualmente; c) DENS 175, cenário hipotético onde o sistema opera com uma densidade de estocagem de 175 ind./m³; d) DENS 150, cenário hipotético onde o sistema opera com uma densidade de estocagem de 150 ind./m³; e e) DENS 125, cenário hipotético onde o sistema opera com uma densidade de estocagem de 125 ind./m³. Os indicadores foram utilizados como informação de entrada no modelo, de modo que o comportamento e os valores dos indicadores foram recalculados e estimados para os quatro cenários alternativos considerados. O algoritmo de decisão utilizado foi o SAW (*Simple Additive Weighting*).

O *software* MULINO executa uma análise comparativa, de modo que a performance dos indicadores é calculada para cada cenário e atribuída uma escala que vai de 0 a 100, sendo 0 o cenário menos sustentável e 100 o mais sustentável dentre as opções consideradas. Assim, ao final da modelagem os quatro cenários e a realidade foram classificados quanto a sua sustentabilidade nas três dimensões avaliadas, bem como quanto à sustentabilidade geral, sendo atribuído a cada cenário um sub-índice por dimensão avaliada e um índice global de sustentabilidade. Os cenários alternativos e o real foram então enquadrados conforme escala de performance (Tabela 4).

Tabela 4. Escala de performance utilizada na classificação da sustentabilidade dos cenários modelados. (Fonte: VALENTI et al., 2008)

Escala	Classificação
0 - 20	Não sustentável
20 - 40	Baixa sustentabilidade
40 - 60	Média sustentabilidade
60 - 80	Potencialmente sustentável
80 - 100	Sustentável

3 RESULTADOS

3.1 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA

A piscicultura foi amparada financeiramente por projetos e subsídios governamentais desde sua implantação, custeando tanques-rede, alevinos, ração, combustível e fornecendo capacitação técnica aos associados, para o desenvolvimento das atividades do empreendimento. Hoje o empreendimento funciona principalmente com recursos próprios, diminuindo sua dependência de projetos externos para continuar suas atividades.

A AQUAPO não realizou investimentos com capital próprio, uma vez que o investimento inicial para início da atividade e subsequentes investimentos anuais para manutenção foram recebidos de órgãos financiadores, a fim de promover a atividade na região. Assim, para o cálculo dos investimentos foram considerados os valores dos projetos financiados como sendo o capital investido ao longo dos anos, a saber, sendo investido o

montante de R\$ 19398,09 no ano de 2005 (investimento inicial); o montante de R\$ 67000,00 durante os anos de 2006 a 2008; e o montante de R\$ 80000,00 durante os anos de 2009 a 2012. Neste caso, o total de investimentos recebidos foi de R\$ 166398,09, desde o início das atividades da piscicultura, até o momento do estudo. Os componentes do capital investido incluem ração, alevinos e tanques-rede, entre outros gastos menores, que foram calculados e separados em custos fixos e custos variáveis.

A produção líquida, receita bruta e despesas totais ao longo dos anos estão sumarizadas na Tabela 5. A associação não mantinha registros entre os períodos de 2005 a 2006, então para efeito deste estudo foi utilizado apenas os períodos produtivos entre 2007 e 2012, totalizando um horizonte de seis anos.

Tabela 5. Histórico de produção, receitas e despesas da AQUAPO.

Tempo (ano)	Produção (t)	Receita (R\$)	Despesas (R\$)
2007	12,4	54600	37200
2008	22,4	100800	70560
2009	18,7	99200	59840
2010	22,4	118700	72800
2011	31,3	221200	101725
2012	33	176700	115500

O fluxo de caixa foi calculado para os anos de 2007 a 2012, e o fluxo líquido foi positivo em todos os anos considerados, a partir do momento posterior ao investimento inicial, o que mostra a liquidez do projeto ao longo do tempo e afirma sua viabilidade econômica (Tabela 6).

Tabela 6. Fluxo de caixa para os anos de 2007 a 2012, considerando o capital inicial investido.

Ano	Entrada		Saída	Fluxo líquido (R\$)
	Receita (R\$)	Investimento (R\$)	Despesa operacional (R\$)	
0		19398,09		-19398,09
1	54600		37200	17400
2	100800		70560	30240
3	99200		59840	39360
4	118700		72800	45900
5	221200		104855	116345
6	176700		115500	61200

Os indicadores de sustentabilidade econômica revelam que o sistema é viável economicamente, pois apresenta uma taxa interna de retorno maior que a taxa de atratividade (considerada como igual a 8%) (Tabela 7). O valor presente líquido positivo reforça a posição do empreendimento como economicamente válido. Por outro lado a relação custo benefício indica que a cada R\$ 1,00 investido no empreendimento, apenas R\$ 1,35 foram transformados em benefícios econômicos para os envolvidos, um valor considerado baixo. Ainda assim, a relação entre a renda anual média e o investimento feito foi relativamente elevada. Os indicadores lucro e renda foram considerados economicamente satisfatórios.

Tabela 7. Indicadores de sustentabilidade econômica.

Indicador	Resultado	
1. Relação Renda Investimento	R\$	2,67
2. Taxa Interna de Retorno		52%
3. Período de Retorno do Capital		3,22 anos
4. Relação Benefício/Custo	R\$	1,35
5. Valor Presente Líquido	R\$	190.158,23
6. Lucro	R\$	41.244,00
7. Renda Anual	R\$	49.200,00
8. Taxa de Risco		75%
9. Diversidade de Produtos		5
10. Diversidade de Mercados		5
11. Capital Investido Gerado na Atividade	R\$	-

3.2 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

As concentrações de formas nitrogenadas, formas fosfatadas e formas carbonadas mostram uma diferenciação entre a área da piscicultura e a região afastada do cultivo (controle), evidenciando a influência do cultivo em tanques-rede na elevação dos níveis de nutrientes sedimentados no reservatório, uma vez que durante a maior parte do tempo a contribuição líquida (sedimentação na região da piscicultura subtraída da sedimentação natural do reservatório) foi positiva (Tabela 8). A contribuição da piscicultura na sedimentação das formas nitrogenadas foi maior nos 87 dias de cultivo, enquanto a sedimentação das formas fosfatadas e carbonadas foi gradativamente aumentando, atingindo seu valor máximo no final do cultivo.

Os indicadores de sustentabilidade ambiental calculados mostraram uma baixa dependência de água e de espaço, utilizando uma área de 0,01 m² por quilograma de pescado produzido e um volume de 4,7 m³ por tonelada (Tabela 9). Por outro lado o sistema mostrou uma relativa ineficiência no uso dos nutrientes e da energia, uma vez que apenas 21% do nitrogênio, 17% do fósforo e 5% da energia aplicados na produção são recuperados em biomassa animal. O sistema possui ainda uma elevada emissão de material particulado, da ordem de 0,08 Kg por quilograma de peixe produzido, sendo que aproximadamente 90% desta emissão é de matéria orgânica, o que gera uma emissão de 0,07 Kg de matéria orgânica por quilograma de pescado. O potencial de eutrofização foi estimado com uma liberação de 56,95 Kg de fósforo por tonelada de pescado produzido. O potencial de acidificação do ambiente, medido pela liberação de enxofre foi igual a 7,68 Kg de enxofre por tonelada de pescado. No tocante à poluição por herbicidas, pesticidas e hormônios, o valor foi considerado igual a zero, uma vez que nenhum destes produtos é utilizado no sistema em questão.

Tabela 8. Valores médios de sedimentação de nutrientes e contribuição líquida da piscicultura. TR: Tanques-rede; CT: Controle; Contr.: Contribuição líquida dos tanques-rede (sedimentação na região da piscicultura subtraída da sedimentação natural); Orto: Ortofosfato; NT: Nitrogênio Total; PT: Fósforo Total; COT: Carbono orgânico total; CIT: Carbono inorgânico total.

Dia	Local	Amônia (ug/cm²/dia)	Nitrato (ug/cm²/dia)	Nitrito (ug/cm²/dia)	Orto (ug/cm²/dia)	NT (mg/cm²/dia)	PT (ug/cm²/dia)	COT (mg/cm²/dia)	CIT (mg/cm²/dia)
12	TR	1,45	2,71	0,01	0,83	0,03	114,29	0,31	0,09
	CT	0,03	1,81	0,00	0,04	0,01	0,40	0,19	0,07
	Contr.	1,43	0,90	0,01	0,79	0,03	113,89	0,12	0,02
42	TR	0,94	2,31	0,02	18,30	0,06	111,14	0,29	0,09
	CT	0,09	1,40	0,01	NA	0,01	0,51	0,20	0,07
	Contr.	0,85	0,91	0,02	18,30	0,05	110,63	0,09	0,02
67	TR	0,71	3,36	0,03	27,73	2,96	106,11	0,34	0,09
	CT	0,26	2,53	0,01	0,00	0,01	0,29	0,20	0,07
	Contr.	0,46	0,82	0,02	27,72	2,96	105,82	0,14	0,02
87	TR	3,62	8,84	0,05	21,26	0,05	102,73	0,92	0,05
	CT	0,36	2,87	0,02	0,00	0,01	1,07	0,32	0,09
	Contr.	3,26	5,96	0,03	21,25	0,04	101,66	0,60	0,00
115	TR	0,17	2,99	0,07	35,09	0,04	115,81	0,84	0,10
	CT	0,27	2,25	0,00	0,00	0,01	0,59	0,28	0,09
	Contr.	0,00	0,74	0,07	35,09	0,03	115,21	0,55	0,01
150	TR	0,12	5,95	0,03	61,59	0,05	129,87	0,71	0,14
	CT	0,18	2,45	0,00	0,06	0,01	0,60	0,25	0,08
	Contr.	0,00	3,50	0,03	61,53	0,04	129,27	0,46	0,06

Tabela 9. Indicadores de sustentabilidade ambiental.

Indicador	Resultado
1. Uso do Espaço	0,0141 m ² /Kg
2. Dependência de Água*	4,6938 m ³ /t
3. Uso de Energia	98,0169 MJ/Kg
4. Proporção de Energia Renovável	0%
5. Uso do Nitrogênio	0,0825 Kg N/Kg
6. Uso do Fósforo	0,0104 Kg P/Kg
7. Eficiência Uso da Energia	5%
8. Eficiência Uso Nitrogênio	21%
9. Eficiência Uso Fósforo	17%
10. Produção Efetivamente Utilizada	89%
11. Potencial de Eutrofização*	56,9514 Kg P/t
12. Poluição Geral	0 Kg/Kg
13. Poluição por Hormônios	0 Kg Kg
14. Potencial de Acidificação	7,6838 Kg S/t
15. Acúmulo de Fósforo	0,0009 Kg P/Kg
16. Acúmulo de Mat. Orgânica	0,0672 Kg M.O./Kg
17. Acúmulo de Mat. Particulado	0,0789 Kg M.P./Kg
18. Risco da Espécie Cultivada	5

*Indicador estimado segundo Boyd et al. (2007).

3.3 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE SOCIAL

Os indicadores de sustentabilidade social revelam que o trabalho requerido é reduzido, da ordem de 29 horas-homem-ano por metro quadrado (hha/m²), ou 0,4 horas-homem por quilograma de pescado produzido (hh/Kg). Ainda assim o sistema promove uma distribuição de renda de aproximadamente R\$ 2,00 e uma remuneração da mão-de-obra relevante, da ordem de R\$ 2,50 por quilograma de pescado produzido. Por se tratar de uma estrutura em associação, os associados recebem a mesma quantia, sendo a equidade salarial do sistema igual a 100%. A inclusão de racial (55%) e etária (66%) podem ser consideradas razoáveis, enquanto a inclusão de gênero (48%) não é satisfatória, uma vez que somente homens constam no quadro associativo. Um dos pontos negativos do sistema é a baixa geração de postos de trabalho e de ocupação direta, uma vez que o número de postos de trabalho gerados e os beneficiários diretos da venda do pescado são poucos, em relação ao montante investido no empreendimento. Vale salientar ainda que a renda gerada pela atividade não foi fixada no

município, onde apenas 2% das aquisições foram feitas no mercado local e o restante das aquisições foi realizada em outros municípios ou estados (Tabela 10).

Tabela 10. Indicadores de sustentabilidade social.

Indicador	Resultado
1. Equidade Salarial	100%
2. Custo Proporcional do Trabalho	42%
3. Distribuição de Renda	R\$ 2,06
4. Remuneração por Produção	R\$ 2,58 /Kg
5. Inclusão Racial	55%
6. Inclusão de Gênero	48%
7. Inclusão Etária	66%
8. Trabalho por Área	29,75 hha/m ²
9. Trabalho por Produção	0,44 hh/Kg
10. Geração de Ocupação Direta	<< 0 emprego/R\$
11. Geração de Postos de Trabalho	<< 0 emprego/R\$
12. Proporção Auto empregos	100%
13. Uso de Mão de obra Local	100%
14. Fixação de Renda	2%
15. Consumo Local	100%
16. Programas de Saúde	0%
17. Escolaridade	10%
18. Permanência na Atividade	3,25 anos
19. Participação da Comunidade	100%
20. Segurança no Trabalho	91%

<< 0: Muito menor do que zero.

3.4 MODELAGEM DA SUSTENTABILIDADE

A modelagem revelou que a sustentabilidade dos cenários avaliados é relativamente semelhante em relação aos pilares da sustentabilidade (quanto mais ao centro do triângulo, mais igualmente distribuída é a sustentabilidade), com uma ressalva para o cenário DENS 125, que apresentou uma sustentabilidade deslocada para a dimensão ambiental, em detrimento das demais dimensões (Figura 2).

Os sub-índices de sustentabilidade gerados apontam que o cenário com maior densidade (DENS 225) foi mais sustentável em termos econômicos, enquanto o cenário com

densidade intermediária (DENS 175) foi socialmente mais sustentável que os demais, além de destacar o cenário com menor densidade (DENS 125) como o mais ambientalmente sustentável (Tabela 11).

É importante perceber que o deslocamento da sustentabilidade em direção a um dos pilares sempre é feito em detrimento dos outros dois pilares, e assim sendo, o índice geral de sustentabilidade apontou que a realidade (DENS 200) é o mais sustentável em termos absolutos, sendo classificado como potencialmente sustentável. Por outro lado o cenário DENS 125 foi classificado como de baixa sustentabilidade, enquanto os demais cenários (DENS 225, DENS 175 e DENS 150) foram classificados com média sustentabilidade, segundo a escala de classificação adotada neste estudo (ver Tabela 3).

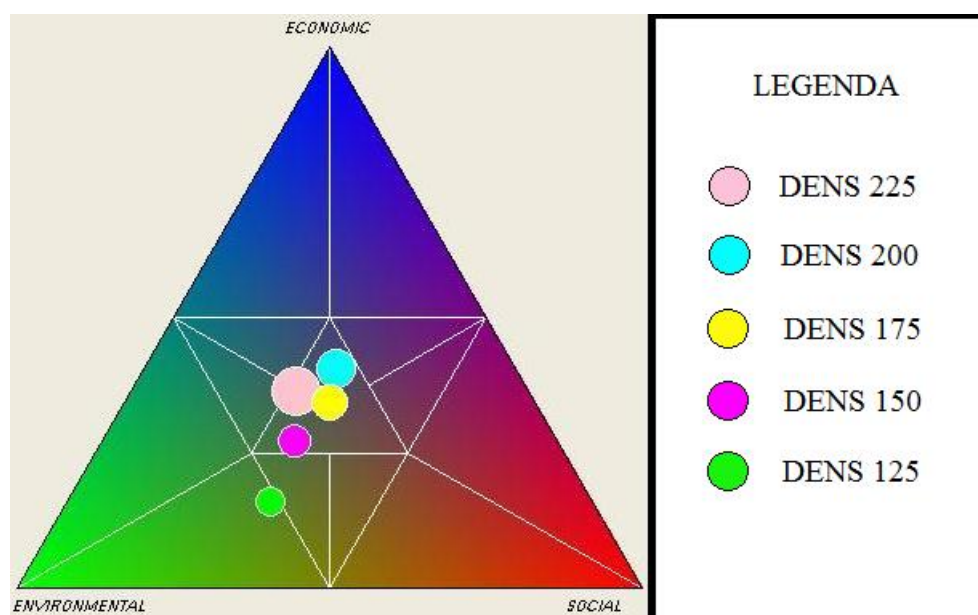


Figura 2. Triângulo da sustentabilidade para os quatro cenários modelados mais a realidade.

Tabela 11. Escores da sustentabilidade para cada dimensão considerada em cada cenário modelado mais o real e índice geral de sustentabilidade. Escores em negrito indicam o cenário mais sustentável para cada dimensão e para o índice geral. Amb: Dimensão ambiental; Soc: Dimensão social; Eco: Dimensão econômica.

Cenário	Escore			Índice
	Amb	Soc	Eco	
DENS 225	29	31	40	51
DENS 200	37	26	37	65
DENS 175	33	33	34	46
DENS 150	42	31	27	42
DENS 125	51	32	16	38

4 DISCUSSÃO

4.1 DIMENSÃO ECONÔMICA

O sistema estudado mostrou uma potencial sustentabilidade econômica, sendo viável financeiramente pelos indicadores utilizados. De uma maneira geral os indicadores econômicos clássicos como Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL) apresentaram valores satisfatórios e atraentes, mostrando que o sistema gera benefícios financeiros e produz um retorno monetário capaz de gerar lucro e rendas anuais suficientes para manter o sistema funcionando e gerando divisas ao longo do tempo. CAMPOS et al. (2007) na avaliação de um sistema de cultivo privado, e com os resultados da TIR de 57% e um VPL positivo considerou o sistema como altamente viável economicamente. O sistema avaliado no presente trabalho apresentou uma TIR de 52% e um VPL também positivo, com um período de retorno do capital de pouco mais de três anos. Estes indicadores mostram a capacidade do sistema em estudo em converter os custos em capital para o empreendimento, indicando que mesmo a estrutura em associação comunitária gera retornos financeiros atrativos.

Com uma lucratividade calculada de 23% ao ano, o sistema de cultivo da AQUAPO foi considerado altamente lucrativo quando comparado a outros privados (CAMPOS et al.,

2007; FURLANETO et al., 2006). Esta alta lucratividade é principalmente devida à isenção de impostos e subvenções econômicas oferecidas aos empreendimentos na forma de associação, o que diminui os custos e conseqüentemente eleva o lucro mensal. As rendas anuais e a taxa de lucratividade do sistema foram bastante semelhantes à renda e lucratividade encontradas por SABBAG et al. (2007), quando estudando uma piscicultura gerida por associação de piscicultores. Por outro lado, no sistema em questão foi observado um longo tempo de retorno do capital e uma baixa relação benefício/custo quando comparado com empreendimentos privados (ALMEIDA, 2013; MILITÃO et al., 2003). Provavelmente está diferenciação está mais relacionada com dificuldades gerenciais e de administração de recurso por parte das associações. Assim, quando comparados, o sistema em estudo leva mais tempo para pagar o capital investido e converte menos capital em benefícios econômicos, mas possui uma taxa interna de retorno e uma rentabilidade que o tornam bastante viável.

A Taxa de Risco de 75% indica uma alta sustentabilidade e a presença de poucos fatores de risco econômico para o empreendimento. A relação entre a renda média anual e o investimento inicial foi satisfatória (R\$ 2,66), indicando que o montante investido foi transformado em renda de maneira eficiente. Entretanto, o montante de capital reinvestido no empreendimento, expresso pelo indicador de capital investido gerado na atividade, foi considerado igual a zero, uma vez que os investimentos realizados ao longo da existência do empreendimento foram através de projetos governamentais. A quantidade de produtos ofertados e o número de mercados atingidos foi considerado adequado para o empreendimento, não diminuindo a sustentabilidade, uma vez que toda a produção consegue ser escoada e atender a demanda local.

4.2 DIMENSÃO AMBIENTAL

O sistema de produção em estudo apresentou uma sustentabilidade ambiental moderada. A produção de tilápias em tanques-rede é uma das que menos se apropria do recurso hídrico em termos de espaço, e tem uma baixa dependência de água (BOYD, 2005). Este fator eleva a sustentabilidade do sistema de uma maneira geral, já que permite uma produtividade elevada com uma dependência de água relativamente baixa. Deste modo, problemas de sustentabilidade ambiental relacionados ao uso da água são menos influenciados

pela apropriação deste recurso, e mais relacionados com a geração de resíduos, poluição orgânica e introdução de espécies exóticas como a Tilápia. De fato, VERDEGEM e BOSMA (2009) sugerem que a produção aquícola a nível mundial pode ser triplicada sem o incremento no uso e dependência de água. Neste contexto, o aumento na produtividade se daria por técnicas de manejo mais eficientes, que gerassem menos resíduos, menos escapes dos organismos cultivados e maior conversão dos nutrientes ofertados em biomassa, sem necessariamente existir a expansão da atividade em termos de uso e ocupação de espelho d'água.

Sistemas intensivos de cultivo tem uma dependência elevada de ração com altos níveis proteicos, levando a um elevado uso de nutrientes para a produção. No presente estudo o uso de nitrogênio foi da ordem de 80 Kg por cada tonelada de pescado produzido, juntamente com 10 kg de fósforo por tonelada de peixe. Vale ainda salientar o elevado consumo de energia deste sistema, chegando a 98000 MJ por cada tonelada de pescado produzido, dentro dos quais, nenhuma fonte de energia renovável é utilizada. Estes valores são bem superiores aos encontrados por ALMEIDA (2013), que determinou um uso de 2 kg de fósforo e 7 kg de nitrogênio para cada tonelada de tilápia produzida em sistema de tanque-rede, além de um consumo de energia de 375 MJ por tonelada de peixe produzido. Assim, o uso de nutrientes é bastante elevado no sistema em estudo, entretanto, não somente a quantidade de nutrientes utilizados, mas a eficiência deste uso deve ser levada em consideração. A avaliação revelou que a maior parte dos nutrientes e energia adicionada ao sistema produtivo em questão é perdida para o ambiente, e não são transformados em biomassa animal. Desse modo, a eficiência no uso dos nutrientes talvez seja uma das principais ameaças para a sustentabilidade da aquicultura, como demonstrado para vários sistemas de cultivo por BOYD (2006) e BOYD e TUCKER (1998).

A porcentagem de cada nutriente que foi recuperada na biomassa despescada foi de 21% do nitrogênio aplicado e 17% do fósforo aplicado, e somente 5% da energia aplicada na forma de ração (mais trabalho, mão de obra e combustíveis fósseis, no caso do cálculo de energia) foi recuperada na forma de biomassa animal. BOYD et al. (2007) calculou que em sistemas de cultivo de tilápia-do-nilo em tanques-rede, a biomassa despescada representaria uma recuperação de até 40% do fósforo e 22,5% do nitrogênio aplicados na forma de ração. Vale salientar ainda que desta recuperação de nutrientes 11% ainda são perdidos na forma de biomassa animal não consumida, que termina por virar resíduo. Estes resultados estão muito

além dos encontrados no presente estudo, especialmente para o fósforo; indicando que o sistema de cultivo estudado é menos eficiente na recuperação dos nutrientes na forma de biomassa animal. Provavelmente esta discrepância esteja relacionada principalmente com a qualidade da ração utilizada, onde a oferta de rações com menor qualidade estrutural e nutricional proporciona uma maior perda de nutrientes para o ambiente, e consequentemente uma menor retenção destes nutrientes na forma de biomassa animal. Os resultados obtidos neste estudo são ainda corroborados pelas observações de ALMEIDA (2013), que constatou uma recuperação de 24% para nitrogênio e fósforo e de 6% da energia aplicada na biomassa de tilápia cultivada em tanques-rede. Fica evidente assim que este tipo de sistema tende a aproveitar pouco dos recursos que lhe são ofertados, e consequentemente gerar uma quantidade maior de resíduos para ao ambiente.

De uma maneira geral, a quantidade e qualidade da proteína inserida nas rações comerciais provavelmente é um dos grandes desafios à sustentabilidade de sistemas de cultivo altamente dependente de ração, pois a utilização de rações altamente proteicas e com proteínas de baixa qualidade (logo, com baixa digestibilidade e assimilação) promove um uso não sustentável destes nutrientes. Um dos principais fatores a ser levado em consideração é a taxa de conversão alimentar aparente para os cultivos, pois ela reflete quanto da massa de ração aplicada no sistema foi transformada em biomassa animal. ALMEIDA (2013) trabalhou com uma taxa de conversão de 1,63 encontrou melhores resultados em termos de eficiência de uso de nutrientes do que o sistema alvo deste estudo, que apresentou uma maior ineficiência no uso dos nutrientes e uma taxa de conversão de 1,95. Apesar da taxa de conversão alimentar aparente não ser a melhor alternativa para se estimar o consumo de ração pelos animais por desconsiderar a ração que não é consumida (VALENTI, 2012), este indicador tem sido bastante útil e representativo da quantidade de resíduos que o sistema potencialmente produz.

O potencial de poluição global do sistema, considerado como o somatório das emissões de fósforo, enxofre, hormônios e herbicidas mais pesticidas, é relativamente reduzido, com a liberação estimada de 56,95 Kg de fósforo por tonelada de pescado, juntamente com 7,68 Kg de enxofre, e sem liberação de pesticidas, herbicidas ou hormônios para cada tonelada de pescado produzido. Aliado a este reduzido potencial poluidor, um acúmulo de fósforo no sedimento relativamente baixo (0,9 Kg de por tonelada de pescado) evidência que o sistema produtivo em questão pode ser considerado relativamente sustentável

do ponto de vista ambiental. Trabalhos como o de ALMEIDA (2013) mostram que sistemas em tanques-rede podem emitir mais de 150 Kg de fósforo ao ano para o ambiente aquático, enquanto os resultados obtidos no presente estudo mostram que pouco mais de 100 kg de fósforo são despejados anualmente no reservatório.

Os resíduos sólidos gerados pelo sistema são equivalentes a quase 80 kg por cada tonelada de peixe produzido, o que implica, por exemplo, em uma geração de aproximadamente 2640 kg de resíduos sólidos somente no ano de 2012, considerando a produção de 33 toneladas de tilápia neste ano. Da mesma forma, também para um sistema de cultivo em tanques-rede ALMEIDA (2013) considera que a emissão de sedimentos para o ambiente é o principal agravante ambiental em cultivos intensivos em águas abertas. Entretanto, esta geração de resíduos é relativamente reduzida quando comparada a outros sistemas de produção em água doce. AZEVEDO et al. (2011) calculou uma geração de resíduos sólidos da ordem de 200 kg para cada tonelada de peixe produzida, sendo maior que o dobro da taxa encontrada neste estudo (de aproximadamente 80 kg por tonelada de peixe). Estes resultados mostram que apesar de existir uma geração expressiva de resíduos, o sistema em estudo ainda pode ser considerado relativamente sustentável, quando comparado com outros cultivos.

Este aporte contínuo de resíduos sólidos para o ambiente que é gerado pelos tanques-rede influencia principalmente no aumento das concentrações de Nitrogênio e Fósforo total no sedimento, principalmente abaixo dos tanques-rede e áreas logo adjacentes. Considerando que aproximadamente 90% dos resíduos gerados é matéria orgânica, o incremento em termos de nutrientes pode ser expressivo ao longo do tempo. Assim, o acúmulo destes sólidos suspensos no sedimento dos reservatórios com o tempo pode alterar as condições de fundo destes ambientes, e as alterações podem ser percebidas não só na área do cultivo, mas também em regiões próximas, assim como constatado por HUANG et al. (2012) e GUO e LI (2003). Desse modo, no presente estudo foi visto que a sustentabilidade ambiental foi fortemente influenciada por esta geração de resíduos sólidos, representando um dos principais gargalos para a sustentabilidade da produção.

4.3 DIMENSÃO SOCIAL

O empreendimento avaliado se mostrou moderadamente sustentável em sua dimensão social. O modelo de empreendimento em associação tem algumas implicações nesta sustentabilidade, uma vez que o empreendimento possui 100% da mão-de-obra constituída por moradores locais, dos quais 100% participam de atividades comunitárias, e por serem associados todos são donos do empreendimento, a divisão parcial dos lucros é feita de maneira igualitária entre os membros. Neste mesmo contexto a equidade salarial é de 100%. Por outro lado a geração de emprego diretos e de postos de trabalho é reduzida e atingem poucos beneficiários, diminuindo a sustentabilidade neste sentido.

O uso de mão-de-obra local ressalta e eleva o valor social da atividade. Entretanto, o número de membros da associação é reduzido, uma vez que a quantidade de trabalho por área e por produção é baixo neste tipo de sistema produtivo. Consequentemente, o número de pessoas a receberem os benefícios da atividade ainda é baixo, mas se considerarmos que cada trabalhador ali inserido representa uma família, esta geração e distribuição de renda do empreendimento atinge uma relevância social mais significativa. Vale ainda ressaltar que as condições de trabalho oferecidas pelo empreendimento proporcionam segurança aos envolvidos no processo produtivo. Por outro lado o empreendimento é socialmente relevante e proporciona inclusão social, de pessoas com baixa escolaridade (apenas um dos associados estuda), de diversas faixas etárias e raças, se limitando, porém ao emprego de homens nas atividades desenvolvidas. Provavelmente devido a esta importância para os associados o tempo médio de permanência na atividade tenha sido relativamente elevado, mostrando que os associados passam em média 3,25 anos na atividade, considerando os sete anos nos quais a AQUAPO existe.

Toda a produção oriunda do empreendimento em estudo é consumida pela comunidade local, o que indica que a atividade está trazendo melhorias locais em termos de aumentar a oferta e a qualidade da proteína animal consumida na comunidade local. Vale salientar ainda que este pescado não atinge somente as classes sociais mais elevadas, chegando também às classes sociais de menor poder aquisitivo, através de programas do governo para inserção de pescado na merenda escolar do município. Este indicador de consumo é um importante reflexo das melhorias na qualidade de vida da comunidade local, proporcionada pela atividade.

A geração de renda direta e de postos de trabalho em relação ao capital investido no empreendimento foi muito baixa, uma vez que poucos associados mantêm a atividade. Este

indicador, apesar de indicar uma baixa sustentabilidade social, reflete uma realidade que a maioria dos sistemas de cultivo em tanques-rede possui em necessitar de pouca mão-de-obra para manutenção das operações. A remuneração da mão-de-obra relativa à produção bruta do empreendimento ainda é relativamente baixa (menos de R\$ 3,00 por associado, por quilograma produzido), o que influencia diretamente em outros indicadores como acesso a programas de saúde, que no caso da AQUAPO, nenhum dos associados possui. O empreendimento apresenta uma distribuição de renda da ordem de R\$ 2,00, ou seja, a cada R\$ 1,00 em lucro, R\$ 2,00 são gastos para remunerar a mão-de-obra, remuneração esta que representa 42% dos custos de produção do sistema. Percebemos assim que o empreendimento remunera a mão de obra com um valor igual ao dobro do lucro ganho na atividade, e uma parcela razoável dos custos produtivos é para o pagamento dos associados, evidenciando que o empreendimento apresenta uma geração de benefícios sociais e em melhoria na qualidade de vida dos envolvidos na atividade.

Um dos indicadores mais críticos em relação à sustentabilidade social foi a fixação de renda na comunidade local (igual a 2%). Esta fixação de renda reduzida ocorre uma vez que a quase totalidade dos insumos (incluindo ração e alevinos) utilizados no sistema são comprados de outros municípios e outros estados. Assim, o lucro econômico gerado pela atividade não está permanecendo na comunidade na qual ela está inserida, o que diminui o poder do empreendimento em proporcionar desenvolvimento social e econômico local. Por outro lado, se a escala de fixação de renda for considerada a nível estadual a fixação de renda se inverte, atingindo mais de 90% da renda fixada no estado, sendo pouco recurso financeiro exportado para outros estados.

4.4 MODELAGEM DA SUSTENTABILIDADE

O sistema de produção estudado foi potencialmente sustentável através da modelagem dos indicadores de sustentabilidade. Esta potencial sustentabilidade foi considerada quando o sistema real foi comparado com quatro cenários alternativos. O cenário real foi o mais sustentável e o mais equilibrado entre os considerados, com escores relativamente equivalentes para as dimensões econômica, ambiental e social, e provavelmente por este motivo foi considerado potencialmente sustentável. Por outro lado, mesmo sendo o mais

sustentável em termos absolutos, o sistema real não apresentou o melhor desempenho de sustentabilidade em nenhuma das dimensões consideradas, quando analisadas isoladamente. Desta forma fica claro que a sustentabilidade não deve ser avaliada de um ponto de vista unilateral, nem pode ser avaliada através de somente uma faceta do seu espaço multidimensional. Mais do que isso, a sustentabilidade depende muito mais em balancear o sistema produtivo em conformidade com todos os pilares do que atingir um nível alto de sustentabilidade em uma dimensão em detrimento da sustentabilidade das demais esferas consideradas.

Ficou evidente que aumentar a densidade de estocagem no sistema de cultivo em estudo, apesar de beneficiar o sistema economicamente, gerando mais renda, maior lucratividade e uma melhor relação custo/benefício, não é um caminho sustentável. Do ponto de vista social os benefícios adicionais em pouco melhoram as condições de trabalho e qualidade de vida dos membros da associação, melhorando somente (e de forma reduzida) a remuneração da mão-de-obra. Ambientalmente falando este aumento na densidade elevaria sensivelmente a quantidade das emissões de resíduos para o ambiente, aumentando ainda o uso de ração, sem melhorar a eficiência no seu aproveitamento.

Por outro lado o cenário menos sustentável (DENS 125), apesar de ser bastante favorável ao meio ambiente elevando a sustentabilidade ambiental, é pouco viável do ponto de vista das outras dimensões. A sustentabilidade ambiental é favorecida uma vez que uma produção sensivelmente menor irá usar menos recursos ambientais e gerar menos resíduos para o reservatório. Economicamente o empreendimento se torna não sustentável uma vez que a baixa densidade acarreta um decréscimo na produção bruta, o que diminui consideravelmente a rentabilidade e a lucratividade do empreendimento. Pelo ponto de vista social, a sustentabilidade é diminuída quando os associados passam a receber menos pela produção, enquanto o trabalho requerido não sofre muitas alterações, e a distribuição de renda para os beneficiários é menor.

5 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o sistema de criação de Tilápia do Nilo instalado no reservatório de Santa Cruz pode ser classificado como potencialmente sustentável de uma maneira geral.

O sistema foi considerado economicamente sustentável, enquanto relativamente sustentável para as dimensões ambiental e social. De modo que os principais fatores que reduzem a sustentabilidade do empreendimento foram a geração de resíduos sólidos, a relativa ineficiência no uso dos nutrientes, a baixa geração de empregos diretos e reduzida fixação de renda na comunidade local.

Conclui-se ainda que o conjunto de indicadores utilizado é adequado para a avaliação da sustentabilidade em aquicultura e conseguiu satisfatoriamente refletir os principais pontos fortes e fracos para a sustentabilidade do sistema em estudo. Quanto ao modelo DPSIR, ficou evidenciado sua importância na avaliação desta sustentabilidade, principalmente no sentido de apontar os indicadores mais importantes para o sistema, além de fornecer uma visão holística da sustentabilidade das três dimensões consideradas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. *Indicadores de sustentabilidade do cultivo de tilápia-do-nilo (Oreochromis niloticus) em tanques-rede em um reservatório tropical*. 2013. 53 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

ANA (Agência Nacional de Águas). *Boletim de monitoramento dos reservatórios do nordeste do Brasil*. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Usos Múltiplos. Brasília, 2007.

APHA (American Public Health Association). *Standard methods for the examination of water and waste water*. Washington: APHA, 2005. p.4-81.

ARARIPE, M. N. B. A. et al. Efeito do cultivo de peixes em tanques-rede sobre o aporte de fósforo para o ambiente. *Revista Científica de Produção Animal*, v.8, n.2, p.56-65, 2006.

AYROZA, D. M. M. R.; FURLANETO, F. P. B.; AYROZA, L. M. S. Regularização dos projetos de tanques-rede em águas públicas continentais de domínio da união no estado de São Paulo. *Boletim Técnico do Instituto de Pesca*, v.36, p.1-32, 2006.

AZEVEDO, P. A.; PODEMSKI, C. L.; HESSLEIN, R. H.; KASIAN, S. E. M.; FINDLAY, D. L.; BUREAU, D. P. Estimation of waste outputs by a rainbow trout cage farm using a nutritional approach and monitoring of lake water quality. *Aquaculture*, v.311, p.175–186, 2011.

BOYD, C. E. Effluent effects. *Global Aquaculture Advocate*, v.9, n.3, p.62–63, 2006.

BOYD, C. E. Water use in aquaculture. *World Aquaculture*, v.36, n.3, p.12–15, 2005.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998.

BOYD, C. E.; TUCKER, C.; MCNEVIN, A.; BOSTICK, K.; CLAY, J. Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. *Reviews in Fisheries Science*, v.15, p.327-360, 2007.

BRUSCHI, F. L. F. *Rendimento, composição química e perfil de ácidos graxos de pescados e seus resíduos: uma comparação*. 2001. 65f. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2001.

BUFFON, A. G. M.; TAUKE-TORNISIELO, S. M.; PIÃO, A. C. S. Tempo de vida útil da represa velha da microbacia do córrego da barrinha, Pirassununga, SP, Brasil. *Arquivos do Instituto Biológico*, v.76, n.4, p.673-679, 2009.

CAFFEY, R. H.; KAZMIERCZAK, R. F.; AVAULT, J. W. *Developing consensus indicators of sustainability for south-eastern United States aquaculture*. Louisiana State University, Agricultural Center, Bulletin, 879, 40 p., 2001.

CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; CAMARGO, R. A. et al. Estudo de indicadores de saúde ambiental e de saneamento em cidade do Norte do Brasil. *Engenharia Sanitária & Ambiental*, v.14, n.1, p.19-28, 2009.

CAMPOS, C. M.; GANECO, L. N.; CASTELLANI, D.; MARTINS, M. I. E. Avaliação econômica da criação de tilápias em tanque-rede, município de Zacarias, SP. *Boletim do Instituto de Pesca*, v.33, n.2, p.265-271, 2007.

DALSGAARD, J. P. T.; LIGHTFOOT, C.; CHRISTENSEN, B. Towards quantification of ecological sustainability in farming systems analysis. *Ecological Engineering*, v.4, p.181-189, 1995.

DALSGAARD, J. P. T.; OFICIAL, R. T. A quantitative approach for assessing the productive performance and ecological contributions of smallholder farms. *Agricultural Systems*, v.55, n.4, p.503-533, 1997.

DEMIRAK, A.; BALCI, A.; TÜFEKÇİ, M. Environmental impact of the marine aquaculture in Güllük Bay, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, v.123, p.1-12, 2006.

FAO (Fisheries and Aquaculture Department). *Fishstat plus*: universal software for fishery statistical time series. Aquaculture production: quantities 1950-2005, Aquaculture production: values 1984-2005; Capture production: 1950-2005. Fisheries Department, Fishery Information Data and Statistics Unit. Rome, 2007.

FAO (Fisheries and Aquaculture Department). *The State of World Fisheries and Aquaculture - 2008 (SOFIA)*. Rome: Fisheries and Aquaculture Department, 2009. 176 p.

FRANKIC, A.; HERSHNER, C. Sustainable aquaculture: developing the promise of aquaculture. *Aquaculture International*, v.11, p.517-530, 2003.

FERNANDES, J. B. *Análise da sustentabilidade econômica e social na produção extensiva de ostras em uma região subtropical*. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, Jaboticabal, 2013.

FURLANETO, F. P. B.; AYROZA, D. M. M. R.; AYROZA, L. M. S. Custo e rentabilidade da produção de tilápia (*Oreochromis spp.*) em tanque-rede no médio Paranapanema, estado de São Paulo, safra 2004/051. *Informações Econômicas*, v.36, n.3, p.63-69, 2006.

GIBBS, M. T. Sustainability performance indicators for suspended bivalve aquaculture activities. *Ecological Indicators*, v.7, p.94-107, 2007.

GIUPPONI, C. Decision Support Systems for Implementing the European Water Framework Directive: the MULINO approach. *Environmental Modeling and Software*, v.22, n.2, p.248-258, 2007.

GOLTERMAN, H. L.; CLIMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. 2.ed. Oxford: IBP, 1978. 213p.

GONZÁLEZ, O. H. A.; BELTRÁN, L. F.; CÁCERES-MARTÍNEZ, C.; RAMÍREZ, H.; HERNÁNDEZ-VAZQUEZ, S.; TROYO-DIEGUEZ, E.; ORTEGA-RUBIO, A. Sustainability development analysis of semi-intensive shrimp farms in Sonora, México. *Sustainable Development*, v.11, p.213–222, 2003.

GUO, L.; LI, Z. Effects of nitrogen and phosphorus from fish cage-culture on the communities of a shallow lake in middle Yangtze River basin of China. *Aquaculture*, v.226, p.201–212, 2003.

HEINK, U.; KOWARIK, I. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, v.10, p.584–593, 2010.

HUANG, Y. A.; HUANG, S.; HSIEH, H. J.; MENG, P.; CHEN, C. A. Changes in sedimentation, sediment characteristics, and benthic macrofaunal assemblages around marine cage culture under seasonal monsoon scales in a shallow-water bay in Taiwan. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v.422-423, p.55–63, 2012.

ISO. 2003. *ISO 14041*. International Organization for Standardization, Geneva, Suíça. Disponível em: <http://www.iso.org>. Acesso em 22 de Junho de 2011.

JOHNSTON, P.; EVERARD, M.; SANTILLO, D.; ROBÈRT, KARL-HENRIK. Reclaiming the definition of sustainability. *Environmental Science & Pollution Research*, v.14, n.1, p.60-66, 2007.

KIMPARA, J. M.; ZADJBAND, A. D.; VALENTI, W. C. Medindo a sustentabilidade na aquicultura. *Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia*, v.38, n.2, 2010.

KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. (Ed.). *Methods of seawater analysis*. New York: Verlag Chemie Weinheim, 1976. p. 117-181.

KRUSE, S. A.; FLYSJÖ, A.; KASPERCZYK, N.; SCHOLZ, A. J. Socioeconomic indicators as a complement to life cycle assessment – an application to salmon production systems. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v.14, p.8-18, 2009.

MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. *Water analysis: some revised methods for limnologists*. London: Freshwater Biological Association, 1978. 121 p.

MILITÃO, E. S.; COSTA, C. S.; COSTA, S. M. A. L.; FERNANDES, W. B. Custo de produção de tilápia (*Oreochromis spp.*) em tanques-rede em Ilha Solteira, São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 45., 2003, Londrina, Paraná. *Proceedings...* Londrina: [s.n.], 2003.

MPA (Ministério da Pesca e Aquicultura). *Produção pesqueira e aquícola: estatística 2008 e 2009*. Ministério da Pesca e Aquicultura, 2010. 29 p.

NOBRE, A. M. An ecological and economic assessment methodology for coastal ecosystem management. *Environmental Management*, v.44, p.185-204, 2009.

NOBRE, A. M.; ROBERTSON-ANDERSSON, D.; NEORI, A.; SANKAR, K. Ecological-economic assessment of aquaculture options: comparison between abalone monoculture and integrated multi-trophic aquaculture of abalone and seaweeds. *Aquaculture*, v.306, p.116-126, 2010.

ODUM, H. T. Emergy in ecosystems. In: POLUNIN, N. (Ed.). *Environmental Monographs and Symposia*. New York: John Wiley, 1986. p. 337–369.

OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J. R.; SOTO, D. Aquicultura no Brasil: o desafio é crescer. Brasília: SEAP, 2008. p.135-158.

POLAZ, C. N. M.; TEIXEIRA, B. A. N. Indicadores de sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos: um estudo para São Carlos (SP). *Engenharia Sanitária & Ambiental*, v.14, n.3, p.411-420, 2009.

PROENÇA, D. C. *Aplicação de indicadores e índices para avaliar a sustentabilidade ambiental em um sistema de aquicultura integrado e multitrófico, com diferentes substratos*. 2013. 33 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, Jaboticabal, 2013.

REES, W. E.; WACKERNAGEL, M. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: measuring the natural capital requirements of the human economy. In: JANSSON, A. M.; HAMMER, M.; FOLKE, C.; COSTANZA, R. (Eds.). *Investing in Natural Capital: the Ecological Economics Approach to Sustainability*. Washington: Island Press, 1994. p. 362-389.

REY-VALETTE, H.; CLÉMENT, O.; AUBIN, J.; MATHÉ, S.; CHIA, E.; LEGENDRE, M.; CARUSO, D.; MIKOLASEK, O.; BLANCHETON, J. P.; SLEMBROUCK, J.; BARUTHIO, A.; RENÉ, F.; LEVANG, P.; MORRISSENS, P.; LAZARD, J. *Guide to co-construction of sustainable development indicators in aquaculture*. Montpellier: EVAD, 2008. 144 p.

REY-VALETTE, H.; CLÉMENT, O.; AUBIN, J.; MATHÉ, S.; CHIA, E.; LEGENDRE, M.; CARUSO, D.; MIKOLASEK, O.; BLANCHETON, J. P.; SLEMBROUCK, J.; BARUTHIO, A.; RENÉ, F.; LEVANG, P.; MORRISENS, P.; LAZARD, J. *An approach to co-construct sustainable development indicators in aquaculture*. Montpellier: EVAD, 2010. 17 p.

ROTH, E.; ROSENTHAL, H.; BURBRIDGE, P. A discussion of the use of the sustainability index: “ecological footprint” for aquaculture production. *Aquatic Living Resources*, v.13, p.461-469, 2000.

SABBAG, O. J.; ROZALES, R. R.; TARSITANA, M. A. A.; SILVEIRA, A. N. Análise econômica da produção de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em um modelo de propriedade associativista em Ilha Solteira/SP. *Custos e Agronegócio Online*, v.3, n.2, p.86-100, 2007.

SOARES, A. B. *Análise da sustentabilidade de bacias hidrográficas do estado do Ceará*. 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado em Controladoria) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

TIPRAQSA, P.; CRASWELL, E. T.; NOBLE, A. D.; SCHMIDT-VOIGT, D. Resource integration for multiple benefits: Multifunctionality of integrated farming systems in Northeast Thailand. *Agricultural Systems*, v.94, p.694–703, 2007.

VALENTI, W. C. *A aqüicultura Brasileira é sustentável?* Palestra apresentada durante o IV Seminário Internacional de Aqüicultura, Maricultura e Pesca, Aquafair 2008, Florianópolis, 2008. p. 1-11, 2008. Disponível em: www.avesui.com/anais>.

VALENTI, W. C. Aqüicultura sustentável. In: CONGRESSO DE ZOOTECNIA, 12., 2002, Vila Real, Portugal. *Proceedings...* Vila Real: [s.n.], 2002. 8p.

VALENTI, W. C. Avanços e desafios tecnológicos para a sustentabilidade da carcinicultura. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 49., 2012, Brasília. *Proceedings...* Brasília: [s.n.], 2012. 15p.

van BELLEN, H. M. *Indicadores de sustentabilidade – uma análise comparativa*. Editora FGV: Rio de Janeiro, 2008.

VERDEGEM, M. C. J.; BOSMA, R. H. Water withdrawal for brackish and inland aquaculture, and options to produce more fish in ponds with present water use. *Water Policy*, v.11, p.52-68, 2009.

WCED (World Commission on Environment and Development). *Our Common Future*. New York: Oxford University Press, 1987.

ANEXO I – INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA

1. Relação Renda / Investimento (RRI)

$$RRI = \frac{\text{Renda anual}}{\text{Investimento inicial}}$$

2. Taxa Interna de Retorno (TIR)

$$\sum_{i=0}^n \frac{B_i - C_i}{(1 + TIR)^i} = 0$$

Sendo:

B_i = Benefício total no ano i, (receitas);

C_i = Custo total no ano i (capital + despesas operacionais);

n = horizonte do empreendimento.

3. Período de Retorno do Capital (PRC)

$$\sum_{i=0}^j FLC_i = 0$$

Sendo:

j = PRC, em anos;

FLC_i = Fluxo líquido anual do empreendimento no ano i;

i = 0,1,2,...j...,n.

4. Relação Benefício/Custo (RBC)

$$RBC = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{Y_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=0}^n \frac{K_i}{(1+r)^i}}$$

Sendo:

Y_i = Benefício líquido anual no ano i (receita bruta menos as despesas operacionais);

K_i = Capital investido no ano i (investimento inicial mais reinvestimentos);

r = taxa de desconto do empreendimento (taxa de atratividade);

n = horizonte do empreendimento.

5. Valor Presente Líquido (VPL)

$$VPL = \sum_{i=0}^n \frac{B_i - C_i}{(1 + r)^i}$$

Sendo:

B_i = Benefício total no ano i , (receitas);

C_i = Custo total no ano i (capital + despesas operacionais);

r = taxa de desconto do empreendimento (taxa de atratividade);

n = horizonte do empreendimento;

$i = 0, 1, 2, \dots, n$.

6. Lucro (L)

$$L = RB - CT$$

Sendo:

RB = receita bruta

CT = custo total de produção

7. Renda Anual (RA)

$$RA = RB - DO - D - I - T$$

Sendo:

RB = receita bruta

DO = despesas operacionais

D = depreciação

I = impostos

T = taxas

8. Taxa de risco (TR)

1. Falta de Plano de Negócios na fase de planejamento para instalação.
2. O proprietário não tem capacitação técnica e/ou administrativa.
3. Há deficiências administrativas, sobretudo na logística e na solução de problemas.
4. Falta de fluxo comercial bem estabelecido para o produto, ou seja, o produtor precisa abrir o mercado.
5. Fazenda está instalada em Área de Preservação Permanente (APP) ou em outro local inadequado, sujeito a enchentes, poluição urbana, rural e industrial etc.
6. Falta de técnico responsável em tempo parcial ou integral.
7. Técnico responsável tem pouca experiência ou há alta rotatividade dos técnicos.
8. Não tem funcionários capacitados e não terceiriza serviços para melhorar a produção e administração ou para solucionar problemas.
9. A fazenda e os assessores técnicos não são capazes de lidar com enfermidades.
10. Falta de acesso dos proprietários e técnicos a informações técnicas, econômicas e de mercado.
11. Inexistência de supervisão noturna e nos finais de semana.
12. Falta de vigilância nem sistemas de segurança contra furtos.
13. Prática de sistema intensivo, que usam muitos insumos e energia e operam próximos da capacidade de suporte do sistema aquícola.
14. Instabilidade institucional: há mudanças contínuas nas regras legais e nas agências de fomento, regulamentação e fiscalização.
15. Aglomeração: há proximidade de outras fazendas produzindo o mesmo organismo, o que gera o uso dos mesmos serviços ambientais e produz o mesmo tipo de poluição.
16. A fazenda enfrenta conflitos com a comunidade local e/ou ONGs.

$$TR = 1 - \left(\frac{n^{\circ} \text{ de fatores presentes}}{n^{\circ} \text{ de fatores analisados}} \right)$$

9. Diversidade de Produtos (DP)

$$DP = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots, n\}$$

10. Diversidade de Mercados (DM)

$$DM = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots, n\}$$

11. Capital Investido Gerado na Atividade (CIGA):

$$CIGA = \text{parte do investimento gerado na atividade} / \text{investimento total}$$

ANEXO II – INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Indicadores para medir o uso de recursos

1. Uso do Espaço

$$E = \frac{\text{Área usada}}{\text{Produção}}$$

2. Dependência de Água

$$A = \frac{\text{Volume usado}}{\text{Produção}}$$

3. Uso da Energia (E)

$$E = \frac{\text{Energia aplicada}}{\text{Produção}}$$

4. Proporção de Energia Renovável (PER)

$$PER = \frac{\text{Energia renovável}}{\text{Total de energia}}$$

5. Uso do Nitrogênio

$$N = \frac{\text{Massa de nitrogênio aplicada}}{\text{Produção}}$$

6. Uso do Fósforo

$$P = \frac{\text{Massa de fósforo aplicada}}{\text{Produção}}$$

Indicadores para medir a eficiência no uso dos recursos

7. Eficiência no uso da Energia (EE)

$$EE = \frac{\text{Energia recuperada}}{\text{Energia aplicada}}$$

8. Eficiência no uso do Nitrogênio (EN)

$$EN = \frac{\text{Massa de nitrogênio recuperada}}{\text{Massa de nitrogênio aplicada}}$$

9. Eficiência no uso do Fósforo (EP)

$$EP = \frac{\text{Massa de fósforo recuperada}}{\text{Massa de fósforo aplicada}}$$

10. Produção efetivamente utilizada (PEU)

$$PEU = \frac{\text{Massa de pescado consumida}}{\text{Massa de pescado produzida}}$$

Indicadores para medir poluentes liberados no ambiente

11. Potencial de Eutrofização (PE)

$$PE = \frac{\text{Massa de fósforo nos efluentes}}{\text{Massa de pescado produzida}}$$

12. Poluição Geral (PPQ)

$$PPQ = \frac{\text{Massa de produtos químicos aplicados}}{\text{Massa de pescado produzida}}$$

13. Poluição por hormônios (PPH)

$$PPH = \frac{\text{Massa de hormônios aplicados}}{\text{Massa de pescado produzida}}$$

14. Potencial de acidificação (PA)

$$PA = \frac{\text{Massa de sulfetos e sulfatos aplicada}}{\text{Massa de pescado produzida}}$$

Indicadores para medir poluentes acumulados no sedimento do corpo de água usado

15. Acúmulo de fósforo (AP)

$$AP = \frac{\text{Massa de fósforo no sedimento}}{\text{Massa de pescado produzida}}$$

16. Acúmulo de Matéria Orgânica (AMO)

$$AMO = \frac{\text{Massa de matéria orgânico no sedimento}}{\text{Massa de pescado produzida}}$$

17. Acúmulo de Material Particulado (AMP)

$$AMP = \frac{\text{Massa de material particulado no sedimento}}{\text{Massa de pescado produzida}}$$

Indicadores para medir a conservação genética e da biodiversidade

8. Risco da Espécie Cultivada (REC)

$REC = \{1, 2, 3, 4, 5, 6 \text{ ou } 8\}$

1 = Linhagem local em sistema aberto ou fechado

2 = Espécie da mesma bacia em sistema fechado

3 = Espécie da mesma bacia em sistema aberto

4 = Espécie alóctone, espécie local com variabilidade genética reduzida, ou híbridos (de espécies locais ou alóctones) em sistema fechado

5 = Espécie alóctone, espécie local com variabilidade genética reduzida, ou híbridos (de espécies locais ou alóctones) em sistema aberto

6 = Variedade transgênica de qualquer espécie em sistema fechado

8 = Variedade transgênica de qualquer espécie em sistema aberto

ANEXO III – INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE SOCIAL

1. Equidade Salarial (ES)

$$ES = 1 - \left(\frac{\text{Desvio padrão dos salários}}{\text{Média dos salários}} \right)$$

2. Custo proporcional do trabalho (CPT)

$$CPT = \frac{\text{Remuneração da mão-de-obra}}{\text{Custo de produção}}$$

3. Distribuição da renda (DR)

$$DR = \frac{\text{Salários} + \text{Encargos} + \text{Benefícios sociais}}{\text{Lucro}}$$

4. Remuneração do trabalho por unidade de produção (RTUP)

$$RTUP = \frac{\text{Remuneração da mão-de-obra}}{\text{Massa de pescado produzida}}$$

Indicadores de Inclusão Social

5. Inclusão Racial (IR)

$$IR = \sum \min\{a, b\}$$

sendo:

min = valor mínimo

a = proporção de um grupo racial empregado no empreendimento

b = proporção do mesmo grupo racial na comunidade local

Foram consideradas as cinco principais etnias do Brasil: Brancos, Pardos, Negros, Amarelos e Indígenas.

6. Inclusão de Gênero (IG)

$$IG = \sum \min\{a, b\}$$

sendo:

min = valor mínimo

a = proporção de um sexo entre os empregados no empreendimento

b = proporção do mesmo sexo na comunidade local

7. Inclusão Etária (IE)

$$IE = \sum \min\{a, b\}$$

sendo:

min = valor mínimo

a = proporção de uma classe etária entre os empregados no empreendimento

b = proporção da mesma classe etária na comunidade local

Foram consideradas as classes etárias: jovens (14 a 21 anos), adultos (22 a 40), meia idade (40 a 60) e velhos (>60).

8. Trabalho requerido por unidade de área ocupada (TPA)

$$TPA = \frac{\text{Homens-hora-ano}}{\text{Área ocupada}}$$

9. Trabalho requerido por unidade de produção (TUP)

$$TUP = \frac{\textit{Homens-hora}}{\textit{Massa de pescado produzida}}$$

10. Geração de ocupação direta (GOD)

$$GOD = \frac{\textit{nº empregos e auto-empregos diretos}}{\textit{Investimento}}$$

11. Geração total de postos de trabalho (GODI)

$$GODI = \frac{\textit{nº de empregos e auto-empregos diretos + indiretos}}{\textit{Investimento}}$$

12. Proporção de auto empregos (AE)

$$AE = \frac{\textit{nº de auto-empregos}}{\textit{Total de postos de trabalho}}$$

13. Uso de mão-de-obra local (ML)

$$ML = \frac{\textit{Postos de trabalho adequados a mão-de-obra local}}{\textit{Total de postos de trabalho}}$$

14. Fixação de renda na economia local (FR)

$$FR = \frac{\textit{Aquisições no mercado local}}{\textit{Total de aquisições}}$$

15. Consumo local (CL)

CL = produção consumida no mercado local / produção total

16. Acesso a programas de Saúde (APS)

$$APS = \frac{\text{nº de empregados e proprietários com acesso a programas de saúde}}{\text{nº total de empregados e proprietários}}$$

17. Escolaridade (E)

$$E = \frac{\text{nº de empregados que estudam}}{\text{nº total de empregados}}$$

18. Permanência na Atividade (PA)

PA = tempo médio de permanência de cada trabalhador no setor

19. Participação em atividades externas comunitárias (PAC)

$$PAC = \frac{\text{nº de trabalhadores que participam de atividades comunitárias}}{\text{nº total de trabalhadores}}$$

20. Segurança do trabalho (ST)

$$ST = \frac{\text{nº de fatores presentes}}{\text{nº de fatores analisados}}$$

Serão analisadas sempre que pertinente os seguintes itens:

1. Uso de colete salva vida.
2. Uso de óculos de proteção solar
3. Uso de óculos de proteção contra lama, escamas, etc..
4. Uso de luva pigmentada
5. Uso de bota impermeável e antiderrapante
6. Uso de roupa própria para permanência ao sol ou a chuva
7. Uso de equipamentos que aliviem o esforço físico
8. Uso de iluminação adequada nos locais.

9. Uso de instalação elétrica e hidráulica apropriada.
10. Uso de máquinas, equipamentos, implementos, mobiliários e ferramentas devem proporcionar ao trabalhador condições de boa postura, visualização, movimentação e operação.
11. Uso de máquinas e equipamentos por profissional qualificado.
12. Uso de avental de proteção quando indicado
13. Garantidas pausas para descansos para as atividades que forem realizadas necessariamente em pé.
14. Caixa de primeiros socorros bem equipada e de fácil acesso
15. Sinalização de eventuais áreas de perigo.