



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**CORRELAÇÃO JURÍDICA ENTRE OS OBJETIVOS
DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) E
OS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE
PARA AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE
AQUICULTURA NO BRASIL**

Mayara Fabris Palma
Advogada

Jaboticabal (SP)

2022



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**CORRELAÇÃO ENTRE OS OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) E OS
INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE PARA
AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE AQUICULTURA
NO BRASIL**

Mayara Fabris Palma

Orientadora: Profa. Dra. Patricia Maria Contente Moraes Valenti

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Aquicultura, na Área de Sustentabilidade do Centro de Aquicultura da Unesp - CAUNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Aquicultura.

Jaboticabal (SP)

2022

F128c Fabris, Mayara
Correlação jurídica entre os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e os indicadores de sustentabilidade para avaliação dos sistemas de aquicultura no Brasil / Mayara Fabris. –Jaboticabal, 2022
80 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2022
Orientadora: Patricia Maria Contente Moraes-Valenti
Banca examinadora: Lionel Henri Valentin Dabbadie, Carolina Mendes Costa
Bibliografia

1. Aquicultura. 2. Sustentabilidade. 3. Direito ambiental. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 639.3:349.6

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CORRELAÇÃO JURÍDICA ENTRE OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) E OS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE PARA AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE AQUICULTURA NO BRASIL

AUTORA: MAYARA FABRIS PALMA

ORIENTADORA: PATRICIA MARIA CONTENTE MORAES VALENTI

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



Profa. Dra. PATRICIA MARIA CONTENTE MORAES VALENTI (Participação Virtual)
/ Centro de Aquicultura da UNESP CAUNESP Jaboticabal-SP



Dra. CAROLINA MENDES COSTA (Participação Virtual)
Departamento de Ordenamento e Desenvolvimento da Aquicultura DPOA/SAP / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



Dr. LIONEL HENRI VALENTIN DABBADIE (Participação Virtual)
UN Laissez-Passer AUNB26724, Senior Fishery and Aquaculture Officer / UN - FAO, Emirados Árabes Unidos

Jaboticabal, 25 de novembro de 2022

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	4
LISTA DE FIGURAS	5
AGRADECIMENTOS	6
RESUMO GERAL	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVO DO TRABALHO	18
3. MÉTODOS	19
4. RESULTADOS	22
4.1. AS BASES CONSTITUCIONAIS PARA AS QUATRO DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE	22
4.1.1. DIMENSÃO AMBIENTAL	22
4.1.2. DIMENSÃO SOCIAL	24
4.1.3. DIMENSÃO ECONÔMICA	25
4.1.4. DIMENSÃO GOVERNANÇA	27
4.2. OS ESTADOS DESEJÁVEIS (<i>DESIRED STATES</i>) DA AQUICULTURA SUSTENTÁVEL	31
4.3. ESCOLHA DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE	34
4.4. CORRELAÇÃO DOS INDICADORES COM OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E COM A RODA DA SUSTENTABILIDADE	36
5. DISCUSSÃO	50
6. CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS	57
APÊNDICE 1	61
APÊNDICE 2	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Novos Indicadores da Dimensão Governança para a Aquicultura	35
Tabela 2. Associação entre os subdomínios da roda da sustentabilidade, as características desejadas (DS), Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU e os Indicadores de Sustentabilidade-Dimensão Ambiental da Sustentabilidade	37-38
Tabela 3. Associação entre os subdomínios da roda da sustentabilidade, as características desejadas (DS), Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU e os Indicadores de Sustentabilidade– Dimensão Social da Sustentabilidade	39-41
Tabela 4. Associação entre os subdomínios da roda da sustentabilidade, as características desejadas (DS), Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU e os Indicadores de Sustentabilidade-Dimensão Econômica da Sustentabilidade	42-43
Tabela 5. Associação entre os subdomínios da roda da sustentabilidade, as características desejadas (DS), os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU e os Indicadores de Sustentabilidade – Dimensão Governança da Sustentabilidade	44-49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos na Agenda 2030 (UN, 2015)	13-14
Figura 2. Exemplo de hierarquização das características desejáveis (Desired States – DS), indicadores de sustentabilidade e relação com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 obtidos a partir da dimensão ambiental. O processo realizado foi o mesmo para as dimensões Social, Econômica e Governança	21
Figura 3. Indicadores de Sustentabilidade e sua relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU nas 4 dimensões da Sustentabilidade	55

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Aquicultura da UNESP (CAUNESP) pela oportunidade de realização do sonho de cursar o mestrado.

À minha orientadora Profa. Dra. Patrícia Maria Contente Moraes-Valenti, pela dedicação, paciência e incentivo durante toda a orientação, que me fez ver o mundo com os olhos da biologia.

Ao Prof. Dr. Wagner Cotroni Valenti, a quem agradeço os conselhos e o incentivo inicial para que eu acreditasse ser possível este trabalho, mesmo longe de minha formação original.

Agradeço a todos meus colegas do setor de Carcinicultura, que mesmo com a pandemia sempre lá estavam para dirimir as dúvidas quando precisei de ajuda nas disciplinas.

A todos os membros Consórcio AquaVitae, em especial aos meus companheiros da equipe do Work Package 6 - WP6, Åsa Strand, Dallas Flickinger, Erik Lidblon, Gonçalo Marinho, Isabel Pinto, Janaina Kimpara, Lovisa Bengtsson, Patricia Moraes-Valenti e Wagner Valenti, que foram fundamentais para o desenvolvimento dessa pesquisa.

À Profa. Dra. Selma Dzimidas Rodrigues, que esteve comigo todo o tempo e que mesmo não sendo sua área, muitas vezes me ouviu e aconselhou durante esse processo.

À Profa. Dra. Valéria Cristina Farias, que me despertou o desejo pela pesquisa e me fez ver o Direito como um mundo vasto.

À minha mãe por ter me ensinado a pensar fora da caixinha e ao meu pai (*in memoriam*) por todas as vezes que insistiu para que eu trilhasse esse caminho, mesmo não tendo podido estar comigo sequer no início de minha graduação.

E a todos que de alguma forma contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

RESUMO GERAL

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e os Indicadores de Sustentabilidade na Aquicultura podem ser correlacionados sob a ótica jurídica, de modo que a análise da sustentabilidade seja feita com uma visão de futuro e abrangendo os quatro pilares da sustentabilidade. Este trabalho teve como objetivo realizar a integração jurídica entre os ODS e indicadores de sustentabilidade em sistemas de aquicultura existentes. Primeiramente, foi feita uma análise da Constituição Federal sob a ótica dos princípios constitucionais ligados ao direito ambiental para estabelecer a correlação entre esses princípios, os ODS e os indicadores de sustentabilidade. A seguir, foram definidas 63 características desejáveis (DS) divididas entre as 4 dimensões da sustentabilidade. Os ODS foram então associados a cada uma das características desejáveis. Dos indicadores de sustentabilidade, foram selecionados 186, na sequência estes foram associados aos DS, aos ODS e à Roda da Sustentabilidade. Entre o uso de indicadores de sustentabilidade qualitativos e quantitativos, observou-se que os indicadores quantitativos seriam os mais apropriados para que a sustentabilidade possa ser realmente mensurada. Além disso, os indicadores quantitativos permitem melhor análise dos estágios intermediários da sustentabilidade dentro do processo de avaliação. Esse estudo mostrou que as quatro dimensões da sustentabilidade têm amparo na constituição federal do Brasil e, portanto, podem ser aplicadas nas atividades de aquicultura nacionais, bem como, em outras atividades econômicas. Os resultados obtidos mostraram que os indicadores de sustentabilidade da aquicultura, além de já serem considerados como uma boa ferramenta de avaliação de sistemas mais sustentáveis na área, também possibilitam atender a um ou mais dos ODS da Agenda 2030 da ONU. Estes conseguem se relacionar com a sustentabilidade em suas mais diversas áreas.

Palavras-chave: aquicultura sustentável – indicadores de sustentabilidade – objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) – direito ambiental

ABSTRACT

The Sustainable Development Goals (SDGs) and Sustainability Indicators in Aquaculture may be correlated from a legal perspective, so that the analysis of sustainability is done with a vision of the future and covering the four pillars of sustainability. The aim of this study was to achieve legal integration between the SDGs and available aquaculture sustainability indicators. An analysis of the Federal Constitution was carried out from the perspective of constitutional principles related to environmental law to establish the correlation between these principles, the SDGs and sustainability indicators. We defined 63 desirable states (DS) divided among the 4 dimensions of sustainability. The SDGs were then associated with each of the desirable characteristics. Selected 186 sustainability indicators were associated with ds, SDGs and sustainability wheel. The indicators must consider one or more of the SDGs to harmonize with the idea of sustainability in its most diverse aspects. The use of quantitative indicators is essential so that sustainability can be measured more accurately, and that the intermediate stages of the process towards more sustainable systems and consequently the contribution of aquaculture to achieving the SDDs can be evaluated. This study demonstrated that the four dimensions of sustainability are supported by the federal constitution of Brazil and, therefore, can be applied in national aquaculture activities, as well as in other economic activities. The results showed that aquaculture sustainability indicators, in addition to being considered a good tool for evaluating more sustainable systems in the area, also make it possible to meet one or more of the SDGs of the UN 2030 Agenda. These manage to relate to sustainability in its most diverse áreas.

Keywords: sustainable aquaculture – sustainability indicators – sustainable development goals (SDGs) – ambiental law

1. INTRODUÇÃO

As alterações promovidas pela espécie humana no planeta desde a revolução industrial promoveram uma disruptura estrutural e funcional, gerando abruptas mudanças físicas, químicas e biológicas (Syvitski et al., 2020). A ação humana passou a ser a principal força condicionadora das características planetárias. O sistema de produção-consumo adotado pela sociedade gera pressão sobre o meio ambiente, culminando com alterações em escala global. Todas essas mudanças levaram à proposta de uma nova época geológica, iniciada em 1950, denominada Antropoceno (Steffen et al., 2018; Syvitski et al., 2020).

Neste início do século XXI, acontecimentos em escala global mostraram a incapacidade da espécie humana em lidar com o descompasso entre o uso dos recursos naturais e sua regeneração para uso futuro (Gianetti et al., 2021). Está cada vez mais claro que o modelo de produção-consumo adotado pela sociedade gera um desbalanço no planeta que está se aproximando de um ponto crítico de não retorno (Steffen et al., 2018). Se atingido, a permanência da espécie humana no planeta estará seriamente ameaçada. Eventos climáticos extremos, a elevação da temperatura do planeta e especialmente a pandemia de Covid-19, evidenciaram a fragilidade do sistema socioeconômico em lidar com esses eventos extremos. A recente pandemia de Covid-19 mostrou a interrelação e interdependência entre países ricos e pobres, países do hemisfério norte e sul, evidenciando a necessidade de pensar em soluções globais (Oldekop et al., 2020).

Essa situação vem sendo prevista há várias décadas, gerando mudanças de pensamento e ações corretivas, ainda que, até o presente, elas tenham sido muito tímidas para conter o desastre eminente. Nos anos 1960, a Reunião do Clube de Roma mostrou que os recursos naturais iriam terminar no próximo século se o modelo de produção-consumo não fosse modificado, lançando a teoria dos limites do crescimento (Meadows et al., 1972). Em 1972, a Conferência de Estocolmo inseriu o meio ambiente e os recursos naturais na agenda política e econômica internacional. Neste evento, foi discutido que os recursos naturais eram finitos e não inesgotáveis como pressupostos anteriormente. Rompeu-se com a ideia de que os recursos

naturais podem ser infinitos e a ONU criou a Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento (World Commission on Environment and Development - WCED). Em 1987, essa comissão reunida na Noruega criou o conceito de desenvolvimento sustentável em documento intitulado Nosso Futuro Comum, mais conhecido como Relatório Brundtland (WCED, 1987). Reconheceu-se a equidade entre gerações, ou seja, a geração atual não tem o direito de esgotar os recursos naturais do planeta. Em 1992, durante a reunião da WCED no Rio de Janeiro (Rio 92 ou Eco 92) foi definitivamente reconhecida a importância social e ambiental para se conseguir o desenvolvimento sustentável. Então, construiu-se a Agenda 21 assinada por 187 países em 1997 (UN, 1997). A Agenda 21 define que a sustentabilidade é constituída por três dimensões: ambiental, social e econômica e que as três são igualmente importantes para se construir um mundo sustentável. Conforme nos traz Lazard (2008), a governança pode ser entendida como uma dimensão institucional para o desenvolvimento sustentável. Essa dimensão seria composta por um maior envolvimento e transparência dos *stakeholders* nos processos de tomada de decisão coletiva.

A Comissão sobre Governança Global (*Commission on Global Governance – CGG*) das Nações Unidas define governança como “A soma total dos vários modos como indivíduos e instituições, públicas e privadas, administram seus negócios comuns. Trata-se de um processo contínuo, por meio do qual, interesses conflitantes ou diversos podem ser acomodados em uma ação cooperativa estabelecida. Esse processo inclui instituições e regimes formais investidos de poder para impor a observância das regras, do mesmo modo que arranjos informais que pessoas e instituições concordaram em estabelecer ou percebem ser de seu interesse” (*Commission on Global Governance*, 1995).

A governança promotora do desenvolvimento sustentável deve ser vista como a capacidade de inserção da ideia de sustentabilidade no conjunto das políticas públicas e em suas inter-relações (Moura & Bezerra, 2016). Podemos observar certo avanço no campo da governança nas últimas décadas, uma vez que as políticas públicas atuais têm considerado as reivindicações das governanças, trabalhando de forma descentralizada para

atender às necessidades da população. Existem conselhos ambientais em todos os níveis de governo e, nesses conselhos a sociedade civil está representada. Os ambientalistas, que atuam em organizações não governamentais (ONGs), pressionam os poderes Legislativo e Executivo no sentido de avançar com a agenda ecológica. A governança necessita do engajamento de *stakeholders* para funcionar como dimensão autônoma. Tem o papel de aumentar a capacidade de processamento das demandas da sociedade e promover a articulação dessas com os processos públicos e privados de tomada de decisão. Dessa forma, consolida o processo democrático a favor da sustentabilidade.

A partir da Agenda 21, o termo sustentabilidade vem sendo definido de muitas maneiras. Há centenas de definições diferentes na literatura científica. Nesse trabalho, definiremos sustentabilidade como “o gerenciamento dos recursos naturais, financeiros, tecnológicos e institucionais de modo a garantir a contínua satisfação das necessidades humanas para as gerações presentes e futuras” (Valenti, 2002; 2012). Este conceito engloba os principais aspectos contidos na Agenda 21 e pontos comuns nas diversas definições. Da mesma forma, não há um consenso sobre o que seria desenvolvimento sustentável (Seghezze, 2009). Mas é muito claro que desenvolvimento não pode ser confundido com crescimento. Nesse trabalho, chamaremos de desenvolvimento sustentável “a criação de condições para uma boa qualidade de vida a todos seres humanos dentro dos limites que o planeta pode prover de forma renovável” (Valenti, 2012).

Em 2002, foi realizada a reunião da WCED em Joanesburgo, África do Sul. Nessa reunião, a Agenda 21 foi ratificada, porém houve poucos avanços práticos. Em 2004, foi promulgado o Decreto Presidencial que criou a Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Brasileira, com a finalidade de propor estratégias de desenvolvimento sustentável no Brasil. Em 2012, foi realizada a Rio +20, na cidade do Rio de Janeiro, que originou a Agenda 2030, com os objetivos e metas a serem atingidos até 2030. Esta foi assinada em 2015 na Cúpula das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável e ratificada pelo Brasil. A Agenda 2030 contém os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). De uma forma

global e abrangente, as ODS deverão pautar e orientar as políticas nacionais e as atividades de cooperação internacional nos quinze anos seguintes à sua assinatura. Estes sucederam e atualizaram os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) que haviam sido criados pela ONU em 2000.

Os ODS contemplam 17 objetivos (Fig. 1) e 169 metas, envolvendo diversos aspectos da sustentabilidade. Os ODS se concentram na eliminação da fome e na redução da pobreza e da desigualdade em todas as suas formas. Reconhecem a necessidade de inovação e desenvolvimento de negócios, bem como de proteção social. Comprometem-se a promover e facilitar a eficiência energética e energia limpa e procuram aumentar a resiliência para mudanças climáticas, clima e desastres naturais. Esses objetivos se preocupam ainda com a volatilidade do mercado e instabilidade política. Eles procuram ainda reduzir a pressão da atividade econômica humana sobre o ambiente natural, enfatizando a necessidade não apenas de proteção do habitat e do ecossistema, mas também de aumento da eficiência do uso de recursos e produção e consumo sustentáveis. Desse modo, conseguem distribuir a responsabilidade de proporcionar sustentabilidade a todos os atores econômicos. O enunciado de cada ODS é listado a seguir na figura 1.



1 ERRADICAÇÃO DA POBREZA
Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares.



2 FOME ZERO E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL
Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável



3 SAÚDE E BEM-ESTAR
Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todas e todos, em todas as idades



4 EDUCAÇÃO DE QUALIDADE
Assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todas e todos



5 IGUALDADE DE GÊNERO
Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas



6 ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO
Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos



7 ENERGIAS RENOVÁVEIS E ACESSÍVEIS
Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos



8 TRABALHO DECENTE E CRESCIMENTO ECONÔMICO
Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todas e todos

9 INDÚSTRIA, INOVAÇÃO E INFRAESTRUTURA 	Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação
10 REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES 	Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles
11 CIDADES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS 	Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis
12 CONSUMO E PRODUÇÃO RESPONSÁVEIS 	Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis
13 AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA 	Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos
14 VIDA NA ÁGUA 	Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável
15 VIDA TERRESTRE 	Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade
16 PAZ, JUSTIÇA E INSTITUIÇÕES EFICAZES 	Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis
17 PARCERIAS E MEIOS DE IMPLEMENTAÇÃO 	Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável

Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos na Agenda 2030 (UN, 2015).

A Bioeconomia e a Economia Azul têm sido apontadas como áreas essenciais para atingir o desenvolvimento sustentável nesse novo milênio (EC, 2021; EU, 2021) e, portanto, as metas definidas nos ODS. A primeira contempla todos os setores da economia e sistemas que usam organismos vivos e processos biológicos para produzir alimentos, materiais, energia, medicamentos e outros com inovações tecnológicas. A segunda contempla o conjunto de todas as atividades econômicas relacionadas aos oceanos, mares e costa. Além disso, movimenta em torno de US\$1,5 trilhões ao ano e representa 2,5% do PIB mundial (EU, 2021). A Bioeconomia Azul refere-se aos setores da Economia Azul relacionados aos organismos vivos, o que inclui a pesca e a aquicultura. Portanto, a aquicultura é uma das áreas prioritárias para atingir o desenvolvimento sustentável (EU, 2021). Por analogia, pode-se incluir aqui a aquicultura em águas marinhas, salobras e de água doce.

Analisando as metas em cada ODS, observa-se que quase todos são relevantes para o desenvolvimento da aquicultura sustentável, e esta pode trazer contribuições significativas para o cumprimento das metas previstas nos ODS. Esse papel não foi explicitado na Agenda 2030, mas foi deixado bem claro na Declaração de Shanghai, publicada recentemente (2021). Em setembro de 2021, a Global Conference of Aquaculture (GCA), realizada em Shanghai, na China, consolidou a aquicultura como pilar para a segurança alimentar global. Isso foi devido à sua produção crescente e suas contribuições para a subsistência, emprego, segurança alimentar e nutrição. Nessa conferência, foi elaborado e assinado pelos participantes de vários países presentes um documento denominado “Declaração de Shanghai: Aquicultura para alimentação e desenvolvimento sustentável”.

A Declaração de Shanghai visa fornecer orientação sobre a maximização da contribuição da aquicultura para a Agenda 2030 e seus ODS (Declaração de Shanghai, 2021). Essa declaração aborda especificamente três questões principais:

- i) Como a aquicultura contribui para os ODS?
- ii) Onde a aquicultura precisa estar em 10 anos?
- iii) Como chegamos lá?

Nesta declaração, ficou claro que os desafios para alimentar uma população humana cada vez maior são imensos. Estes devem considerar que o desenvolvimento e expansão precisam estar aliados à sustentabilidade para que os impactos ao meio ambiente sejam minimizados. Foi reconhecido também, o papel da aquicultura no apoio aos países para o desenvolvimento sustentável, em particular no combate à pobreza, fome e desnutrição, e sua contribuição para o sistema agroalimentar global (FAO, 2021). Isso se deve ao contínuo crescimento positivo do setor, que em 2019 contribuiu com 85,3 milhões de toneladas de peixes, crustáceos, moluscos e outros animais e 34,7 milhões de toneladas de plantas aquáticas (FAO, 2021). Segundo a Declaração de Shanghai, esse crescimento se dá, especialmente, devido à grande diversidade de espécies produzidas pela aquicultura em inúmeros sistemas de produção em água doce, salobra e marinha.

A Declaração de Shanghai recomendou ainda a promoção do desenvolvimento da aquicultura responsável e sustentável, de uma boa governança com integração e coordenação multissetorial, fortalecimento de parcerias e geração de conhecimento. Foram incentivados os investimentos em inovação, pesquisa e desenvolvimento na área, sejam públicos ou privados. Também foi destacada a importância do diálogo aberto e transparente sobre os sistemas aquícolas. Dez pontos foram considerados como prioridades estratégicas para acelerar o desenvolvimento da aquicultura sustentável e promover sua integração aos ODS:

1. Expandir a contribuição da aquicultura para sistemas agroalimentares sustentáveis para a nutrição das nações, reduzindo a pobreza e fornecendo alimentos saudáveis, ricos em nutrientes e amigos do clima para as pessoas;
2. Integrar a aquicultura com o ambiente natural, com a agricultura, pesca de captura, silvicultura, turismo, energia renovável e outros setores, e dentro dos sistemas agroalimentares para maior resiliência;
3. Melhorar continuamente o desempenho da aquicultura e sua capacidade de minimizar o impacto e fazer melhor uso dos recursos naturais e melhorar os serviços ecossistêmicos;

4. Promover abordagens de desenvolvimento da aquicultura que conservem e melhorem os ecossistemas e a biodiversidade, e também que reduzam a intensidade de liberação de carbono nos sistemas de produção de alimentos;
5. Promover trabalho decente e empresas socialmente responsáveis;
6. Garantir o empoderamento das mulheres, melhorando o acesso total das mulheres a oportunidades iguais por meio de políticas transformadoras de gênero;
7. Promover oportunidades para rapazes e moças;
8. Promover a participação dos Povos Indígenas na aquicultura;
9. Preparar e potencialmente mitigar impactos de crises globais, como mudanças climáticas, proteger e desenvolver meios de subsistência baseados na aquicultura e de biodiversidade, poluição e pandemias;
10. Fortalecer a coleta e análise de dados e informações para monitorar o progresso e as contribuições da aquicultura.

Cada um dos dez pontos foi detalhado e metas foram criadas em cada um deles, permitindo que seja traçada uma futura estratégia detalhada na aquicultura. Outro assunto abordado foi a discussão sobre sustentabilidade. Esta ganhou espaço no cenário internacional e tem um futuro promissor delineado. Para a construção de sistemas de aquicultura sustentáveis é essencial definir o que é sustentável e determinar se os sistemas existentes realmente se encaixam dentro desse conceito. Sendo assim, será necessário medir a sustentabilidade. Entre as ferramentas de avaliação disponíveis, os indicadores de sustentabilidade têm se mostrado muito eficientes porque permitem avaliar a sustentabilidade de cada parte do sistema de produção em separado, são fáceis de obter e de interpretar (Valenti et al., 2018). Inclusive, esses indicadores de sustentabilidade da aquicultura estão na lista das ferramentas de avaliação de Sustentabilidade, recomendada pela União Europeia em seus projetos de reconstrução da economia azul do mundo Pós-Covid (European Union EU, 2021). É essencial medir a sustentabilidade para avaliar os pontos fortes e fracos de cada sistema de aquicultura atual. Analisar a sustentabilidade permite verificar o

efeito das novas tecnologias disponíveis e a eficácia das intervenções em direção à sustentabilidade.

Os indicadores de sustentabilidade da aquicultura são ferramentas de aferição dos efeitos positivos ou negativos para aprovação de um sistema de produção. Esses sistemas podem ser classificados em um gradiente entre insustentáveis e sustentáveis e, portanto, podemos reconhecer diferentes níveis de sustentabilidade (Valenti et al., 2018). Tais indicadores permitem incorporar conhecimentos de base científica à tomada de decisões (UN, 2007), possibilitando uma conexão entre objetivos e ações (FAO, 1999). O uso de indicadores para análise de sustentabilidade na aquicultura deve contemplar as três (3) dimensões, sendo essas: ambiental, social, econômica, além da governança, que é considerada uma quarta dimensão da sustentabilidade.

De acordo com Troell et al. (2021), a maioria dos indicadores apresentados na literatura são qualitativos, restritos às dimensões ambientais de regiões, espécies ou sistemas específicos. Esses indicadores geralmente são obtidos a partir de dados secundários (que muitas vezes não estão disponíveis), ou foram desenvolvidos para auxiliar nas decisões do consumidor. Dessa forma, foi identificada a necessidade de se realizar um levantamento e avaliação da pertinência dos indicadores disponíveis, tentando promover sua associação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da agenda 2030 da ONU.

2. OBJETIVO DO TRABALHO

Este trabalho teve como objetivo correlacionar o uso de indicadores de sustentabilidade de aquicultura, utilizados para avaliar os sistemas de produção aquícola, com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, sob a ótica jurídica. Isso permitirá o uso dos indicadores na avaliação dos sistemas de aquicultura, visando demonstrar a contribuição da aquicultura para atingir as metas de cada ODS. Os resultados obtidos, poderão servir de base para auxiliar na tomada de decisões em futuras políticas públicas relacionadas à área de aquicultura e aos ODS, podendo dar suporte em avaliações para o licenciamento

e/ou implantação de projetos de aquicultura, bem como para outros assuntos afins.

3. MÉTODOS

Foi realizada uma análise acurada da Constituição Federal visando identificar princípios constitucionais do direito ambiental referentes às dimensões ambiental, social, econômica e governança da sustentabilidade. Esses princípios são fundamentais para garantir a constitucionalidade da aplicação dos mesmos dentro da sustentabilidade no Brasil e correlacionar a interdependência entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e os Indicadores de Sustentabilidade. Os ODS auxiliam na criação de indicadores, assim como, os dados obtidos pelos indicadores auxiliam no alcance dos objetivos. Os princípios constitucionais, como fontes do direito, foram utilizados para basear o entendimento necessário, visando identificar se um determinado ODS está ou não correlacionado com um ou mais indicadores de sustentabilidade.

Elaborou-se uma lista de características desejáveis (*Desired States - DS*) nos sistemas sustentáveis de aquicultura em cada uma das quatro dimensões da sustentabilidade. A lista foi desenvolvida por um painel de oito especialistas de países como Brasil, EUA e Suécia, do qual participou esta autora. Esses pesquisadores fazem parte do consórcio *AquaVitae*, financiado pelo programa da União Europeia Horizon 2020. Portanto, nessa fase, o processo foi realizado pelo método *top-down*. Essa lista foi submetida a um fórum de 84 *stakeholders* do Brasil, Colômbia, México, Cuba, EUA, Canadá, Costa Rica, Angola, África do Sul e países da União Europeia para discussão e validação (processo *bottom-up*). Para isso, foram realizados dois workshops virtuais ("*Indicators for Measuring Aquaculture Sustainability*", nos dias 20 de novembro e 08 de dezembro de 2020 e "*Stakeholder Workshop, online meeting*"). A lista de características (DS) foi sendo modificada de acordo com as sugestões dos *stakeholders* participantes e, assim, obteve-se a lista definitiva dos DS. Portanto, o processo de definição das características desejáveis (DS) seguiu um método misto, *top-down* e *bottom-up*.

Uma análise acurada dos 17 ODS foi realizada para avaliar com quais deles a aquicultura poderia contribuir para que as metas fossem atingidas.

Então, os DS foram distribuídos entre os ODS de acordo com sua adequação. Um mesmo DS pôde atender aos requisitos de mais de um ODS.

Foi realizada uma ampla revisão bibliográfica, envolvendo artigos científicos, artigos de divulgação científica (*white papers*), documentos de órgãos governamentais de vários países e de órgãos internacionais para obter todos os indicadores de sustentabilidade da aquicultura disponíveis. A seguir, foram selecionados os indicadores que atendiam aos seguintes critérios: ser quantitativo, usar dados facilmente obtidos no campo ou em bases de dados *on line*, apresentar uma fórmula para o cálculo, ter embasamento científico e ser de fácil interpretação. Esse processo de seleção também foi feito pelo método *top-down*, ou seja, por um painel de especialistas, que foram os mesmos que desenvolveram os DS. Os indicadores selecionados dessa forma foram submetidos ao mesmo fórum de *stakeholders*, conforme explicado anteriormente, para discussão e validação (processo *bottom-up*). Nesse processo, os indicadores foram apresentados de forma genérica em um *workshop* virtual e foram amplamente discutidos. A seguir, os *stakeholders* foram convidados a opinar sobre cada indicador, respondendo a um questionário elaborado para cada dimensão, por meio do *Google Form*, visando a validação do processo. Em seguida, foram realizados acompanhamentos (*follow ups*) com os *stakeholders*, objetivando esclarecer as perguntas e dúvidas referentes aos questionários. Com base nas respostas, selecionou-se a lista definitiva de indicadores.

Os indicadores selecionados foram distribuídos entre os DS de acordo com as características que cada um poderia medir. Alguns DS não tiveram nenhum indicador atribuído. Então, foram desenvolvidos novos indicadores para atender a essa necessidade, de modo que todos os DS fossem contemplados. No caso, da dimensão Governança, aceitou-se utilizar indicadores qualitativos, devido às características inerentes a essa área do conhecimento.

Portanto, foi estabelecida uma relação hierárquica iniciando em cada uma das quatro dimensões da sustentabilidade, que constituíram o nível mais alto. A seguir, veio o nível dos *Desired States* (DS) para atingir a sustentabilidade e logo abaixo, o nível dos indicadores de sustentabilidade da aquicultura, que medem a performance dos sistemas de produção aquícola referente a cada DS. Cada

um desses trios hierarquizados foi associado a um ou mais ODS de acordo com as metas a serem atingidas, definidas no respectivo ODS (Fig. 2).

Em paralelo a esse processo, considerou-se a Roda da Sustentabilidade da Aquicultura, desenvolvida por Osmundsen et al. (2020) com base em estudos focados na certificação dos sistemas de produção aquícola. Esses autores apresentam um modelo circular, dividido em 28 partes, que representam 28 subdomínios da sustentabilidade. Os DS foram vinculados a cada uma das 28 divisões da Roda da Sustentabilidade. Dessa forma, procedeu-se à hierarquização dos DS e indicadores de sustentabilidade da aquicultura de modo análogo ao explicado anteriormente. Cada subdomínio também foi associado a um ou mais ODS.

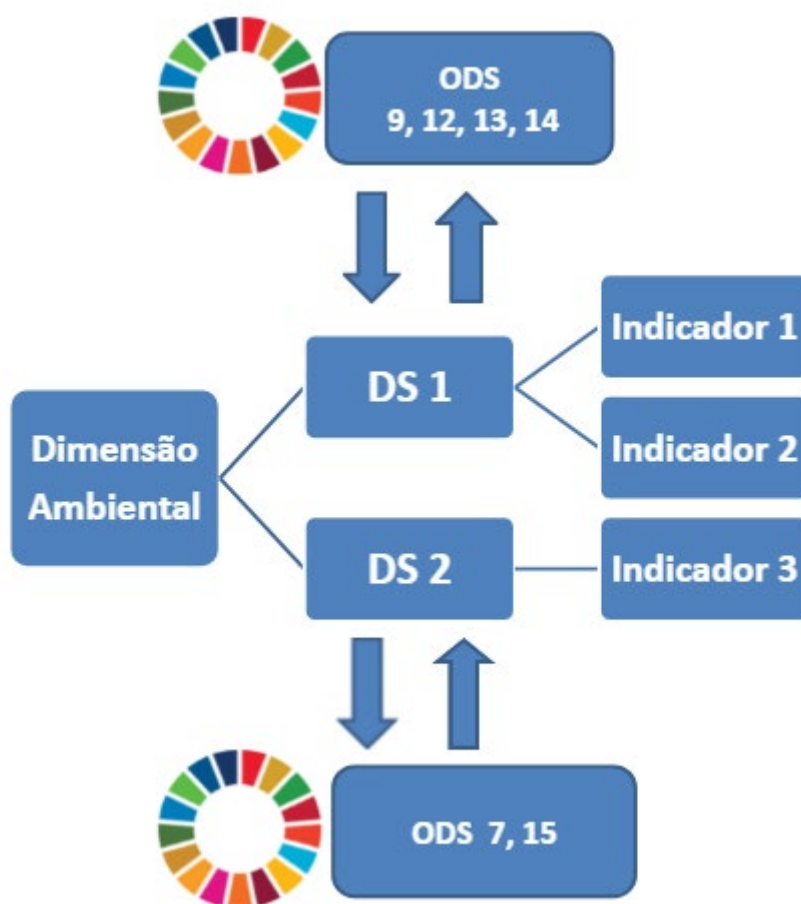


Figura 2. Exemplo de hierarquização das características desejáveis (Desired States – DS), indicadores de sustentabilidade da aquicultura e correlação com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030

da ONU, obtidos a partir da dimensão ambiental. O processo realizado foi o mesmo para as dimensões Social, Econômica e Governança.

4. RESULTADOS

4.1. AS BASES CONSTITUCIONAIS PARA AS QUATRO DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE

4.1.1. DIMENSÃO AMBIENTAL

Entre os princípios constitucionais do Direito ligados à Dimensão Ambiental cabe destacar o “Princípio do Desenvolvimento Sustentável”, previsto no *caput* do art. 225:

“Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”

De acordo com o senso comum, a sociedade humana não se limita às nossas pessoas (gerações presentes) nem termina em nossos dias (gerações futuras). Somos responsáveis pela propagação da espécie, não somente do ponto de vista biológico, mas, ainda de vários outros pontos de vista (histórico, cultural, econômico etc.). Incumbe, pois, à sociedade construir, mais do que o seu mundo atual, o mundo do amanhã. Por isso, quando se estabelece o princípio de que “todos têm o direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado”, esse equilíbrio ecológico traz no bojo as condições do planeta Terra e as condições para as gerações futuras (MILARÉ, 2004). Para a aquicultura esse princípio corresponde ao cerne do crescimento aliado à sustentabilidade. Precisamos crescer, mas com consciência que esse crescimento impacta as gerações atuais e futuras.

O legislador constituinte de 1988 verificou que não seria possível às futuras gerações desfrutar dos recursos naturais se a degradação do meio ambiente continuasse em ritmo desenfreado. Para coibir esse comportamento de exploração desenfreada nasceu o “Princípio do Poluidor-Pagador”, o qual, longe de significar uma autorização de poluição mediante

pagamento, traz o caráter repressivo, onde caso ocorra o dano, ele deve ser reparado. Desse modo, num primeiro momento, impõe-se ao poluidor o dever de arcar com as despesas de prevenção dos danos ao meio ambiente que a sua atividade possa ocasionar. Cabe a ele o ônus de utilizar instrumentos necessários à prevenção dos danos. Numa segunda órbita de alcance, este princípio esclarece que, ocorrendo danos ao meio ambiente em razão da atividade desenvolvida, o poluidor será responsável pela sua reparação (FIORILLO, 2017).

Esse princípio está prescrito no art. 225, § 3º da Constituição:

“§ 3º As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados”.

A responsabilização do poluidor frente aos danos causados deve atingir três esferas distintas:

a) Responsabilidade criminal: o meio ambiente é entendido como bem autônomo para penalização. Destacando-se a Lei 9.605/98, que dispõe sobre os crimes contra o meio ambiente.

b) Responsabilidade civil: danos ambientais de qualquer natureza, independente de culpa¹, devem ser indenizados. Basta a comprovação do dano e a relação do dano com o ato praticado para que ocorra essa responsabilização. Priorizando sempre a reposição do meio ambiente ao estado anterior ao ato, reparando o dano causado na sua integralidade.

c) Responsabilidade administrativa: a violação de normas administrativas também resulta em sanções da mesma natureza, tais como: multa, interdição, advertência, suspensão de benefícios etc. Estas sanções são geralmente revertidas para reparar o dano causado e evitar a reincidência.

¹ “Culpa” aqui entendida como a responsabilidade que une o agente à conduta, ou seja, o agente não tem intenção de praticar o crime, mas age com negligência, imprudência ou imperícia, sem dever de cuidado, gerando o dano.

Já o “Princípio da Prevenção” é um dos mais importantes do Direito Ambiental. Seu foco está no momento anterior à consumação do dano - o do mero risco. De fato, a humanidade e o próprio Direito não podem se contentar em reparar e reprimir o dano ambiental. A degradação ambiental, como regra, é irreparável. Como reparar o desaparecimento de uma espécie? Como trazer de volta uma floresta de séculos que sucumbiu sob a violência do corte raso? Como purificar um lençol freático contaminado por agrotóxicos? Com efeito, muitos danos ambientais são compensáveis, mas sob a ótica da ciência e da técnica, irreparáveis (Milaré, 2004). A prevenção e a preservação devem ser concretizadas por meio de uma consciência ecológica. Entretanto, nossa realidade até esse momento, não permite ainda que a natureza conte apenas com nossa consciência. Outros instrumentos se tornam relevantes para o princípio da prevenção: o estudo prévio de impacto ambiental (EIA/RIMA), o manejo ecológico, o tombamento, as liminares, as sanções administrativas, dentre outros (Fiorillo, 2017).

4.1.2. DIMENSÃO SOCIAL

Na dimensão social o foco está nos impactos da aquicultura na comunidade. Numa análise mais abrangente, nas externalidades positivas ou negativas geradas pela atividade. Quanto mais a aquicultura atender ao interesse social, mais sustentável será a atividade. Para Hans Kelsen (2016), a regulação da conduta humana precisa dialogar diretamente com a noção de motivação, para que os indivíduos se abstenham ou executem atos nocivos ou úteis à sociedade. Assim, temos o Princípio do Direito Humano à Qualidade do Meio Ambiente ou Princípio da Responsabilidade Intergeracional, também previsto no caput do art. 225 da Constituição Federal. Este princípio busca garantir a utilização contínua e sustentável dos recursos naturais que carecem de proteção para que também estejam disponíveis às futuras gerações. Para tanto, é necessário que as atuais e futuras gerações tenham o direito de não serem postas em situações de total desarmonia ambiental (Campos, 2018).

Já o Princípio da Dignidade da Pessoa Humana coloca o homem como centro da ordem jurídica democrática, do qual decorrem os demais subprincípios, constitucionais ou infraconstitucionais e fundamentam o

próprio direito (Bessa, 2011). O conceito de “dignidade da pessoa humana” está em constante construção, mas inclui o direito à liberdade, à saúde, assim como o direito do homem de viver em um ambiente não poluído (Granziera, 2011). Esse pensamento foi introduzido em 1972, na Declaração de Estocolmo, em seu Princípio 1:

“O homem tem o direito fundamental à liberdade, à igualdade e ao desfrute de condições de vida adequadas, em um meio ambiente de qualidade tal que permita levar uma vida digna, gozar de bem-estar e é portador solene da obrigação de proteger e melhorar o meio ambiente, para as gerações presentes e futuras”

4.1.3. DIMENSÃO ECONÔMICA

O artigo 170 da Constituição Federal de 1988 traça uma estrutura geral do ordenamento jurídico econômico. Direito econômico é a regulamentação da política econômica, como meio de dirigir, indicar e regular as práticas econômicas, sempre buscando compatibilizar conflitos dentro de uma orientação macroeconômica. A ordem econômica tem como fundamentos a valorização do trabalho humano e da livre iniciativa, ambas ideias do modelo econômico capitalista, sendo as bases de sustentação da ordem econômica mundial. A valorização do trabalho humano é a principal fonte de riqueza das nações; a valorização do trabalho, permitindo uma justa remuneração, condizente com as necessidades do trabalhador e de sua família, vai ao encontro a uma ordem social mais justa (Dani et al, 2010).

Além do trabalho humano, o meio ambiente tem grande importância como fonte de riqueza das nações. O acervo florestal natural passou a ter valorização econômica com a degradação acentuada e extinção de algumas espécies presentes no meio ambiente mundial. Seu reconhecimento fez com que países com vasta imensidão florestal e hídrica tivessem relevância mundial. Isso faz com que normas de Direito Econômico e Ambiental tenham interligações, pois a política econômica abraça também questões de caráter ambiental (DANI et al., 2010).

A Economia e a Ecologia parecem coisas distintas, mas na verdade estão muito mais próximas do que imaginamos. Como os próprios nomes indicam, economia é formado pela junção de *oikos* (casa) e *nomos* (regra, lei), significa o gerenciamento da casa e Ecologia é formada por *oikos* e *logos* (estudo, tratado) Estudo da casa. Para a existência da Economia existe a necessidade do capital natural, pois a sociedade precisa do ambiente para dele extrair recursos, que serão explorados para gerarem o capital financeiro. De acordo com Cristiane Derani (2008), os fundamentos econômicos não podem ser dissociados de uma política ambiental consciente. A natureza é fornecedora de matéria prima ou receptora de materiais danosos e, com isso, um importante recurso econômico. No final do século passado, os economistas observaram que sem o ambiente (recursos naturais), a sociedade não teria de onde retirar recursos que geram a economia. Por isso a necessidade de conservar o meio ambiente. Perceberam que a sociedade vive sem o dinheiro, mas não sobrevive sem o ambiente. Se desaparecerem os recursos financeiros, a sociedade e o ambiente continuarão existindo, mas se o ambiente deixar de existir, ambos a sociedade e a economia irão desaparecer.

Na dimensão econômica, todas as atividades aquícolas incluindo até os menores produtores foram consideradas nessa análise, compreendendo as condições de cada atividade. Isso permitiu uma análise de sustentabilidade abrangente e adequada sob o ponto de vista econômico. O caráter capitalista da atividade também foi considerado, de modo que a sustentabilidade econômica se entrelaça com a viabilidade econômica.

Na constituição temos o Princípio Geral da Ordem Econômica, que trata da defesa do meio ambiente. Segundo Ivo Dantas (1999), esse princípio foi uma inovação, posto que nenhuma legislação econômica anterior continha qualquer regra sobre o meio ambiente. Por este princípio “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essência à sadia qualidade de vida”, impondo ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as gerações presentes e futuras.

A eficiência, ou “Ótimo de Pareto”, é um conceito econômico desenvolvido por Vilfredo Pareto. Segundo esse conceito, uma situação econômica seria ótima quando não puder mais ser melhorada, ou quando não se puder melhorar um dos fatores sem o detrimento de outro fator participante. A tentativa de conciliar o desenvolvimento com a conservação do meio ambiente a princípio parece impossível, pois trata-se de, aparentemente, dois institutos conflitantes. No entanto, por meio do *Ótimo de Pareto* se obtém um ideal de harmonização e otimização entre o desenvolvimento sustentável e o desenvolvimento econômico, como uma necessidade do modelo econômico mundial.

O princípio do desenvolvimento sustentável tenta atribuir o máximo de desenvolvimento com o mínimo de destruição da natureza. Sob essa ótica, aplicando o *Ótimo de Pareto*, teríamos uma otimização da utilização dos recursos naturais, direcionado ao máximo de desenvolvimento econômico possível. Sendo assim, a relação entre o princípio do desenvolvimento sustentável e o princípio geral da ordem econômica formam *Ótimo de Pareto*, pois a sustentabilidade do desenvolvimento econômico, por meio da utilização da natureza como fonte de matéria-prima, levará à preservação do meio ambiente (Dani et al., 2010).

4.1.4. DIMENSÃO GOVERNANÇA

Segundo nos traz a Constituição Federal de 1988:

"Art. 1º. A República Federativa do Brasil, formada pela união indissolúvel dos Estados e Municípios e do Distrito Federal, constitui-se em Estado Democrático de Direito e tem como fundamentos:

I - a soberania;

II - a cidadania;

III - a dignidade da pessoa humana;

IV - os valores sociais do trabalho e da livre iniciativa;

V - o pluralismo político;

Parágrafo único. Todo o poder emana do povo, que o exerce por meio de representantes eleitos, ou diretamente, nos termos desta Constituição."

"Art. 3º. Constituem objetivos fundamentais da República Federativa do Brasil:

I - construir uma sociedade livre, justa e solidária;

*II - garantir o desenvolvimento nacional;
III - erradicar a pobreza e a marginalização e reduzir as desigualdades sociais e regionais;
IV - promover o bem de todos, sem preconceitos de origem, raça, sexo, cor, idade e quaisquer outras formas de discriminação.”*

Esses artigos nos remetem aos Princípios Constitucionais da Participação, Reconhecimento e Justiça Social. O Princípio da Participação nos remete à participação direta ou indireta da sociedade nas tomadas de decisão do poder público em suas diversas instâncias. Em última instância o povo tem como direito fundamental garantido “construir uma sociedade livre, justa e solidária”, reduzindo as desigualdades ou, utopicamente, até eliminando as mesmas.

O filósofo contemporâneo Axel Honneth (Honneth, 2007) nos diz que o reconhecimento é poder, assim, se a sociedade obtém o reconhecimento de seus anseios, obtém, por lógica, o poder. “O poder emana do povo e para o povo” é o preceito constitucional ligado diretamente ao Princípio do Reconhecimento. O povo precisa fazer com que seus anseios cheguem aos governantes para que se tornem realidade social.

Já o Princípio da Justiça Social pode ser um instrumento à consolidação da sustentabilidade como um valor fundamental para a sociedade. Os conflitos ambientais não são limitados à prevenção ou compensação de danos ambientais. Mais que isso, são reivindicações e lutas ligados diretamente aos anseios sociais de gestão dos recursos naturais. (de Carvalho, 2014)

A governança permite que o povo participe e seja reconhecido pelo poder público, com vias a permitir uma equânime justiça social e resolução dos conflitos ambientais. Isso possibilitaria uma gestão sustentável dos recursos naturais. Dessa forma, dimensão governança, as questões a serem consideradas são a participação dos *stakeholders* e o efeito que isso pode surtir nas políticas públicas ligadas à aquicultura sustentável. Uma gestão pública participativa precisa estar interligada à sustentabilidade para garantir a conservação do meio ambiente para as gerações futuras. No entanto, a governança promotora do desenvolvimento sustentável deve ser vista, entre outros meios, como a capacidade de inserção da ideia de

sustentabilidade no conjunto das políticas públicas e em suas inter-relações. A visão setorial que tem dominado o ambientalismo no Brasil levou a uma separação e, às vezes, a um conflito entre a implementação das ações e dos instrumentos da política ambiental e as demais políticas públicas (Moura & Bezerra, 2016).

Segundo Moura & Bezerra (2016), a governança envolve, portanto, além das questões político-institucionais de tomada de decisões, as formas de interlocução do Estado com os grupos organizados da sociedade, no que se refere ao processo de definição, acompanhamento e implementação de políticas públicas. Desse modo, busca-se um equilíbrio dinâmico entre a eficiência dos mecanismos burocráticos de gestão e a participação dos setores da sociedade civil interessados na sustentabilidade do desenvolvimento. Assim, os entes do Estado, em última instância, prestam conta dos seus atos e da sua eficiência ante as sociedades nacionais.

No que tange à governança ambiental, a Constituição Federal nos traz o Princípio da Descentralização, entendida como a transferência de autoridade e de poder decisório para instâncias subnacionais. Esta tem sido uma meta perseguida pelo menos nos últimos vinte anos, tanto pelo governo federal como pelos estaduais. Entretanto, os resultados obtidos até o presente permitem afirmar que não existe um modelo único de descentralização a ser esboçado para todo o espaço territorial brasileiro. As diferenças sociais, econômicas, políticas e culturais levam a experiências de sucessos e insucessos por algumas Unidades da Federação (Scardua, 2003).

A descentralização da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) vem ocorrendo de forma fragmentada, descontínua e seletiva. Isto decorre de cenários político-institucionais com focos distintos em cada período político, assim como de problemas estruturais da formação do Estado brasileiro – historicamente centralizador e patrimonialista. Tais características repercutem na falta de estrutura dos governos estaduais e municipais para assumirem responsabilidades e competências já definidas ou a serem regulamentadas na legislação ambiental, gerando obstáculos

para a implementação efetiva da PNMA e do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), com prejuízos para a sociedade e o meio ambiente. O Conselho Nacional e os Conselhos Municipais de Desenvolvimento Rural têm papel fundamental para a orientação do desenvolvimento aquícola sustentável. Tem como objetivo propor diretrizes para a implementação e formulação de políticas públicas em desenvolvimento rural sustentável, reforma agrária e agricultura familiar. Podendo, inclusive, ter papel fundamental para determinar as diretrizes de fundos de desenvolvimento para a aquíicultura sustentável, à semelhança do que está ocorrendo no estado do Pará com o projeto de lei 09/2022, que está em trâmite na Assembleia Legislativa do Estado do Pará (ALEPA).

Um importante fato a destacar é a promulgação da Lei complementar nº 140/2011 que regulamenta o Artigo 23 da CF/1988, o qual dispõe sobre a competência material comum entre os níveis de governo da Federação. Durante o período de discussão da lei referida, processo que durou dez anos, os agentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) criaram fóruns de discussão e resolução de problemas de competência que foram institucionalizados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) por meio da Portaria nº 189/2001, criando as comissões tripartites. Foram criadas a Comissão Tripartite Nacional (CTN) – constituída por três representantes do MMA, três da Associação Brasileira de Entidades Estaduais de Meio Ambiente (Abema) e três da Associação Nacional de Municípios e Meio Ambiente (ANAMMA) – e as comissões tripartites estaduais, assim como a Comissão Bipartite do Distrito Federal, instituídas pela Portaria nº 473/2003 do MMA.

Entretanto, o próprio MMA (Brasil, 2009), em documento reflexivo sobre a experiência das tripartites criadas até 2007, reconhece que essas comissões foram implantadas desprovidas de uma metodologia clara e contínua de articulação para a promoção de uma gestão ambiental compartilhada. Assim, a maioria funcionou precariamente, sem focar suas ações nas principais temáticas relacionadas à gestão ambiental compartilhada e no fortalecimento do Sisnama. As comissões tripartites apresentavam pouca organização institucional interna e ausência de uma

estrutura de apoio no âmbito federal, o que levou à pouca efetividade no alcance dos seus objetivos.

A governança ambiental tem potencial para ser o principal meio articulador para a promoção do desenvolvimento sustentável. Contudo, o Brasil não explora ainda esse potencial, fazendo com que a governança ambiental pareça fraca e careça de efetividade prática. Desse modo, urge a necessidade de uma ferramenta de avaliação para análise de sustentabilidade da Governança.

4.2. OS ESTADOS DESEJÁVEIS (*DESIRED STATES*) DA AQUICULTURA SUSTENTÁVEL

Foram definidos 63 estados desejáveis para que a aquicultura seja sustentável. Na dimensão ambiental foram 11, na social 13, na econômica 9 e na governança 30. Estes são descritos abaixo:

Dimensão ambiental

1. Baixo uso de recursos naturais;
2. Use energia e materiais renováveis;
3. Libera pouco ou nenhum gás de efeito estufa;
4. Use os recursos naturais de forma eficiente;
5. Gerar baixa quantidade de poluentes e subprodutos não utilizados;
6. Mostra pouca ou nenhuma poluição intrínseca e acúmulo de subprodutos;
7. Mostra capacidade de reciclagem e reaproveitamento de materiais;
8. Produzem poucas mudanças no ambiente circundante, incluindo comunidades bióticas;
9. Mostra baixo risco de danificar a diversidade genética e a biodiversidade.
10. Mitiga a degradação ambiental;
11. Cumpre os princípios de bem-estar animal;

Dimensão social

1. Mostra capacidade de gerar benefícios às comunidades locais;
2. Contribuir para a segurança alimentar das populações locais e globais;
3. Respeito à cultura local e aproveitamento do capital social das comunidades locais;

4. Permitir que as famílias tenham condições socioeconômicas de acordo com os padrões locais;
5. Promover o uso social dos espaços terrestres (superfícies terrestres e aquáticas);
6. Garantir pleno emprego, condições de trabalho seguras e decentes;
7. Assegurar um plano de desenvolvimento profissional;
8. Gerar empregos diretos e indiretos e trabalho autônomo;
9. Gerar distribuição de renda equitativa;
10. Gerar igualdade de oportunidades;
11. Promover a inclusão de gênero, idade e diferentes grupos étnicos;
12. Promova o bem-estar, a realização e o estilo de vida de acordo com os padrões locais;
13. Promover o acesso a programas de saúde, escolaridade e capacitação da força de trabalho.

Dimensão econômica

1. Demonstra capacidade para manter uma equipe qualificada;
2. Mostra capacidade de manter os agricultores familiares na atividade;
3. Mostra o uso eficiente de recursos financeiros;
4. Mostra viabilidade econômica;
5. Mostra capacidade de absorver custos de externalidades negativas;
6. Mostra resiliência em cenários de mudança;
7. Uso da abordagem da economia circular;
8. Mostra capacidade de atrair investidores;
9. Mostra capacidade de geração de capital para reinvestimento.

Dimensão Governança

1. Equidade entre gerações (Consciência de conservar a disponibilidade e abundância dos recursos naturais para uso das gerações futuras);
2. Garantir fácil acesso à capacitação técnica;
3. Garantir uma percepção positiva da aquicultura por parte da população local;

4. Garantir uma percepção positiva dos produtos da aquicultura por parte dos consumidores.
5. Eficácia e eficiência dos governos (por exemplo, na promoção de regulamentações descentralizadas e baratas);
6. Legislação acessível, ampla e justa com incentivos;
7. Assegurar a obtenção fácil e rápida de autorizações;
8. Garantir uma política tributária econômica;
9. Garantir fácil acesso ao capital;
10. Inclusão da aquicultura nos planos de desenvolvimento do governo e uso do território;
11. Inclusão da aquicultura nos planos de gestão costeira e territorial (por exemplo, zoneamento costeiro);
12. Prestação de contas de todas as partes interessadas com transparência e integridade em todas as ações;
13. Cogestão do setor de aquicultura pela indústria, governo e representantes da comunidade (decisões participativas e compartilhadas entre todas as partes interessadas, coordenando os interesses de todos os atores para a orientação de desempenho);
14. Gestão eficaz de conflitos entre as partes interessadas;
15. Apoio à organização de cooperativas e associações de agricultores;
16. Garantir fácil acesso à extensão e serviços especializados;
17. Garantir uma logística adequada para o transporte de suprimentos e produção;
18. Garantir o acesso à energia de baixo custo e de boa qualidade (preferencialmente renovável) e comunicação na web;
19. Garantir fácil acesso para obtenção de equipamentos, serviços de manutenção e suprimentos a um preço econômico (de preferência próximo às fazendas);
20. Garantir o acesso a novas tecnologias e programas de inovação;
21. Uso comunitário e manutenção de equipamentos mais caros;
22. Estabilidade econômica e política e previsibilidade do Estado de Direito;
23. Aberto à interação entre instituições públicas, privadas e de terceiros;
24. Responsabilidade financeira e social;

25. Contabilidade financeira, transparência e rastreabilidade;
26. Regras e regulamentos claros e eficazes (incluindo legislação ambiental)
27. Controle da corrupção e violência;
28. Programas de inspeção sanitária e biossegurança;
29. Programas de controle de qualidade do pescado (*lato sensu*) Produção;
30. Programas de certificação para agregar valor aos produtos.

4.3. ESCOLHA DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

Na literatura consultada, foram obtidos 939 indicadores de sustentabilidade das quatro dimensões. A maioria deles tem natureza qualitativa, são vagos ou não permitem uma avaliação adequada. Entre estes, foram selecionados 186. Estes foram usados nas reuniões com os *stakeholders* para avaliação. As discussões foram produtivas, mas chegou-se à conclusão que os 56 indicadores definidos em Valenti et al. (2018) são realmente os mais adequados para cobrir praticamente todos os estados estáveis referentes às dimensões ambiental, social e econômica definidos nesse estudo (Apêndice 1). Desse modo, estes foram escolhidos para a continuidade do trabalho. Alguns novos indicadores foram criados pelo grupo de especialistas para complementação (Apêndice 2) e um conjunto de 12 indicadores de governança foram criados pela autora da presente dissertação (Tabela 1).

Tabela 1. Indicadores da Dimensão Governança criados para a Aquicultura

Novos Indicadores - Dimensão Governança			
Indicador Proposto	Finalidade	Tipo	Abrangência
Quantidade grupos de partes interessadas para resolução de conflitos	Mensurar a o engajamento e organização dos stakeholders para resolução de conflitos	Quantitativo	Regional, Setorial, Global
Quantidade de equipamentos, manutenção e serviços próximos aos locais de produção	Mensurar a existência de equipamentos, manutenção e serviços próximos aos locais de produção	Quantitativo	Regional
Quantidade de investimentos privados e estatais em inovações tecnológicas na área	Mensurar o engajamento de empresas e governo na política de investimentos em inovações tecnológicas na área	Quantitativo	Regional, Setorial, Global
Acordos de uso comunitário de equipamentos	Mensurar a aceitação da comunidade quanto ao uso de equipamentos compartilhados	Qualitativo	Regional
Existência de políticas governamentais sólidas e comercialmente estáveis	Mensurar a existência de políticas governamentais sólidas e comercialmente estáveis	Quantitativo	Regional, Setorial, Global
Quantidade de audiências públicas realizadas para garantir a participação da população nas tomadas de decisão	Mensurar a existência de audiências públicas regulares para garantir a participação da população nas tomadas de decisão	Semi-Quantitativo*	Regional, Setorial, Global
Existência de políticas econômicas de incentivo à aquicultura com benefícios sociais	Mensurar a existência ou não de políticas econômicas transparentes e confiáveis de incentivo à aquicultura que contenham benefícios sociais	Qualitativo	Regional, Setorial, Global
Existência de políticas econômicas transparentes e confiáveis para estimular a aquicultura	Mensurar a existência ou não de políticas econômicas transparentes e confiáveis de incentivo à aquicultura	Qualitativo	Regional, Setorial, Global
Existência de políticas públicas com incentivos econômicos para a produção aquícola sustentável	Mensurar a existência ou não de políticas públicas com incentivos econômicos para a produção aquícola sustentável	Qualitativo	Regional, Setorial, Global
Classificação internacional de países corruptos	Pretende avaliar o nível de corrupção em uma determinada região, de acordo com os níveis relatados globalmente	Qualitativo	Global
Classificação internacional de países violentos	Pretende avaliar o nível de violência em uma determinada região, de acordo com os níveis relatados globalmente	Qualitativo	Global
Existência de empresas certificadoras de sustentabilidade (públicas ou privadas)	Mensurar a existência de empresas certificadoras de sustentabilidade no âmbito geográfico	Qualitativo	Regional, Setorial, Global
*Semi-qualitativo: Sim ou Não, se sim, quantas ao ano?			

4.4. CORRELAÇÃO DOS INDICADORES COM OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E COM A RODA DA SUSTENTABILIDADE

Todos os ODSs puderam ser associados a pelo menos um estado desejável (Tabelas 2 a 5). Os ODS 3, 6, 7, 9, 12, 13, 14, 15 foram associados à dimensão ambiental. Os ODS 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 12, 16 foram associados à dimensão social. Os ODS 4, 7, 8, 9, 10, 12 foram associados à dimensão econômica. Já os ODS 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 foram atribuídos à dimensão governança. A lista de ODS e estados desejáveis associados à Roda da Sustentabilidade são apresentados nas Figuras 2 a 5.

Tabela 2. Associação entre os subdomínios da roda da sustentabilidade os estados desejáveis (DS) da sustentabilidade, ODS e indicadores obtidos para a dimensão Ambiental. Os estados desejáveis foram vinculados a cada uma das divisões da Roda da Sustentabilidade usando as cores das células.

Roda da Sustentabilidade*		Estados Desejáveis (DS)		Indicadores de sustentabilidade Ambiental****
ODS **		ODS ***		
	sem subdivisão	7, 9, 12, 13, 14, 15	Baixo uso de recursos naturais;	Uso do espaço/ uso da superfície do planeta / dependência de água / uso de energia / uso de nitrogênio / uso de fósforo / uso de carbono
7	Consumo de energia e emissões de GEE	7, 15	Use energia e materiais renováveis;	Proporção de energia renovável
		13	Libera pouco ou nenhum gás de efeito estufa;	Potencial de aquecimento global
12	Emissão e Resíduos	9, 12, 14, 15	Use os recursos naturais de forma eficiente;	Eficiência no uso de energia / eficiência no uso de nitrogênio / eficiência no uso de fósforo /
		3, 6, 9, 12, 13, 14, 15	Gerar baixa quantidade de poluentes e subprodutos não utilizados;	Potencial de poluição orgânica / Poluição química geral / Poluição por hormônios / Poluição por metais pesados / Poluição orgânica / Produção efetivamente utilizada

		3, 6, 9, 12, 13, 14, 15	Mostra pouca ou nenhuma poluição intrínseca e acúmulo de subprodutos	Produção realmente utilizada / Acúmulo de fósforo / Acúmulo de matéria orgânica / Acúmulo de material particulado
		7, 9, 12	Mostra capacidade de reciclagem e reaproveitamento de materiais	Taxa de circularidade
14	Efeitos abióticos	9, 12, 14, 15	Produzem poucas mudanças no ambiente circundante, incluindo comunidades bióticas;	Mudanças no fluxo de água / Sombreamento / Risco de espécies cultivadas / Mudança α -biodiversidade / Potencial para alterar o ambiente hídrico (PCWE) / Impactos da aquisição de sementes / Potencial para alterar o pool genético da comunidade nativa (PCGP)
14	Efeitos Bióticos	9, 12, 14, 15	Mostra baixo risco de danificar a diversidade genética e a biodiversidade.	Risco de espécies cultivadas / Alteração da α -biodiversidade / Potencial para alterar o ambiente aquático (PCWE) / Impactos da aquisição de sementes / Potencial para alterar o pool genético da comunidade nativa (PCGP)
14	Medidas de mitigação	9, 12, 14, 15	Mitiga a degradação ambiental;	Os 8 indicadores de capacidade de mitigação ou poluição (Valenti et al, 2020)
14	Saúde e bem-estar dos peixes	3	Cumpre os princípios de bem-estar animal;	Conforto Ambiental / Saúde Animal
	Alimentação		não considerado para esta dimensão	

* Osmundsen et al., 2020

** = ODS atribuídos a cada divisão da Roda da Sustentabilidade *** = ODS atribuídos a cada estado desejável

**** Indicadores diferentes são separados por barra (/)

Tabela 3. Associação entre os subdomínios da roda da sustentabilidade os estados desejáveis (DS) da sustentabilidade, ODS e indicadores obtidos para a dimensão Social. Os estados desejáveis foram vinculados a cada uma das divisões da Roda da Sustentabilidade usando as cores das células.

Roda da Sustentabilidade*		Características Desejáveis (DS)	Seleção de indicadores de sustentabilidade Social ****
ODS**	Cultura	ODS***	
11	Capital Social da Comunidade Local	1, 2, 3, 4, 8	Mostra capacidade de gerar benefícios às comunidades locais; Desenvolvimento da economia local / Uso de trabalhadores locais / Consumo local da produção / Acesso a programas de seguro saúde
		1, 2, 12	Contribuir para a segurança alimentar das populações locais e globais; Consumo Local de Produção
		3, 8, 10, 12	Respeito à cultura local e aproveitamento do capital social das comunidades locais; Uso de insumos locais / participação em atividades comunitárias externas
		1, 2, 8, 16	Permitir que as famílias tenham condições socioeconômicas de acordo com os padrões locais; Proporção de renda familiar / Investimento para criar empregos diretos / Investimento para criar empregos totais / Proporção de empregos autônomos

	sem subdivisão	1, 2, 8, 9, 10, 12	Promover o uso social dos espaços terrestres (superfícies terrestres e aquáticas);	Uso do espaço / dependência de água
8	Interesses e bem-estar dos funcionários	1, 2, 8, 10, 16	Garantir pleno emprego, condições de trabalho seguras e decentes;	Segurança no local de trabalho / capacitação da força de trabalho / investimento para criar emprego direto / investimento para criar emprego total / proporção de empregos autônomos
		4, 8, 10	Assegurar um plano de desenvolvimento profissional;	Escolaridade / Capacitação da força de trabalho
	sem subdivisão	1, 2, 8, 10, 16	Gerar empregos diretos e indiretos e trabalho autônomo;	Investimento para criar emprego direto / investimento para criar emprego total / proporção de empregos autônomos
10	Capital próprio	1, 2, 10, 16	Gerar distribuição de renda equitativa;	Igualdade de remuneração / Distribuição de renda /
		1, 2, 5, 8, 10, 16	Gerar igualdade de oportunidades;	Inclusão de gênero / Inclusão racial / Inclusão de idade /
		5, 10, 16	Promover a inclusão de gênero, idade e diferentes grupos étnicos;	Inclusão de gênero / inclusão racial / inclusão de idade
16	Respeito pela Cultura Nativa	1, 2, 3, 16	Promova o bem-estar, a realização e o estilo de vida de acordo com os padrões locais	Proporção de renda familiar / Acesso a programas de seguro saúde / Escolaridade /
11	Integração Comunitária		não considerado para esta dimensão	
10	Contribuições da comunidade		não considerado para esta dimensão	

9	Investigação e Aprendizagem	3, 4, 8, 10, 16	Promover o acesso a programas de saúde, escolaridade e capacitação da força de trabalho.	Escolaridade / Acesso a programas de seguro saúde / Capacitação da força de trabalho
---	-----------------------------	-----------------	--	--

* Osmundsen et al., 2020

** = ODS atribuídos a cada divisão da Roda da Sustentabilidade

*** = ODS atribuídos a cada estado desejável

**** Indicadores diferentes são separados por barra (/)

Tabela 4. Associação entre os subdomínios da roda da sustentabilidade, os estados desejáveis (DS) da sustentabilidade, ODS e indicadores obtidos para a dimensão Econômica. Os estados desejáveis foram vinculados a cada uma das divisões da Roda da Sustentabilidade usando as cores das células.

Roda da Sustentabilidade*		Características Desejáveis (DS)		Seleção de indicadores de sustentabilidade Econômica****
ODS**		ODS* **		
8	Trabalho e Emprego	4, 8	Demonstra capacidade para manter uma equipe qualificada;	Antiguidade da força de trabalho na aquicultura / Capacitação da força de trabalho / Escolaridade /
10	Distribuição de riqueza	8, 10	Mostra capacidade de manter os agricultores familiares na atividade;	Proporção de ganho familiar / renda anual / renda anual
8	Desempenho financeiro	8	Mostra o uso eficiente de recursos financeiros;	Proporção do lucro líquido e do investimento inicial
		8, 12	Mostra viabilidade econômica;	Taxa interna de retorno / período de retorno / relação benefício-custo / lucro líquido / lucratividade
		8, 9, 12	Mostra capacidade de absorver custos de externalidades negativas;	Taxa interna de retorno / período de retorno / relação benéfico-custo / lucro líquido / lucratividade (todos incluindo as externalidades nos cálculos)
		8, 9, 12	Mostra resiliência em cenários de mudança;	Diversidade de produtos / Diversidade de mercados / Potencial de resiliência econômica
8	Custos de produção	7, 8, 9, 12	Uso da abordagem da economia circular;	Taxa de Circularidade

9	Efeitos indiretos na atividade econômica	8, 9, 12	Mostra capacidade de atrair investidores;	Taxa de Risco / Razão lucro líquido e investimento inicial / Taxa interna de retorno / Período de retorno / Razão benefício-custo / Lucro líquido / Potencial de resiliência econômica / Rentabilidade / Lucro anual / Força da Cadeia de Valor
9	Investimentos em Tecnologia e Inovação	8, 9, 12	Mostra capacidade de geração de capital para reinvestimento.	Capital Investido Gerado na Atividade
16	Condições de licença e permissão		não considerado para esta dimensão	

* Osmundsen et al., 2020

** = ODS atribuídos a cada divisão da Roda da Sustentabilidade

*** = ODS atribuídos a cada estado desejável

**** Indicadores diferentes são separados por barra (/)

Tabela 5. Associação entre os subdomínios da roda da sustentabilidade aos estados desejáveis (DS) da sustentabilidade, ODS e indicadores obtidos para a dimensão Governança. Os estados desejáveis foram vinculados a cada uma das divisões da Roda da Sustentabilidade usando as cores das células. Em vermelho estão descritos os indicadores criados no presente trabalho.

Roda da Sustentabilidade*		Características Desejáveis (DS)		Seleção de indicadores de sustentabilidade de Governança****
ODS**	Governança	ODS***		Dimensão Governança da Sustentabilidade
10	Seguridade Social	8, 9, 12, 13, 14, 15	Equidade entre gerações (Consciência de conservar a disponibilidade e abundância dos recursos naturais para uso das gerações futuras);	Potencial de alteração do pool genético da comunidade nativa / Potencial de alteração do ambiente aquático / Potencial de poluição orgânica / Poluição química geral / Poluição por hormônios / Poluição por metais pesados / Potencial de aquecimento global / Existência nas regulamentações nacionais de disposições específicas sobre aquicultura seleção para preservar / Existência de um programa nacional de monitoramento para monitorar produtos químicos (antibióticos e parasitocidas) e outros resíduos, biodiversidade e habitats sensíveis

11	Representação e Negociação	4, 8, 10, 16	Garantir fácil acesso à capacitação técnica;	Escolaridade / Capacitação da força de trabalho / existência de programa de treinamento para funcionários do setor em aspectos financeiros da atividade (FAO 2011) e existência de programa de treinamento para o setor
		2, 3, 11, 12, 17	Garantir uma percepção positiva da aquicultura por parte da população local;	Ruído, luz e odor provenientes da fazenda são minimizados em áreas onde possam impactar outras pessoas (se aplicável à área de cultivo) (ASC Bivalve)
		2, 3, 11, 12, 17	Garantir uma percepção positiva dos produtos da aquicultura por parte dos consumidores.	Protocolo de resposta a reclamações documentado que inclui, no mínimo, um registro de reclamações e respostas adequadas (ASC Bivalve)
		11, 16, 17	Eficácia e eficiência dos governos (por exemplo, na promoção de regulamentações descentralizadas e baratas);	Quadro legal ®
		11, 16, 17	Legislação acessível, ampla e justa com incentivos;	Evidência de conformidade com todos os requisitos e regulamentos legais aplicáveis onde a operação agrícola está localizada (por exemplo, autorizações, licenças, evidência de / existência de fundos de pesquisa
		11, 16, 17	Assegurar a obtenção fácil e rápida de autorizações;	Número de novas licenças e volume de produção autorizado (Hofherr et al., 2012) / número de concessões e licenças para aquicultura
		11, 16, 17	Garantir uma política tributária econômica;	Subsídios atribuídos / pagos ao setor em relação ao valor da produção aquícola nacional (Hofherr et al., 2012), Número e tipo de alternativa

11	Coordenação de interesses e atividades	11, 16, 17	Garantir fácil acesso ao capital;	Falta ou acesso inadequado a recursos financeiros por (pesca de captura prospectiva ou) empresários da aquicultura (AU-IBAR), despesas com fundos estruturais
		11, 14, 15, 16, 17	Inclusão da aquicultura nos planos de desenvolvimento do governo e uso do território;	Tamanho das zonas alocadas para a aquicultura (Hofherr et al., 2012)
		11, 14, 15, 16, 17	Inclusão da aquicultura nos planos de gestão costeira e territorial (por exemplo, zoneamento costeiro);	Existência de legislação nacional para zoneamento (FAO, 2011), Existência de zonas alocadas para aquicultura (AZA)
		11, 16, 17	Prestação de contas de todas as partes interessadas com transparência e integridade em todas as ações;	Um mecanismo (por exemplo, seguro ou um acordo da indústria para coletar equipamentos abandonados) está em vigor para o descomissionamento de fazendas abandonadas (ASC Bivalve), 2.1 / Parceria global produzindo informações para o mundo e evitando proprietários / 2.1 Existência de mecanismos participativos na decisão-processos de tomada = (Sim / Não)
		11, 16, 17	Cogestão do setor de aquicultura pela indústria, governo e representantes da comunidade (decisões participativas e compartilhadas entre todas as partes interessadas, coordenando os interesses de todos os atores para a orientação de desempenho);	Participação efetiva no processo de tomada de decisão (FAO 2011), Mecanismos de participação estabelecidos

11, 16, 17	Gestão eficaz de conflitos entre as partes interessadas;	Protocolo de resolução de conflitos, incluindo registro publicamente disponível de reclamações e evidências de devida diligência para resolvê-los (ASC Bivalve)
10, 11, 16, 17	Apoio à organização de cooperativas e associações de agricultores;	Existência de sindicatos e acordos coletivos específicos para o setor da aquicultura (CAQ), existência de organizações de produtores ou cooperativas de comercialização (FAO) / Existência de grupos de partes interessadas para resolução de conflitos
9, 11, 17	Garantir fácil acesso à extensão e serviços especializados;	Força da cadeia de valor (produção) / Existência de um estatuto profissional (FAO 2011)
9, 11, 17	Garantir uma logística adequada para o transporte de suprimentos e produção;	Força da cadeia de valor (produção) / Distribuição desigual da capacidade humana e de infraestrutura entre os Estados Membros da UA (AU-IBAR)
7, 9, 11, 17	Garantir o acesso à energia de baixo custo e de boa qualidade (preferencialmente renovável) e comunicação na web;	Força da cadeia de valor (produção) / Acesso à água e eletricidade (Marin-Monroy & Ojeda-Ruiz de la Pena 2016) / Proporção de energias renováveis
9, 11, 17	Garantir fácil acesso para obtenção de equipamentos, serviços de manutenção e suprimentos a um preço econômico (de preferência próximo às fazendas);	Força da cadeia de valor (produção) / Existência de equipamentos, manutenção e serviços próximos aos locais de produção

17	Transparência e rastreabilidade	7, 9, 11, 17	Garantir o acesso a novas tecnologias e programas de inovação;	Existência de mecanismo nacional de apoio / existência de fundos de pesquisa / Existência de programas de Governo e investimentos privados em inovações tecnológicas na área
		9, 10, 11, 17	Uso comunitário e manutenção de equipamentos mais caros;	Acordos de uso comunitário de equipamentos / número de contratos de parceria
		10, 16, 17	Estabilidade econômica e política e previsibilidade do Estado de Direito;	Existência de políticas governamentais sólidas e comercialmente estáveis
		10, 11, 16, 17	Aberto à interação entre instituições públicas, privadas e de terceiros;	Evidência de divulgação (por exemplo, registros de reuniões) / Existência de mecanismos participativos nos processos de tomada de decisão / Existência de audiências públicas regulares para garantir a participação da população nas tomadas de decisão
		8, 9, 10, 16, 17	Responsabilidade financeira e social;	Mecanismos de responsabilidade (acordos de relatórios) / Existência de políticas econômicas de incentivo à aquicultura com benefícios sociais
		2, 3, 8, 9, 16, 17	Contabilidade financeira, transparência e rastreabilidade;	Mecanismos de responsabilidade (acordos de relatórios) / Existência de políticas econômicas transparentes e confiáveis para estimular a aquicultura

16	Responsabilidade e execução	16, 17	Regras e regulamentos claros e eficazes (incluindo legislação ambiental)	Existência em regulamentos nacionais de disposições específicas sobre a seleção de locais de aquicultura para preservar a biodiversidade e habitats sensíveis / Existência de legislação para monitoramento de parâmetros ambientais / Existência de políticas públicas com incentivos econômicos para a produção de aquicultura sustentável / Existência de legislação específica que rege os princípios do Código de Conduta para Pesca Responsável (CCRF) (CAQ)
		3, 10, 11, 16	Controle da corrupção e violência;	Classificação internacional de países corruptos / Classificação internacional de países violentos
2	Segurança alimentar	2, 3, 6, 14, 15, 17	Programas de inspeção sanitária e biossegurança;	Existência de esquemas de certificação de qualidade (organismos independentes) e existência de sistema de biossegurança (FAO 2011) / Existência de mecanismos de informação sobre a produção aquícola
		2, 3, 6, 12, 14, 15	Programas de controle de qualidade do pescado (<i>lato sensu</i>) Produção;	Existência de sistema de rastreabilidade (FAO 2011) / Existência de mecanismos de informação a respeito da produção aquícola
	sem subdivisão	6, 8, 9, 14, 15	Programas de certificação para agregar valor aos produtos.	Porcentagem de produtos de valor agregado (FAO 2011), existência de rótulos ecológicos e diferencial de produto / preço com relação à qualidade (FAO 2011) / Existência de empresas certificadoras de sustentabilidade (públicas ou privadas)

* Osmundsen et al., 2020

** = ODS atribuídos a cada divisão da Roda da Sustentabilidade

*** = ODS atribuídos a cada estado desejável

**** Indicadores diferentes são separados por barra (/)

5. DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo indicaram que a constituição brasileira atual contempla a aplicação dos conceitos de sustentabilidade tanto para o meio ambiente como para conjuntura econômica e social. De qualquer forma, a aplicação dos ODS, Agenda 21 (UN, 1992) e Agenda 2030 (UN, 2015) têm embasamento jurídico nos documentos internacionais dos quais o Brasil é signatário. A Constituição Federal de 1988 busca defender o ambiente por meio de seus princípios. Em cada dimensão da sustentabilidade podemos encontrar a relação entre a lei com seus princípios e a defesa do meio ambiente mais sustentável. Os princípios trazidos pela constituição são a essência da intenção do legislador (FIORILLO, 2017). O meio pelo qual se justifica a publicação do texto da lei. Doutrinadores dizem que os princípios correspondem a normas de direito natural, verdades jurídicas universais e imutáveis (DANI et al., 2010). Toda legislação abaixo da constitucional, que esteja em desacordo com esses princípios é nula. O direito ambiental é um ramo autônomo do direito que reúne uma série de normas e regras que, ordinariamente, podem ser aplicadas a mais de um ramo do direito. Essa independência lhe é garantida porque o direito ambiental possui os seus próprios princípios, presentes no art. 225 da Constituição Federal (FIORILLO, 2017). Há de se diferenciar, entretanto, o direito ambiental da dimensão ambiental. O direito ambiental é amplo e engloba os princípios de todas as quatro (4) dimensões para a proteção do meio ambiente.

O desenvolvimento teórico dos estados desejáveis para a aquicultura sustentável e dos indicadores de sustentabilidade depende de uma definição clara do conceito de sustentabilidade e de aquicultura sustentável. Existem centenas de definições de sustentabilidade (ex. Phillis and Andriantiatsaholiniaina, 2001; Glavic and Lukman, 2007; Santillo et al., 2007; Johnston et al., 2007; Moore et al., 2017). No entanto, vários pontos são comuns a todos eles, tais como o gerenciamento dos recursos naturais, humanos e financeiros e a perenidade no tempo. Valenti et al. (2018) define aquicultura sustentável como a produção lucrativa de organismos aquáticos mantendo interação contínua e harmoniosa com os ecossistemas adjacentes e

comunidades locais. Analisando a Agenda 2030 (UN, 2015), concluímos que esse conceito está totalmente conectado a ela e reflete os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Portanto foi adotado neste trabalho para a interpretação dos resultados.

Os estados desejáveis da aquicultura sustentável representam cenários que contemplam, ainda que parcialmente, os princípios da sustentabilidade. No presente trabalho, estes foram definidos para cada dimensão da sustentabilidade pelo mecanismo misto de top-down e bottom-up, discutido por especialistas e outros *stakeholders* internacionais. Isso dá um respaldo importante quanto à validade dos resultados. Observa-se que os cenários propostos estão de acordo com os princípios definidos nos principais documentos internacionais, tais como as Agendas 21 e 2030 (UN, 1992; 2015), Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2005), Agenda da Humanidade (UN, 2018), Critérios para a sustentabilidade da economia azul na Europa (EU, 2021), Declaração de Shanghai (Troell et al., 2021) e outras.

Existe uma quantidade enorme de indicadores de sustentabilidade na literatura científica e em documentos técnicos. No entanto, a grande maioria não é adequada para avaliar a aquicultura. Neste trabalho, buscaram-se por indicadores de aplicação ampla, de natureza quantitativa, de fácil interpretação e baseados em princípios científicos, eliminando-se todos os que continham informações inespecíficas, suposições, interesses políticos ou de mercado. Constatou-se que o melhor conjunto de indicadores para medir a sustentabilidade da aquicultura é o proposto por Valenti et al. (2018). Esses indicadores estão entre os quatro sistemas de indicadores escolhidos pela União Europeia para avaliar a reconstrução da economia azul pós-pandemia da Covid-19 (UN, 2021). No entanto, a aquicultura envolve uma grande quantidade de sistemas e espécies cultivadas (FAO, 2022) o que requer um grande número de indicadores para contemplar toda essa diversidade. Assim, foi necessário criar outros indicadores complementares. Por outro lado, o conjunto apresentado por Valenti et al. (2018) não contempla a dimensão governança. Essa não é uma dimensão natural da sustentabilidade e não é considerada como dimensão nas agendas 21 e 2030 (UN, 1992; 2015). No entanto, é importante para atingir a sustentabilidade. Embora tenhamos criado um conjunto de indicadores para avaliar a governança, essa área requer ainda muitos estudos posteriores.

O presente estudo mostrou que os estados desejáveis da aquicultura se inserem nos ODS. Como os indicadores são adequados para medir as variações e evolução dos sistemas de produção quanto aos estados desejáveis, eles também podem avaliar a contribuição da aquicultura para atingir os ODS. Portanto, a aquicultura pode contribuir para atingir várias das metas de todos os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Figura 3). Esse resultado corrobora às conclusões contidas na declaração de Shanghai (Troell et al., 2021). Portanto, de um modo geral, os indicadores estão intrinsecamente relacionados aos ODS e podem mensurar o quanto os ODS vêm sendo atendidos dentro da aquicultura.

Cada indicador pode atender um ou mais dos ODS para que possam se harmonizar com a ideia de sustentabilidade em suas mais diversas vertentes. O uso de indicadores quantitativos é fundamental para que a sustentabilidade possa ser mensurada com mais exatidão, e que se possa avaliar os estágios intermediários do processo em direção a sistemas mais sustentáveis e consequentemente a contribuição da aquicultura para atingir os ODS. Mesmo os indicadores que se baseiam em variáveis qualitativas devem ser transformados em uma escala semiquantitativa para permitir avaliações do grau de sustentabilidade e a evolução após intervenções do poder público ou mesmo de ações do setor privado. (Valenti et al., 2018). Isso permitiria que as políticas públicas pudessem ser melhor avaliadas e redirecionadas para atender aos seus propósitos.

Além de permitirem avaliar as contribuições da aquicultura para as atingir as metas dos ODS, os indicadores de sustentabilidade da aquicultura podem servir como ferramenta, para auxiliar na análise de outras medidas de sustentabilidade como por exemplo do Índice de Sustentabilidade Empresarial ou do sistema *ESG – Environment, Social and Governance*. Esse sistema corresponde às boas práticas ambientais, sociais e de governança de uma organização. O termo nasceu em 2004 na publicação do Pacto Global das Nações Unidas em parceria com o Banco Mundial, chamada *Who Cares Wins* (Quem se Importa Ganha). A ideia era integrar fatores sociais, ambientais e de governança no mercado de capitais. O Pacto Global não corresponde a um instrumento regulatório e obrigatório. Tampouco foi idealizado para fiscalizar as boas práticas ambientais, sociais e de governança. É, na verdade, fruto de livre iniciativa que promove

diretrizes para a promoção do crescimento sustentável e da cidadania (UN, 2004).

A ligação do ESG com os ODS é clara, uma vez que os ODS dão a base para as diretrizes que compõe o ESG. O Pacto Global advoga Dez Princípios Universais. Estes seriam derivados da Declaração Universal de Direitos Humanos, da Declaração da Organização Internacional do Trabalho sobre Princípios e Direitos Fundamentais no Trabalho, da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento e também da Convenção das Nações Unidas Contra a Corrupção. As organizações que passam a fazer parte do Pacto Global comprometem-se a seguir esses princípios no dia a dia de suas operações. Segundo UN (2004), estes seriam:

1. As empresas devem apoiar e respeitar a proteção de direitos humanos reconhecidos internacionalmente.
2. Assegurar-se de sua não participação em violações destes direitos.
3. As empresas devem apoiar a liberdade de associação e o reconhecimento efetivo do direito à negociação coletiva.
4. A eliminação de todas as formas de trabalho forçado ou compulsório.
5. A abolição efetiva do trabalho infantil.
6. Eliminar a discriminação no emprego.
7. As empresas devem apoiar uma abordagem preventiva aos desafios ambientais.
8. Desenvolver iniciativas para promover maior responsabilidade ambiental.
9. Incentivar o desenvolvimento e difusão de tecnologias ambientalmente amigáveis.
10. As empresas devem combater a corrupção em todas as suas formas, inclusive extorsão e propina.

Essas diretrizes trazem a uma reflexão sobre a forma utilizada para medir que determinada governança ou instituição atendem ou não aos ESG e possam ser beneficiadas sobre eventuais fundos específicos. Em 2021, o Tesouro Nacional do Brasil lançou a ideia da criação de títulos ESG para atrair investidores estrangeiros com foco na sustentabilidade (Andrade, 2021). Porém, até o presente, não há uma forma de mensurar a proporção exata em que determinada empresa ou governança atende ou não às diretrizes dos ESG. A

utilização de indicadores de sustentabilidade claros, quantitativos, mensuráveis e correlacionados com os ODS para as boas práticas sustentáveis é essencial para que ideias como essa sejam aplicáveis na prática e à realidade atual. Infere-se daí que a correlação dos indicadores de sustentabilidade com os ODS Pode ser um passo basilar para criação de mecanismos de governos que possam promover um futuro sustentável para as próximas gerações.

A aquicultura é um dos setores da economia que vem apresentando grande crescimento no Brasil. Em 2020, a produção de organismos aquáticos atingiu cerca de 800 mil toneladas movimentando cerca de US\$ 1 bilhão (Valenti et al., 2021). Essa atividade é praticada no Brasil de modo semelhante à forma como é feita nos grandes produtores mundiais da Ásia (Valenti et al., 2018). Portanto, pode-se inferir que as considerações feitas para o setor em escala global também sejam aplicadas no Brasil. Assim, essa atividade pode contribuir significativamente para o país atingir seus compromissos com a agenda 2030.

Os princípios constitucionais ambientais brasileiros relacionados às quatro dimensões da sustentabilidade são norteadores para a criação de políticas públicas eficazes e eficientes. Porém, somente eles, não são capazes de garantir a sustentabilidade aquícola. Há a necessidade real de entender qual o nível de sustentabilidade de determinado projeto ou sistema para atender a todos igualmente. De acordo com o célebre Rui Barbosa, “devemos tratar os desiguais como desiguais, na medida da sua desigualdade” (Barbosa, 1921). Portanto, para as políticas públicas serem justas devem não somente ser igualitárias (*equality*), mas também equânimes (*equity*). Há indicadores de sustentabilidade para medir tanto a distribuição equalitária como equânime dos benefícios da aquicultura. Ainda está longe de se atingir a sustentabilidade na aquicultura, o caminho é lento e árduo, mas necessário para preparar a produção aquícola, visando contribuir com a construção de um planeta sustentável.

Indicadores de Sustentabilidade e sua relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)



Figura 3. Indicadores de Sustentabilidade e sua relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU nas 4 dimensões da Sustentabilidade

6. CONCLUSÕES

Esse estudo mostrou que as quatro dimensões da sustentabilidade têm amparo na constituição federal do Brasil e, portanto, podem ser aplicadas nas atividades de aquicultura nacionais, bem como, em outras atividades econômicas.

O trabalho também mostra que os estados desejáveis (*Desired States - DS*) para se obter uma aquicultura sustentável estão intimamente ligados às metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), ou seja, uma vez atingidos também estão contribuindo para se atingir os ODS.

Os indicadores de sustentabilidade na aquicultura selecionados ou criados nesse trabalho podem representar os estados desejáveis, medindo sua variação e evolução em direção a sistemas mais ou menos sustentáveis nas dimensões ambiental, social e econômica. Portanto, podem também ser usados para avaliar a evolução da aquicultura como um motor do desenvolvimento sustentável para várias metas contidas nos ODS,

Na dimensão governança, que não é uma dimensão natural da sustentabilidade definidas nas Agendas 21 e 2030, ainda é necessária a criação de outros indicadores.

Estudos futuros devem ser realizados para refinar os indicadores de sustentabilidade da aquicultura existentes ou criar novos indicadores para aumentar a precisão dessa ferramenta, visando avaliar a contribuição da aquicultura para atingir os ODS.

REFERÊNCIAS

Andrade, J. (2021). *Tesouro quer atrair estrangeiros com títulos ESG, mas a ideia não basta*. Estadão. Disponível online: <https://einvestidor.estadao.com.br/investimentos/titulos-esg-nao-bastam-para-investidor-estrangeiro>. Acessado em: 24/10/2022.

Barbosa, R. (1921). *Oração aos moços*. São Paulo: Hedra, 2009.

Bessa, P. A. (2011) *Direito ambiental*. 13. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Lumen Juris.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Relatório anual 2008: atividades de apoio à articulação federativa*. Brasília: MMA, 2009.

Campos, G. (2018). *Princípios do Direito Ambiental*. Verde Ghaia. Disponível online: <https://www.verdeghaia.com.br/principios-do-direito-ambiental/>. Acessado em 19/11/2021.

Dani, F. A., de Oliveira, Á. B., & Barros, D. S. (2010). *O desenvolvimento sustentável como ótimo de Pareto na relação entre os princípios constitucionais ambientais e os princípios constitucionais econômicos*. Curitiba: Revista de Direito Econômico e Socioambiental, 1(2), 303-331.

Dantas, I. *Direito constitucional econômico: globalização e constitucionalismo* (1999). Curitiba: Juruá.

de Carvalho, S. A. (2014). *Justiça Social e Ambiental: um instrumento de consolidação à sustentabilidade*. Revista Eletrônica Direito e Política, 9(2), 755-779.

Declaração de Shanghai: Aquicultura para alimentação e desenvolvimento sustentável. (2021, setembro). Shanghai, CHI.

Declaração do Rio Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. (1992). Organização das Nações Unidas (ONU).

ESG – Pacto Global – Rede Brasil. Disponível online: <https://www.pactoglobal.org.br/pg/esg>. Acessado em: 24/10/2022.

European Commission (EC). (2021). *Deploying the Bioeconomy in the EU: A framework approach for bioeconomy strategy development*.

European Union (EU) 2021. Sustainability criteria of Blue Economy. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021 © European Union, 2021. 69p.

FAO. (1999). *Indicators for sustainable development of marine capture fisheries*. In *FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries* (8^a ed.). FAO.

FAO. Global Aquaculture Production. FAO Fisheries and Aquaculture Statistics; FAO: Rome, Italy, 2021; Available online: http://www.fao.org/figis/servlet/SQServlet?file=/usr/local/tomcat/8.5.16/figis/webapps/figis/temp/hqp_4125957264323673027.xml&outtype=html (accessed on 29 July 2021).

Fiorillo, C. A. P. (2017). *Curso de Direito Ambiental Brasileiro*. 17 ed. São Paulo: Saraiva.

Granziera, M. L. M. (2011) *Direito ambiental*. 2^a ed. São Paulo: Atlas.

Giannetti, B. F., Fonseca, T., Almeida, C. M., Oliveira, J. H. D., Valenti, W. C., & Agostinho, F. (2021). *Beyond a sustainable consumption behavior: what post-pandemic world do we want to live in* *Frontiers in Sustainability*, 2, 8.

Glavič, P., Lukman, R. 2007. Review of sustainability terms and their definitions. *Journal of Cleaner Production*, 15: 1875-1885.

Honneth, A. "Recognition as ideology." *Recognition and power: Axel Honneth and the tradition of critical social theory* (2007): 323-347.

Johnston, P., Everard, M., Santillo, D., & Robèrt, K. H. (2007). *Reclaiming the definition of sustainability*. *Environmental science and pollution research international*, 14(1), 60-66.

Kelsen, H. (2016). *Teoria geral do direito e do estado* (5^aed.). São Paulo: Martins Fontes.

Lazard, J., et al. "Guide to the co-construction of sustainable development indicators in aquaculture." (2008).

Meadows, D. H., Randers, J., & Meadows, D. L. (2013). *The Limits to Growth* (1972). New Haven: Yale University Press.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA)., 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press.

Milaré, É. (2004). *Direito do Ambiente* (3^a ed.). São Paulo: Revista dos Tribunais.

Moore, J.E., Mascarenhas, A., Bain, J. et al. 2017. Developing a comprehensive definition of sustainability. *Implementation Science*, 12: 110.

Moura, A. S. d., & Bezerra, M. d. C. (2016). *Governança e sustentabilidade das políticas públicas no Brasil*. Brasília: IPEA.

Odum, E. P., Ortega, A., & Teresatr, M. (2006). Fundamentos de ecologia (No. 574.5 O35).

Oldekop, J. A., Horner, R., Hulme, D., Adhikari, R., Agarwal, B., Alford, M., ... & Zhang, Y. F. (2020). *COVID-19 and the case for global development*. World development, 134, 105044.

Osmundsen, T. C., Amundsen, V. S., Alexander, K. A., Asche, F., Bailey, J., Finstad, B. & Salgado, H. (2020). *The operationalisation of sustainability: Sustainable aquaculture production as defined by certification schemes*. Global Environmental Change, 60, 102025.

Phillis, Y.A., Andriantiatsaholiniaina, L.A. 2001. Sustainability: an ill-defined concept and its assessment using fuzzy logic, Ecological Economics, 37: 435-456.

Santillo, D. 2007. Reclaiming the Definition of Sustainability. Env Sci Poll Res Int, 14: 60–66

Scardua, F. P. *Governabilidade e descentralização da gestão ambiental no Brasil*. 2003. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

Seghezzo, L. (2009). *The five dimensions of sustainability*. Environmental politics, 18(4), 539-556.

Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T. M., Folke, C., Liverman, D. & Schellnhuber, H. J. (2018). *Trajectories of the Earth System in the Anthropocene*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 115(33), 8252-8259.

Syvitski, J., Waters, C. N., Day, J., Milliman, J. D., Summerhayes, C., Steffen, W. & Williams, M. (2020). *Extraordinary human energy consumption and resultant geological impacts beginning around 1950 CE initiated the proposed Anthropocene Epoch*. Communications Earth & Environment, 1(1), 1-13.

Troell, M., Costa-Pierce, B., Stead, S., Cottrell, R. S., Brugere, C., Farmery, A., Strand, Å., Soto, D., Pullin, R., Beveridge, M., Salie, K., Yossa, R., Moraes-Valenti, P., Blanchard, J., Dresdner, J., James, P., Allison, E., Devaney, C., & Barg, U. (2021). *Perspectives on aquaculture's contribution to the SDGs for improved human and planetary health*. Background paper for FAO Shanghai Symposium - "Aquaculture and the SDGs". (no prelo).

UN (United Nations), 1992. Agenda 21. In: United Nations Sustainable Development, United Nations Conference on Environment & Development. United Nations, New York.

United Nations (2007). *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. (3^a ed.).

United Nations (2015). *Transforming Our World: The 2030 Agenda For Sustainable Development*.

Valenti, W. C. (2002). *Aquicultura sustentável*. In *Congresso de Zootecnia* (Vol. 12, pp. 111-118).

Valenti, W. C. 2012. *Avanços e Desafios Tecnológicos para a Sustentabilidade da Carcinicultura* In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 41a, Brasília, 2012. Anais...p.1-15.

Valenti, W. C., Kimpara, J. M., Preto, B. D. L., & Moraes-Valenti, P. (2018). *Indicators of sustainability to assess aquaculture systems*. *Ecological indicators*, 88, 402-413.

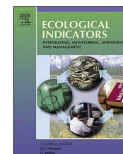
Valenti, W.C.; Barros, H.P.; Moraes-Valenti, P.; Cavalli, R.O. 2021. *Aquaculture in Brazil: past, present and future*. *Aquaculture Reports*, 19, e100611.p. 1-18. doi: 10.1016/j.aqrep.2021.100611



Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Indicators

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind



Indicators of sustainability to assess aquaculture systems

Wagner C. Valenti^{a,*}, Janaina M. Kimpara^b, Bruno de L. Preto^c, Patricia Moraes-Valenti^d

^a UNESP – São Paulo State University, Aquaculture Center and CNPq, Via Paulo Donato Castellane s/n, Jaboticabal, SP 14 884-900, Brazil

^b Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Meio Norte, BR-343, km 35, Zona Rural, Parnaíba 64200-970 PI, Brazil

^c Ifes – Federal Institute of Espírito Santo, Alegre campus, BR – 382, km 47, Rive, Alegre-ES, 29520-000, Brazil

^d UNESP – São Paulo State University, Aquaculture Center and UNISA – Santo Amaro University, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900 Jaboticabal, SP, Brazil

ARTICLE INFO

Keywords:
Sustainability indicators
Aquaculture
Public policy
Production system assessment

ABSTRACT

Aquaculture is one of the fastest-growing food-producing sectors worldwide, making it desirable to assess the sustainability of aquaculture systems. The objective of this study was to develop a portfolio of quantitative indicators of economic, environmental and social sustainability to assess different aquaculture systems. The indicators were developed from 2003 to 2016, combining top-down and bottom-up methods, together with practical observations in experimental and commercial aquaculture facilities. A total of 56 economic (14), environmental (22) and social (20) indicators are proposed. Economic sustainability indicators reveal the degree of efficiency in using financial resources, the economic feasibility, resilience, and the capacity to absorb negative external costs and to generate funds for reinvestment. Environmental indicators reflect the use of natural resources, the efficiency in using resources, the release of pollutants and unused byproducts, and the risk of reducing biodiversity. Social sustainability indicators reflect the capacity to generate benefits for local communities, including jobs and food security, equitable income distribution, equality of opportunity, and inclusion of vulnerable populations. The indicators thus developed can be used on farm, regional, global or sectorial scales. They are quantitative, broad, scientifically sound, easy to understand and interpret, feasible to obtain on farms or on research stations, and permit comparison at different scales of space and time. Thus, they can be used to assess production systems and to compare different experimental treatments in research experiments. They also can be used by certifying organizations, investors, and policymakers. They allow performing diagnostics, identifying strengths and weaknesses, setting goals and determining actions, and assessing the effectiveness of actions and public policies.

1. Introduction

Aquaculture development has yielded many positive socio-economic results. This is one of the fastest-growing food-producing sectors worldwide and provides slightly more than half of all fish for human food (FAO, 2016). Nonetheless, the impact of aquaculture farming on the environment and the prospects for its sustainability have raised concern since the early 1990s (Folke and Kautsky, 1992; Naylor et al., 2000; Samuel-Fitwi et al., 2012; Perdikaris et al., 2016). These impacts may generate costs for society as a whole as well as problems for the farmers themselves, via negative feedback on production (Neiland et al., 2001). Estimating the magnitude of these external factors and including them in the cost of production has been a challenge for environmental economists and scientists involved with aquaculture sustainability. In addition, the impacts of aquaculture on the local

economy, food security, and social development of rural communities are key topics for policies of sustainable development (Costa-Pierce, 2010; Béné et al., 2016).

Sustainability has been described in many ways by different authors and institutions (see Johnston et al., 2007). However, there is agreement on some fundamental points. Thus, one can define sustainability as the management of financial, technological, institutional, natural and social resources, ensuring the continuous satisfaction of human needs for the present and future generations. Sustainability is an anthropocentric concept that considers human needs above everything, excluding other kinds of life, unless they affect the human species. Moreover, sustainability involves perennality in time. Time scale is the duration of the human generations. Therefore, sustainable ventures should persist throughout human generations. Every future generation must inherit a stock of natural resources, equal to or larger than the one

* Corresponding author.

E-mail addresses: valenti@caunesp.unesp.br (W.C. Valenti), janaina.kimpara@embrapa.br (J.M. Kimpara), blpreto@ifes.edu.br (B.d.L. Preto), moraesvalenti@gmail.com (P. Moraes-Valenti).

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.068>

Received 4 August 2017; Received in revised form 12 December 2017; Accepted 30 December 2017
1470-160X/ © 2018 Elsevier Ltd. All rights reserved.

inherited by the previous generation (WCED, 1987). Sustainability requires a human lifestyle within the limits imposed by nature; we must live within the capacity of the natural capital.

Nowadays, there is a consensus that production systems such as aquaculture should be sustainable. However, it is essential to define what is sustainable and to know how sustainable systems really are. Totally sustainable systems are still far from being realized. However, there is a gradient between unsustainable and sustainable systems, and therefore we can recognize different levels of sustainability. Achieving sustainability is an awkward task that must be carried out step by step, based on sustainable interventions in the existing systems. The main rationale of sustainable actions is assuming that natural resources are finite, changing the neoclassical economic vision that there are no limits to growth. The adoption of more-sustainable practices, such as the use of best management practices (Boyd, 2003), is a start on the long road to attainment of sustainability, but it is not enough. Production systems are not necessarily sustainable just because best management practices are applied (Belton et al., 2009). Thus, it is essential to measure sustainability to assess the strengths and weaknesses of each current aquaculture system, the new technologies available, and the efficacy of interventions toward sustainability.

Nevertheless, methods to assess aquaculture sustainability are not commonly used. The major difficulty is the challenge of exploring and analyzing the production systems in a holistic way. It is essential to contemplate the economic, environmental and social dimensions of sustainability (UN, 1992). Thus, comparing measurements of variables of a very different nature is mandatory. Some complex methods that are sometimes used to evaluate aquaculture sustainability are ecological and carbon footprint (Folke et al., 1998; Gyllenhammar and Håkanson, 2005; Madin and Macreadie, 2015), life cycle assessment (Gronroos et al., 2006; Aubin et al., 2006, 2009; Santos et al., 2015; Medeiros et al., 2017) and emergy analysis (Cavalett et al., 2006; Vassallo et al., 2007, 2009; Lima et al., 2012; Shi et al. 2013; Zhao et al., 2013; Garcia et al., 2014; Wang et al., 2015; Williamson et al., 2015). These methods give an integrated overview of the systems. However, they require a vast amount of data that are difficult to obtain. In addition, the first method focuses mainly on the environmental dimension, and the results of other methods are very difficult to interpret.

On the other hand, aquaculture sustainability can be divided into parts that can be evaluated using sets of indicators. Indicators are variables defined to reflect a phenomenon or a process in a simplified way. They measure specific attributes of a system. Indicators are a powerful tool to reduce system complexity and can be used to compare different systems or the evolution of the same system over time. Their fluctuations reveal the variation in the elements that they represent. Indicators allow incorporating science-based knowledge into decision-making (UN, 2007) and afford a connection between objectives and actions (FAO, 1999). They can be used individually or as aggregated indices, in which individual scores are combined (Waas et al., 2014). The development and choice of indicators are related to the adopted concept of sustainability and the purpose of the indicator set (UN, 2007).

Following the Rio Conference in 1992 (UN, 1992), many indicators were developed mainly to assess environmental sustainability. In this context, some groups of indicators have been proposed to evaluate aquaculture sustainability (FAO, 1998, 1999; EAS, 2005; Boyd et al., 2007; Pullin et al., 2007; Rey-Valette et al., 2008, 2010; Valenti, 2008; FOESA, 2010; Valenti et al., 2011; FAO, 2011; Fletcher, 2012; Hofherr et al., 2012; Fezzardi et al., 2013). Only a few of them were published in scientific journals and thus, most of the information is hidden in grey literature. On the other hand, particular certifier institutions have developed indicators to assess the compliance of production systems with legislation, rules, and regulations defined in response to the consumers' desires. The most known are the Aquaculture Stewardship Council (ASC Certification; Aquaculture Stewardship Council, 2017) and Global Aquaculture Advocate (BAP Certification; Best Aquaculture Practices,

2017). Others have developed guides to responsible consumption, such as Monterey Bay Aquarium (Seafood Watch, 2017). Certifiers and guiders aim to help the consumers select products that match their food postures and preferences (Alfnes et al., 2017); thus, they define indicators based on the market. They try to measure responsible farming practices instead of focus on the central rationale of sustainability that is the capacity of a system persists in time. Some articles using indicators of sustainability to assess aquaculture systems have been published (Dalsgaard et al., 1995; Lightfoot et al., 1996; Dalsgaard and Oficial, 1997; Caffey et al., 2001; González et al., 2003; Stevenson et al., 2005; Tipraqsa et al., 2007; Bergquist, 2007; O'Ryan and Pereira, 2015; Chowdhury et al., 2015; Ting et al. 2015, Moura et al., 2016). However, most of the indicators proposed are qualitative, restricted to environmental dimension, specific regions, species or systems, must be obtained from secondary data (which often are not available), or were developed to help the consumer decisions. In addition, generally, their efficacy in comparing different systems remains to be demonstrated. Therefore, much more science-based information is necessary in this field.

The objective of this study was to develop a portfolio of quantitative indicators of economic, environmental and social dimensions of sustainability, based mainly on primary data, to assess aquaculture systems. The indicators developed are easy to obtain worldwide, enable comparison of the enormously diverse aquaculture systems in different regions and using different species, allow monitoring the evolution of aquaculture on different time scales, and are clearly understandable. In addition, they reflect the concept of sustainability instead of other concepts based on conventions of farmers or consumers, frequently used by certifier institutions.

2. Methods

The set of indicators were developed based on studies performed in Brazilian universities, public agencies, and commercial farms from 2003 to 2016. Generally, indicators are defined according to criteria proposed by committees of experts or by panels involving all actors and stakeholders of the production chain. The first situation is called top-down and the second, bottom-up method. In the present study, we used a combination of both methods, combined with practical observations in experimental and commercial aquaculture facilities.

From 2003 to 2008, we conducted several discussions among scientists and graduate students from different institutions, combined with practical tests carried out in experimental aquaculture units at the Aquaculture Center, São Paulo State University. This included two international and some local workshops. During this time, we have established a set of indicators by the top-down method (Valenti, 2008; Valenti et al., 2011). In 2009, we discussed them with a panel of actors and stakeholders of aquaculture in Brazil during meetings promoted by the Brazilian Ministry of Fisheries and Aquaculture. Thus, we created a new set of indicators approved by all groups.

From 2010 onward we started the validation phase. This set of indicators was tested on 22 commercial aquaculture farms in all regions of Brazil. These included different grow-out system farms of marine shrimp, freshwater prawns, oysters, mussels, carps, tilapia, tambaqui (cachama), lambari (bait fish) and multitrophic culture systems. One fish and one prawn hatchery were also studied. Besides, the same indicators were used in Master's and Ph.D. dissertations to assess different treatments in experiments (Boock, 2012; Proença, 2013; Dantas, 2016). Data on economic and social indicators were obtained by interviews conducted with farm owners and employees, using semi-structured questionnaires. Direct observations "in loco" were also conducted to check and complete the information. Secondary data including gender, race, ethnicity, and mean income of the local populations were obtained from official local institutions, generally available at the certified websites. To obtain and process the environmental samples, we selected the relevant methods and units defined in the Standard Methods for the

Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005) and Official Methods of Analysis of AOAC International (AOAC, 1995). For greenhouse gases, we adapted the sampling and analysis methods from Matvienko et al. (2000). After six years of tests, we selected those indicators that are feasible and easy to obtain, universal, clearly understandable and broad to assess the sustainability of different aquaculture systems. Then, we reviewed the mathematical formulae and obtained the final set of indicators.

The method for building the indicators was the dimensions-principles-criteria-indicators framework (Rey-Valette et al., 2008, 2010). This approach is based on a hierarchical nesting array, which links the indicators to typical components of sustainability. Dimensions and principles were defined based on the sustainable-development postulates established in Agenda 21 (UN, 1992), which were adapted to aquaculture. The three dimensions of sustainability used were economic, environmental and social. For each dimension, we defined principles, e.g., high-level targets or issues components of sustainability concept. Each principle was divided into criteria, which were specific features or characteristics of the systems that we want to assess and monitor. To represent each criterion we developed an indicator. Indicators are relevant variables to be measured that reflect each criterion and can be determined qualitatively or quantitatively. Indicator fluctuations reveal the variations of the criteria (FAO, 1999) over time and spatial scales or among different production systems or regions. An indicator is a measurable variable used to report a non-measurable reality.

Indicators were defined to assess and monitor sustainability on different scales, which were arranged in four hierarchical levels: farm, regional, global and sector levels. Farm indicators are suitable for use at the production unit. Regional indicators should be used in a particular geographical region with specific characteristics, or inserted into a context, which includes small homogenous zones and large territories, or political divisions, such as provinces or countries. Global indicators are suitable for use on the world scale. Sectorial indicators should be used to assess and monitor different segments of aquaculture, such as tilapia culture, shrimp culture, mollusk culture, integrated systems and others. Some indicators are specific for one level, whereas others may be applied at different levels.

3. Results

Principles, criteria, and indicators for each dimension are shown in Table 1. A total of 56 economic (14), environmental (22) and social (20) indicators of sustainability were selected. They are explained below. The most appropriate scales (levels) of application are indicated following the name of each indicator (F = farm; R = regional; G = global; S = sector). Data needed for calculating these selected indicators were obtained on different farms from different regions without difficulty. The procurement of data and the results were well received by the farmers who were visited.

3.1. Economic sustainability indicators

Economic sustainability indicators show the efficiency in using financial resources, the economic feasibility, the capacity to absorb negative externality costs, the capacity for resilience, and the capacity to generate capital for reinvestment.

1. Ratio between Net Income and Initial Investment (RII) F

Net income corresponds to the sum of the profit and the opportunity cost. The opportunity cost includes farmer remuneration, interest over investment and operating capital, and land leasing (Shang, 1990).

$RII = \text{Net income}/\text{initial investment}$

Indicators 2 to 6 were defined based on indicators of economic feasibility that are generally used in neoclassical economics. These

include the Internal Rate of Return, Payback Period, Benefit-Cost Ratio, Net Present Value, and Profit (Shang 1990; Jolly and Clonts, 1993; Engle, 2010). However, for analyses of sustainability, we have included the externality costs (e) in the equations and defined the minimum time in operation as 20 years, which is a baseline to estimate the human generation time.

2. Internal Rate of Return (IRRe) F

$$\sum_{i=0}^n \frac{Bi - Ci + Epi - Eni}{(1 + IRR)^i} = 0$$

in which:

B_i = total benefit (or revenue) of year i ;
 C_i = total cost of year i (capital + operating costs);
 Epi = total positive externalities;
 Eni = total negative externalities;
 n = the number of years in operation, $n \geq 20$;
 i = the i th year.

3. Payback Period (Ppe) F

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

in which:

j = PP in years;
 NCF_i = annual net cash flow of year i ;
 $i = 0, 1, 2, \dots, j, n \geq 20$

4. Benefit-Cost Ratio (B/Ce) F

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

in which:

Y_i = net annual benefit of year $i = B_i - O_i + Epi - Eni$
 B_i = total benefit (or revenue) of year i ;
 O_i = operating cost of year i ;
 Epi = total positive externalities;
 Eni = total negative externalities;
 K_i = capital outlay for assets of year i (initial investments + re-investments);
 r = discount rate;
 n = number of years in operation. $n \geq 20$.

5. Net Present Value (NPVe) F

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

in which:

B_i = total benefit (or revenue) of year i ;
 C_i = total cost of year i (capital + operating costs);
 Epi = total positive externalities;
 Eni = total negative externalities;
 r = discount rate;
 n = number of years in operation (0, 1, 2, ..., n), $n \geq 20$;
 i = the i th year.

6. Net Profit (NPe) F

$$NPe = GR - TPC + Epi - Eni$$

Table 1
Dimensions, principles and criteria used to define the indicators. See the text for the name of indicators.

Dimension/Principle	Criteria	Indicators	Justification	Data source
Economic				
1. Ensure efficient use of capital and profitability, including externalities	Level of capital efficiency Level of profitability	RRI IRRe, PPe, B/Ce, NPVe, NPe	Economic sustainability is based on the efficient use of financial capital to promote profitable and resilient enterprises, which pay for negative externalities, reinvest and receive for ecosystem services	In situ interviews and personal observation
2. Improve farm longevity, and the capability of its resilience and development	Level of externalities Capacity of permanence in the aquaculture sector Capacity of resilience to changes in scenarios Capacity of development of the farm or a sector	En, Ep AI, PA RR, DP, DM ICGA		In situ interviews and personal observation, and some secondary data from micro-economy obtained on the internet
Environmental				
3. Ensure the minimum use of natural resource and maximum efficiency in using resources	Level of use of space, water, energy and materials Level of efficiency in using materials and energy Level of pollution	S, W, E, PRE, N, P EE, EN, EP, PU PEn, PEP, POP, PS, PGW, GCP, PH, PHM, PA AP, AOM, APM	Environmental sustainability is based on the use of the lowest amount of natural resources with the maximum efficiency and minimum negative impact to surrounding environment.	In situ samples and measurements followed by laboratory analyses
4. Ensure the minimum release of pollution and useless by-products, and the lowest risk to biodiversity	Level of material accumulated inside production systems Level of risk of the cultured species to biodiversity	RFS		
Social				
5. Improve local economy, employment, safety at work, and food security	Proportion of payments to persons and companies at local community Level of new jobs created, and quality of the jobs Level of risk to employees at farm Level of products consumed by local population Level of income distribution Level of access to social benefits Level of inclusion of genera, race and age	LE, LW, RLUP ICDE, ICTE, SE, PA, WA, WP SW IC PE, PCW, ID AHP, Sc, PCA GI, RI, AI	Social sustainability is based on local development, with gains to local communities, while respecting their culture and habits.	In situ interviews and some secondary data from the farm region, obtained in official institutions
6. Improve income equality and social benefits				
7. Ensure inclusion of minorities and vulnerable people				

in which:

GR = Gross revenue;
 TPC = Total production cost = Fixed cost + Variable cost;
 Ep_i = total positive externalities;
 En_i = total negative externalities.

For comparing farms of different sizes, NPe should be divided by the farm areas.

Indicators 7 and 8 measure the positive or negative effect on the third part. Farms with a lower total cost of all negative externalities, or a higher total income from all positive externalities, per unit of product, are more sustainable. The sum of positive and negative externalities (with minus sign) per unit of product should be compared with the profit per unit of product.

7. Negative Externalities (En) F, R, G, S

This measures the damage caused to unrelated third parties (Pigou, 2005) as a consequence of the aquaculture activity, in US\$ per unit of production. This includes the damage caused to traditional economic activities in the region, such as artisanal fisheries or even other sectors of the economy. Damage to the environment or other common resource, such as that caused by pollution, is also damage to unrelated third parties, i.e., the people affected.

En = sum of the negative externalities generated during setup and operation phases/mass or units produced.

8. Positive Externalities (Ep) F, R, G, S

Measures the benefits provided to unrelated third parties as a consequence of the aquaculture activity, in US\$ per unit of production. Ep = sum of the environmental services (and other benefits) generated during the operation/mass or units produced.

9. Annual Income (AI) F

Annual income is defined as the sum of the profit to the opportunity cost. Taxes and fees vary among locales, states, provinces, and countries. Thus, these two variables should be deleted for comparisons between systems at different sites. For comparing farms of different sizes, AI should be divided by the farm areas.

$$AI = GR - OC - D - T - F$$

in which:

GR = Gross revenue;
 OC = Operating costs;
 D = Depreciation;
 T = Taxes;
 F = Fees.

10. Permanence of the Farmer in the Activity (PA) R, G, S

This indicator measures the average business lifetime based on the time, in years, that each company dedicates to aquaculture.

$$PA = \sum_{i=0}^n \frac{Fi}{n}$$

in which:

Fi = number of years in operation of the farm i ;
 i = the i th farm;
 n = total number of farms.

Indicators 11 to 13 measure the system resilience, i.e., the capacity of the system to support changing situations and crises over time.

11. Risk Rate (RR) F, S

The Risk Rate includes 11 factors that increase the risks of negative impacts on aquaculture:

- Lack of a business plan during the planning stage;
- The owner/manager lacks technical or administrative capacity,

or there is no trained staff;

- Administrative deficiencies in logistics and troubleshooting, such as neglect emergency systems to prevent disruption of the electrical supply on farms that depend on electricity to operate equipment;
 - Lack of a well-established market for the product, i.e., the producer needs to develop the market;
 - Farm is installed at an inappropriate site, such as subject to flooding, drought or other climate constraints; urban, rural and industrial pollution; legal restrictions (e.g. environmentally protected area), etc.;
 - Lack of technical support and/or extension services to improve management and to solve problems, such as diseases, sanitary, economic and market issues;
 - Lack of nocturnal and weekend supervision and/or surveillance and security systems against theft;
 - Practice of intensive system, adding much material and energy and operating close to the carrying capacity of the system;
 - Institutional instability: continual changes in laws and regulations by funding, regulatory and enforcement agencies;
 - Agglomeration: close proximity to other farms producing the same organism, which use the same environmental services and produce the same type of pollution;
 - The farm faces conflicts with the local community and/or NGO.
- RR = number of risk factors observed/number of risk factors analyzed

12. Diversity of Products (DP) F, S

Number of products and services traded, such as the number of fish species, other agricultural products and/or services.

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

13. Diversity of Markets (DM) F, S

Number of markets exploited by the enterprise to trade the products and services, such as foreign markets (exportation), wholesale, retailers, hotels, restaurants, farmers' markets, farm-gate (farm stands), and others.

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

14. Invested Capital Generated in the Activity (ICGA) F, S, R

Capacity of development of each farm or aquaculture sector (e.g. tilapia culture, shrimp culture, etc.) can be evaluated based on the proportion of the investment that has been generated by the aquaculture activity on the farm or in the sector itself.

$$ICGA = \frac{\text{part of the investment generated in the activity}}{\text{total investment}}$$

3.2. Environmental sustainability indicators

These indicators were defined to reflect the use of natural resources, the efficiency in using resources, the release of pollutants and unused byproducts, and the risk of damaging genetic diversity and biodiversity. The indicators include the amount of materials and energy used to produce each unit of product (measured in kilograms, tonnes, numbers or other relevant units), the quantity of material and energy that is assimilated into the product, and the amount of pollutants released into the environment for each unit of product.

Indicators 1 to 6 measure the use of the main natural resources, such as space, water, energy, nitrogen, and phosphorus. Indicators 1, 2, 5

and 6 may be quoted as an adaptation from [Boyd et al. \(2007\)](#), although they were developed by our group before that publication.

1. Use of Space (S) F, S
This indicator measures the area used (ha, m²) per unit of production (kg, t, units)
 S = area used/production
 2. Dependence on Water (W) F, S
This indicator measures the volume of water used per unit of production. Only the consumed water should be considered. The water that returns to the environment in a similar condition to which it was withdrawn is not considered consumed, but if it returns polluted, it should be considered consumed.
 W = consumed volume/production
 3. Use of Energy (E) F, S
This indicator measures the total energy applied to the system in its various forms, such as food, fertilizer, electricity, fossil fuels, and others, per unit of production.
 E = energy applied/production
 4. Proportion of Renewable Energy (PRE) F, S
Measures the relative amount of renewable energy applied in the system. Renewable energy sources include food, organic fertilizer, ethanol, biodiesel and other energy obtained from live organisms, and solar (photovoltaic), wind, tidal and geothermal energy. Hydropower is not considered renewable because water reservoirs have a limited life span.
 PRE = amount of renewable energy/total amount of applied energy
- Indicators 5 and 6 measure the use of materials. They are measured based on the mass of a given material used in farming for each production unit. Nitrogen and phosphorus were used as key materials.
5. Use of Nitrogen (N) F, S
 N = mass of nitrogen applied/production
 6. Use of Phosphorus (P) F, S
 P = mass of phosphorus applied/production
- Indicators 7 to 10 measure the efficiency in using resources. They show whether or not the resources are being incorporated into production.
7. Efficiency in the Use of Energy (EE) F, S
 EE = energy recovered in production/energy applied
 8. Efficiency in the Use of Nitrogen (EN) F, S
 EN = mass of nitrogen recovered in production/mass of nitrogen applied
 9. Efficiency in the Use of Phosphorus (EP) F, S
 EP = mass of phosphorus recovered in production/mass of phosphorus applied
 10. Production Actually Used (PU) F, S
This indicator shows the proportion of unused wastes in the biomass of the farmed species. Examples of wastes are fish guts and heads, shrimp heads and shells, mollusk shells and others.
 PU = mass of unused portions of the farmed organism/total mass produced

Indicators 11 to 18 measure pollutants released to the environment and reflect negative environmental impacts of aquaculture. They measure the potential for pollution. Indicators 11, 12, and 13 may be

quoted as an adaptation from [Boyd et al. \(2007\)](#), although they were developed by our group before that publication.

11. Potential of Eutrophication (PE_N and PE_P) F, R, S
 PE_N = Load (mass) of nitrogen released in effluents/mass or units produced
 PE_P = Load (mass) of phosphorous released in effluents/mass or units produced
 12. Potential of Organic Pollution (POP) F, R, S
 POP = Load (mass) of organic matter released in effluents/mass or units produced
 13. Potential of Siltation (PS) F, R, S
 PS = Load (mass) of total suspended solids released in effluents/mass or units produced
 14. Potential of Global Warming (PGW) F, R, G, S
 PGW = Load of greenhouse-effect gases released to the atmosphere/mass or units produced
Greenhouse gases = mass of CO₂ + CH₄ + N₂O, measured in CO₂ equivalents
 15. General Chemical Pollution (GCP) F, R, S
 GCP = Load of applied chemical products = mass of herbicides, insecticides, anti-algals, antibiotics, and other chemicals applied/mass or units produced
 16. Pollution by Hormones (PH) F, R, S
 PH = Load (mass) of hormones applied/mass or units produced
 17. Pollution by Heavy Metals (PHM) F, R, S
 PHM = Load (mass) of heavy metals applied/mass or units produced
 18. Potential of Acidification (PA) F, R, S
 PA = Load of acidifying gases released to the atmosphere/mass or units produced
Acidifying gases = ammonia + nitrogen oxides + sulfur oxides, measured in SO₂ equivalents
- Indicators 19 to 21 measure pollutants accumulated in ponds or on the bottom of a water body in open-water systems, such as net-cages, long lines, trays, and others.
19. Accumulation of Phosphorus (AP) F, R, S
 AP = Load (mass) of P accumulated in sediment/mass or units of organism produced
 20. Accumulation of Organic Matter (AOM) F, R, S
 AOM = Load (mass) of Organic Matter accumulated in sediment/mass or units of organism produced
 21. Accumulation of Particulate Material (APM) F, R, S
 APM = Load (mass) of Particulate Material accumulated in sediment/mass or units of organism produced
- Indicator 22 measures the risk of the farm to the conservation of genetics and biodiversity.
22. Risk of Farmed Species (RFS) R, S

$$RFS = \{1, 2, 3, 4, 5, 6 \text{ or } 8\}$$

in which:

1 = Local strain farmed in an open or closed system;

- 2 = Species within the same basin (but not local strain) farmed in a closed system;
- 3 = Species within the same basin farmed in an open system;
- 4 = Allochthonous species, native species with reduced genetic variability, or hybrid (native or allochthonous species) farmed in a closed system;
- 5 = Allochthonous species, native species with reduced genetic variability, or hybrid (native or allochthonous species) farmed in an open system;
- 6 = Transgenic variety of any species farmed in a closed system;
- 8 = Transgenic variety of any species farmed in an open system.

3.3. Social sustainability indicators

Social sustainability indicators should reflect the capacity to generate benefits to local communities, including jobs and food security, equitable income distribution, equality of opportunities and inclusion of vulnerable populations. Social benefits, such as health insurance paid by the company and opportunities to continue studies also should be considered.

1. Development of Local Economy (LE) R

This indicator measures the proportion of expenditures for goods and services that are acquired in local markets.

$LE = \text{use of products and services from local markets (\$/total products and services used (\$))}$

2. Use of Local Workers (LW) F, R

$LW = \text{number of jobs generated that permit recruitment among the local population/total number of jobs generated}$

3. Remuneration of Work per Unit of Production (RLUP) F, S

$RWUP = \text{Value paid for remuneration of work, including the owner/mass or units produced}$

4. Investment to Create Direct Employment (ICDE) F, R, S

$ICDE = \text{investment/number of jobs generated}$

5. Investment to Create Total Employment (ICTE) F, R, S

$ICTE = \text{investment/number of jobs and self-employed jobs generated (direct + indirect)}$

6. Proportion of Self-Employments (SE) F, R, S

$SE = \text{number of self-employed jobs generated/total number of jobs generated}$

7. Permanence in the Activity (PA) F, R, S

$PA = \text{average time spent by each worker in the aquaculture industry (in years)}$

8. Required Work per Unit of Occupied Area (WA) S

$WA = \text{person-hours per year/occupied area. Work by the owner and family members should be included, if they work at the farm.}$

9. Required Work per Unity of Production (WP) S

$WP = \text{person-hours per year/mass or units produced. Work by the owner and family members should be included, if they work at the farm.}$

10. Safety at Workplace (SW) F

The following items should be analyzed, when relevant:

- a. Use of life vest;
- b. Use of sunglasses;
- c. Use of protective goggles against mud, scale, and for other uses;
- d. Use of pigmented gloves;
- e. Use of waterproof and antiskid boots;

- f. Use of protective clothing against sun or rain;
- g. Use of equipment to relieve physical stress;
- h. Use of proper lighting in the work area;
- i. Use of proper electrical and plumbing installations;
- j. Use of machines, equipment, implements, furniture, and tools that provide the employee a position with good posture, visualization, movement, and operation;
- k. Use of machines and equipment by a qualified professional;
- l. Use of protective lab coat (or common apron) when indicated;
- m. Guaranteed rest breaks for activities that require standing;
- n. First-aid kit, well equipped and easy to access;
- o. Signs indicating possible danger areas;
- p. Availability of fire extinguishers and other emergency equipment;
- q. Training program for workers to operate equipment properly.

$SW = \text{number of equipment pieces, actions, and practices that provide safety for workers available in the farm/number of analyzed equipment pieces, actions and practices that provide safety for workers}$

11. Local Consumption of Production (LC) R

This indicator measures the possible improvement in food availability for the local community

$LC = \text{mass of product sold in the local market/total production}$

12. Pay Equality (PE) F, R, S

$PE = 1 - (\text{Standard deviation of salaries/mean of salaries})$

13. Proportional Cost of Work (PCW) F, S

This indicator shows if the system is work-intensive or uses machines and automation, reducing the number of jobs, and/or paying very low salaries. In family-based aquaculture systems, the family work should be included.

$PCW = \text{Cost of work/cost of production}$

14. Income Distribution (ID) F, S

$ID = \text{value paid with salaries + social fees + social benefits/profit generated}$

15. Access to Health-Insurance Programs (AHP) F, R, S

$AHP = \text{number of employees and owners with health-insurance/total number of employees and owners}$

16. Schooling (Sc) F, R, S

This indicator measures if the workers have opportunities for formal schooling or professional training during the work day or during their free time.

$Sc = \text{number of employees that study/total number of employees}$

17. Participation in Outside Community Activities (PCA) F, R, S

$PCA = \text{number of workers participating in community activities/number of total workers}$

18. Gender Inclusion (GI) F, R, S

This indicator measures if the gender composition of jobs occupied by employees reflects the gender composition of the local population. The identity of sexual minorities should be included if data are available.

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

in which:

$\min = \text{minimum value;}$

$a = \text{proportion of one gender among employees in the enterprise;}$

$b = \text{proportion of the same gender in the local community.}$

19. Racial Inclusion (RI) F, R, S

This measures if the racial composition of positions occupied by employees reflects the racial composition of the local population. The ethnic groups vary in different regions and the degree of segregation may be based on skin color, religion, language, and others. Therefore, the composition is site-specific. An example of classification by skin color might be white, brown, black, yellow (Asiatic) and red (indigenous). Groups may be constituted according to their qualitative and quantitative importance in each specific country or region.

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

in which:

- min = minimum value;
- a = proportion of one racial group employed in the enterprise;
- b = proportion of the same racial group in the local community.

20. Age Inclusion (AI) F, R, S

This measures if the age composition of employees reflects the demographic structure of the local population. We suggest to consider four age groups: young (16–21 years), adults (22–40), middle-aged (40–60) and elders (> 60). However, the age classes are site-specific.

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

in which:

- min = minimum value;
- a = proportion of an age group among employees in the enterprise;
- b = proportion of the same age group in the local community.

4. Discussion

Based on the main international documents focusing on sustainability (WCED, 1987; UN, 1992, 2007; FAO, 1995, 1997, 1999; NACA/FAO, 2000), we defined sustainable aquaculture as the cost-effective production of aquatic organisms, which maintains a harmonious and continuous interaction with the ecosystems and the local communities. The aquaculture farm should be productive and profitable, generating and distributing benefits; and should optimize the use of capital and natural resources, conserving the surrounding ecosystems. The farm must generate employment for local communities, increasing the quality of life, respecting the local culture and promoting human development. In addition, the farm should be resilient in order to persist over time. The set of 56 indicators developed in the present study are broadly conceived, in order to address all the aspects comprised in the above concept. Thus, this set of indicators is comprehensive and may be a useful tool for assessing and monitoring the sustainable development of aquaculture in all dimensions.

The economic indicators developed in the present study cover the major issues of economic sustainability. The ratio of net income to investment indicates the efficiency of the use of capital. Enterprises with lower initial investment that generate the same net income are more sustainable, as they correspond to a more adequate use of resource capital. The economic feasibility indicators (Internal Rate of Return, Payback Period and Benefit-Cost Ratio) can be computed for real farms or for simulated ones when new technologies are tested. They provide important and understandable information to entrepreneurs and investors. For small farmers, who are generally interested only in maintaining a good standard of living for their families, they may be irrelevant. For small farmers, the Annual Income indicator (AI) is suitable. A positive annual income indicates that the farm may be sustainable. Nevertheless, this is not sufficient. The annual income must ensure that the farmer can continue to pursue the activity, acquiring from aquaculture all or a substantial part of his maintenance needs. Summing

profits to opportunity costs should result in an annual wage that is large enough to provide the farmer and his family with an acceptable life style in the municipality where they live. Thus, a reference value is the annual per capita income in the area where the farm is located. The analysis should take into account that if the regional per capita income is not enough to allow adequate access to maintenance entitlements, people may abandon aquaculture.

We have introduced the computation of externalities in the economic indicators, and have used a human generation time scale (> 20 years) as the time unit. Although these concepts are not new, these variables are seldom used in studies on production systems. Externalities provide essential information for public policies related to taxes or compensations. Major positive externalities are the environmental services provided by aquaculture, such as sequestering P and N from a water body, which are retained in the biomass produced; accumulation of water; improvement of air relative humidity, in the case of dry regions; and absorption of CO₂ from the atmosphere. Negative externalities include the removal of vegetation and soil erosion during pond construction, displacement or elimination of extractive areas, disrespect to common property affecting traditional populations, and release of pollutants and exotic species to environment. We defined the generation time as the period from birth to first reproduction. Our approach takes into account the concept that each generation should inherit the same natural resources as the previous generation. Generation time is quite variable among countries, regions, and epochs (OECD, 2017). This variable is dynamic and usually ranges from 20 to 32 years. We used 20 years for approximately the time scale for a human generation as a baseline; however, this value can be modified for each analysis. Resilience indicators assess the farm's capacity to resist changes in the current conditions.

Resilience is an important factor for the success of any activity in a changing world. The capacity to self-reorganize and persist in adverse situations allows farms to remain in the activity for longer periods; low risk factors and higher diversity of products and markets also increase the resilience. The financial success of each farm or aquaculture sector (e.g. tilapia culture, shrimp culture, and others) can be evaluated by the proportion of the investment that has been generated by the aquaculture activity in the farm or the sector itself. Sectors that grow with the capital generated in other sectors of the economy or with governmental subsidies are not sustainable. This analysis can be done every five years on a local, regional or country basis, considering each sector separately, or for the entire aquaculture sector.

The environmental indicators developed in the present study are generally based on production as the reference value. Thus, the use of resources and the load of pollutants generated are divided by the production obtained. From this perspective, we can compare extensive, semi-intensive and intensive systems. Nominal values or substance concentrations in effluents are useless for comparing different systems. Intensive production systems may be much more sustainable (or not) than extensive systems if the production is high enough to counter-balance the resources used and pollutants generated. We have used nitrogen and phosphorus as key materials to assess the use of natural resources. These nutrients can be a proxy for other materials. However, the same concept can be applied to any other important material, such as carbon. Scarce materials are of special interest; they should be identified and specific indicators should be created. Much of the materials and energy added as diet is not incorporated into the target (reared) organisms, but instead is assimilated by the natural biota associated with the culture, dispersed to the surrounding environment as pollution, or accumulated within the system (David et al. 2017a, b). The indicators showed here measure the proportion of energy, nitrogen, and phosphorus incorporated into the target species. Much of the energy and material embodied in the farmed organisms is not consumed by humans. These wastes are often discarded unused, and carry with them large amounts of energy and materials that have been supplied during the rearing period. Systems that lose less energy and materials as

waste are more efficient and more sustainable, and therefore it is important to include an indicator for this issue in the portfolio. The efficiency of the system can be increased by developing a useful disposal procedure for generated wastes, and the evolution in this technology can be monitored based on the Production Actually Used indicator (PU). The eutrophication potential can be measured as a function of the main limiting element of the receiving water body. In marine environments, photosynthesis is limited mainly by nitrogen availability, whereas in freshwater it is generally limited by phosphorus. Aquaculture may impact biodiversity and genetic resources. The indicator proposed here measures the risk due to the reared species only, which is certainly insufficient. Other indicators should be created to complete the assessment of impacts on biodiversity and genetic health.

Indicators to measure the use of natural resources, the efficiency in the use of resources, and pollution were previously proposed in the report of the EVISE group (EAS, 2005) and by Boyd et al. (2007). Both show very important methods to assess aquaculture production systems. However, the first is practically hidden of the scientific community because it is really a report, and indicators were proposed before validation in farms. The authors of the second one proposed indicators to measure the efficiency of resources use and the waste produced in fish and shrimp culture, based on theoretical deductions, although examples of application are showed. The main differences of the present work is that we have developed a broader set of indicators to cover the main features of the environmental dimension of sustainability; they were developed based on a long discussion of experts, farmers and other stakeholders, using a combination of top-down and bottom up methods; they can be used to assess any farmed species or any system; and we have collected an enormous amount of data from different production systems, on farms and on research stations in different climate zones, during 6 years, to test the feasibility and validity of each proposed indicator. In this way, we have validated the attainability of the indicators for different systems and species. The real data acquired support the proposal that the set of indicators described in the present article is suitable to assess, monitor and compare different aquaculture systems.

Farms that generate more inputs for the local community and distribute wealth are more sustainable. Therefore, the percentage of the break-even price expended to pay work, the ratios of work cost to gross income and work cost, plus other social benefits/profit and the number of jobs created per ton of product may be useful social indicators. Farms with higher values of these indicators are more socially sustainable. Indicators to assess the generation of self-employment, as well as racial and age inclusion have not been used in aquaculture. These indicators can be an important tool to monitor the role of aquaculture in promoting the inclusion of more vulnerable people and alleviate poverty. Gender equality and equity have long been an issue in rural sectors, including fisheries and aquaculture (FAO, 2017). We have proposed an indicator that assesses the participation of males and females (and can incorporate other sexual identities) in aquaculture activity, based on the proportion of the relevant group in the local community.

An example of the results obtained with the set of indicators developed in the present work is shown in Tables 2, 3 and 4. These results exemplify the use of the indicators and may help to understand what they indicate. These values were obtained by Moura et al. (2016), studying tilapia culture in net-cages in a reservoir in a semi-arid region of Brazil. The indicators of economic sustainability (Table 2) showed that the system is economically feasible, since it shows an internal rate of return greater than the attractive rate of return (considered equal to 8%). The positive net present value reinforces the position of the venture as economically valid, whereas the benefit-cost ratio indicates that each US\$ 1.00 invested yielded US\$ 1.35 in benefits for those involved. Nevertheless, the ratio of mean annual income to investment was relatively high. Profit and income were economically satisfactory. The venture markets 5 products and exploits 5 markets, which makes the activity more resilient to production interruptions and market

Table 2

Indicators of economic sustainability (adapted from Moura et al., 2016). All monetary values were converted from Brazilian reais to US dollars, based on the average trading price of the dollar for the period April through September 2012 (US\$ 1.00 = R\$ 1.99).

Indicator	Value
Ratio between Net Income and Initial Investment	\$ 2.67
Internal Rate of Return	52%
Payback Period	3.22 yr
Benefit-Cost Ratio	\$ 1.35
Net Present Value	\$ 47,773.09
Net Profit	\$ 10,361.65
Annual Income	\$ 12,360.42
Risk Rate	75%
Diversity of Products	5
Diversity of Markets	5
Invested Capital Generated in the Activity	0

Table 3

Indicators of environmental sustainability (adapted from Moura et al., 2016). OM = organic matter; PM = particulate matter.

Indicator	Value
Use of Space	0.01 m ² /kg
Dependence on Water	4.69 m ³ /t
Use of Energy	98.02 MJ/kg
Proportion of Renewable Energy	0%
Use of Nitrogen	82.49 kg N/t
Use of Phosphorus	10.39 kg P/t
Efficiency in the Use of Energy	5%
Efficiency in the Use of Nitrogen	21%
Efficiency in the Use of Phosphorus	17%
Production Actually Used	89%
Potential of Eutrophication	56.95 kg P/t
General Chemical Pollution	0.00 kg/kg
Pollution by Hormones	0.00 kg/kg
Potential of Acidification	7.68 kg S/t
Accumulation of Phosphorus	0.88 kg P/t
Accumulation of OM	67.20 kg OM/t
Accumulation of PM	78.90 kg PM/t
Risk of Farmed Species	5

Table 4

Indicators of social sustainability (adapted from Moura et al., 2016). MHY = men-hour by year; MH = man-hour.

Indicator	Value
Development of Local Economy	44%
Use of Local Workers	100%
Remuneration of Work per Unit of Production	1.29 \$/kg
Proportion of Self-Employments	100%
Permanence in the Activity	3.25 yr
Required Work per Unit of Occupied Area	29.75 MHY/m ²
Required Work per Unity of Production	0.44 MH/kg
Safety at Workplace	91%
Local Consumption of Production	100%
Pay Equality	100%
Proportional Cost of Work	42%
Access to Health-Insurance Programs	0%
Schooling	10%
Participation in Outside Community Activities	100%
Gender Inclusion	48%
Racial Inclusion	55%
Age Inclusion	66%

fluctuations. All capital invested comes from a sector other than aquaculture, which does not guarantee that the activity is economically healthy enough to allow reinvestment.

The indicators of environmental sustainability for this farm (Table 3) showed a low dependence on water and space, using an area of 0.01 m² per kg of fish produced and a volume of 4.7 m³ per tonne. The system, however, showed inefficiencies in the use of nutrients and

energy, because only 21% of the nitrogen, 17% of the phosphorus and 5% of the energy used for production was recovered in animal biomass. The system also released particulate matter into the environment at a rate of 0.08 kg per kg of fish produced. Approximately 90% of this was organic matter, generating 0.07 kg of organic matter per kilogram of fish. The eutrophication potential was estimated at 56.95 kg of phosphorus released per ton of fish produced. The potential for acidification of the environment was estimated at 7.68 kg of sulfur released per ton of fish produced. Pollution from herbicides, pesticides, and hormones was zero since none of these products was used in the culture. This production system allows an accumulation of about 79 kg of particulate matter in the bottom of the reservoir, contributing to increase the clogging process and reducing the useful life of the reservoir. There is a high risk that the farm will disseminate exotic species or microorganisms into the environment.

The indicators of social sustainability (Table 4) showed that the work required is 29 person-hours per year per square meter (MHY/m²), or 0.4 person-hours per kilogram of fish produced (MH/kg). The system still produces an income distribution of ~US\$ 2.00 and remuneration of relevant work at ~US\$ 1.30 per kilogram of fish produced, which is high. The salary equity of the company is 100% because it is a co-operative. The inclusion of race (55%) and age (66%) is reasonable, while the inclusion of gender (48%) is not satisfactory because the association is comprised of men. A drawback of the system is the generation of only a small number of jobs and direct employment, considering the amount invested in the venture. Only 2% of the total cost (fixed and variable costs over time) is spent locally, but taking into account that the associates spend their salaries in the city, the income fixation was estimated at 44%. The total production is consumed by the local population, showing that the farm contributes significantly to local food security. Access to health programs and education is low, but participation in community activities is high. The safety of workers during their tasks is high. Aquaculture is a new job because the workers have remained in the activity for about 3 years.

Data obtained in different aquaculture systems during the past 6 years indicated that the set of indicators developed here is a powerful tool to identify the strengths and weaknesses of aquaculture systems. Each indicator is associated with an important component of the system or the production chain. The indicators measure the sustainability of each compartment of the system independently. Thus, they allow independent diagnosis and assessment of each element, revealing limitations and which elements should be improved to evolve toward a sustainable system. This information allows punctual and precise actions to improve the system sustainability. After adjustments in the system, the indicators can be used to assess the efficacy of the interventions and follow the progress toward sustainability.

Sustainability evaluations are part of a dynamic learning process to attain sustainable systems (Sala et al., 2013). Realistic goals are established and reformulated when they are being accomplished, in a continuous progress toward sustainable systems. Sustainability is not a static state and depends on the general scenario. Aquaculture systems are highly adaptable and undergo evolution (Costa-Pierce, 2010). Therefore, the challenge in building sustainable aquaculture goes through a continuous learning process, and the capacity to create systems that are able to respond to coming changes in the economic, environmental and social situation. The set of indicators defined in the present paper is certainly a useful framework to face this question. It can easily be adapted to new scenarios if necessary, and new indicators can also be created using the same background.

A more general picture of the systems can be obtained by subjecting the set of indicators to multivariate analyses, consolidating them in radial graphs or combining them in sustainability sub-indices and a general index. These tools integrate all information and allow general comparisons. In addition, indicators can be subjected to traditional statistic comparisons of means, such as the *t*-test, parametric and non-parametric ANOVA and others. Indicators can be converted to a

performance scale, using science- or policy-based definitions of standard values and reference points. We can assign zero to the worst score and 100 to the best one (Valenti et al., 2011), which transforms all indicators to dimensionless variables. By this means, we can organize the indicators in dashboards of sustainability or combine them to obtain indices relevant to the specific principles or criteria. A higher weight should be attributed according to the importance of each indicator. For instance, resources that are not renewable at the same rate at which they are used by economy, such as phosphorus, could be assigned a higher weight. Sub-indices can be calculated for economic, environmental and social dimensions. The arithmetic mean among the three sub-indices generates a single sustainability index. Aggregated indicators are better to compare systems and assess performances, whereas individual indicators allow detailed understanding of the systems and identification of strong and weak points (Boockstaller et al., 2015).

Sustainability indicators and indices can be very useful for rapid and clear communication among stakeholders and with consumers. Decision-makers have difficulty in understanding biological and social concepts, but they normally understand numbers, indices, and values. On the other hand, sustainable aquaculture certification may be a “commodity per se”, in which values emerge for financial, reputational or market access (Havice and Iles, 2015). Modern consumers of aquatic food generally support sustainable production (Simões et al., 2014; Risius et al., 2017). Thus, labeling a food as “sustainable” adds value to farm or sectorial products. Tools for assessing farms and aquaculture sectors are required to provide consistent and realistic certification. The set of indicators proposed in the present article matches the needs of certifying organizations. They are broader and more realistic than the indicators normally used by the main certifiers. For instance, certifiers have not used economic indicators for labeling products, although this dimension is essential for a sustainable system; social indicators are generally restricted to detect unfair wages, the use of forced or child labor, or the compliance with local trade legislation, instead of focus on the aquaculture perennity. Conversely, the indicators showed in the present article take into account the three dimensions and the main principles of sustainability, and reflect the main features of aquaculture. They are broad enough to compare different products and can be easily understood by farmers and auditors. In addition, they can be combined into a general index of sustainability, which should be promptly understood by consumers.

The indicators and indices can be calculated for different spatial and temporal scales. This means that the indicators can be used to access production systems in the level of farms, groups of farms, cities, states, countries or even globally. In addition, it is possible to assess the increase/decrease of sustainability in production systems during the time, by calculating the indicators in successive periods. According to Fezzardi et al. (2013), the level of applicability of indicators may be on the farm (level of production unit), local, national or regional. The set of indicators developed in the present study comprises suitable indicators for these levels, also on the global scale, and on the sectorial level (culture of certain species or systems). In addition, farm-level indicators can be calculated for different farms in a region or sector and the mean value used as a sectorial or regional indicator. Similarly, the standard deviation or variation coefficient can be an indicator of the variation among farms of a sector or region.

Some related topics of the aquaculture process that are not covered in the present study are animal welfare and governance. Neither is included in any of the three main dimensions of sustainability, but each is important. Welfare of the animals produced for feeding human beings is increasingly being demanded by consumers and may be very important in niche markets. Many consumers are willing to pay a premium price for welfare-assured seafood (Alfnes et al., 2017). Therefore, the level of animal welfare in production system may affect economic sustainability. Valenti et al. (2011) and Feucht and Zander (2015) supported the inclusion of animal welfare measures in sets of sustainable

aquaculture indicators. Governance is essential for the success of local production arrays (Fezzardi et al., 2013). Weak governance may impair the persistence of productive ventures and, therefore, sustainability. Indicators to assess governance were shown by FAO (2011), Lazard et al. (2011), Fletcher (2012), Hofherr et al. (2012) and Fezzardi et al. (2013).

In conclusion, the portfolio of sustainability indicators developed in the present work covers the three dimensions and the major principles of sustainability, as well as the major issues of aquaculture. They are quantitative, broad, scientifically sound, easy to understand and interpret, feasible to obtain on farms or on research stations, permit comparison at different scales of space and time, and were well received by aquaculture stakeholders in Brazil. Thus, they can be used in the aquaculture production sector to assess farms, regions or different aquaculture segments (sectors) and in research and development to assess new technologies or compare different experimental treatments. They also can be used by certifying organizations to classify products, by consumers to choose sustainable products, by investors to evaluate different projects to be supported, and by policymakers to assess and monitor public policies. They allow performance of diagnostics, identification of strengths and weaknesses, setting goals and actions, and assessments of the effectiveness of actions and policies.

Acknowledgements

This study was developed with the participation of the Working Group on Sustainable Aquaculture created by the Brazilian Fisheries and Aquaculture Ministry in 2009 together with the researchers of the Sustainable Aquaculture Research Network, established in 2010. We thank all students, researchers, and farmers, who help to obtain the empirical data on research stations and on farms to validate the indicators. The research was funded by the Ministry of Science and Technology and the Ministry of Fisheries and Aquaculture of Brazil by means of the agencies: – CNPq (grants no. 562820/2010-8; 406069/2012-3 and 306361/2014-0) and Funding Authority for Studies and Projects – FINEP (Covenant no. 01.10.0578.00/10). We also receive funds from the São Paulo Research Foundation–FAPESP (grant no. 10/52212-3).

References

- Alfnes, F., Chen, X., Rickertsen, K., 2017. Labeling farmed seafood: a review. *Aquaculture Econ. Manage.* (early view). <http://dx.doi.org/10.1080/13657305.2017.1356398>.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association, Water Environment Federation, 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. APHA-AWWA-WEF, Washington.
- AOAC, 1995. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 16th ed. AOAC, Washington, DC.
- Aquaculture Stewardship Council, 2017. Certified. Retrieved from (accessed 9 December 2017).
- Aubin, J., Papatryphon, E., Van der Werf, H.M.G., Chatzifotis, S., 2009. Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. *J. Cleaner Products* 17, 354–361.
- Aubin, J., Papatryphon, E., Van der Werf, H.M.G., Petit, J., Morvan, Y., 2006. Characterization of the environmental impact of a turbot (*Scophthalmus maximus*) re-circulating production system using Life Cycle Assessment. *Aquaculture* 261, 1259–1268.
- Belton, B., Little, D., Grady, K., 2009. Is Responsible Aquaculture Sustainable Aquaculture? WWF and the Eco-Certification of Tilapia. *Society & Natural Resources* 22 (9), 840–855.
- Béné, C., Arthur, R., Norbury, H., Allison, E.H., Beveridge, M., Bush, S., Campling, L., Leschen, W., Little, D., Squires, D., Thilsted, S.H., Troell, M., Williams, M., 2016. Contribution of fisheries and aquaculture to food security and poverty reduction: assessing the current evidence. *World Dev.* 79, 177–196.
- Bergquist, D., 2007. Sustainability and local people's participation in coastal aquaculture: regional differences and historical experiences in Sri Lanka and the Philippines. *Environ. Manage.* 40, 787–802.
- Best Aquaculture Practices, 2017. Best aquaculture practices certification. Retrieved from (accessed 9 December 2017).
- Boock, M.V., 2012. (PhD. Dissertation) Produção, análise econômica e sustentabilidade da rizicultura no estado de São Paulo. Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura da UNESP-CAUNESP, Jaboticabal.
- Boockstaller, D., Feschet, P., Angevin, F., 2015. Issues in evaluating sustainability of farming systems with indicators. *Oilseeds Fat Crops Lipids – OCL* 22 (1), D102. <http://dx.doi.org/10.1051/ocl/2014052>.
- Boyd, C.E., Tucker, C., Mcnevin, A., Bostick, K., Clay, J., 2007. Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. *Rev. Fish. Sci.* 15, 27–360.
- Boyd, C.E., 2003. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-levels. *Aquaculture* 226, 101–112.
- Caffey, R.H., Kazmierczak, R.F., Avault, J.W., 2001. Developing Consensus Indicators of Sustainability for South-Eastern United States Aquaculture. Louisiana State University, Agricultural Center Bulletin, pp. 879.
- Cavalett, O., de Queiroz, J.F., Ortega, E., 2006. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecol. Model.* 193, 205–224.
- Chowdhury, A., Kahirun, Y., Shivaoti, G.P., 2015. Indicator-based sustainability assessment of shrimp farming: a case for extensive culture methods in South-western coastal Bangladesh. *Int. J. Sustainable Dev.* 18 (4), 261–281.
- Costa-Pierce, B.A., 2010. Sustainable ecological aquaculture systems: the need for a new social contract for aquaculture development. *Mar. Technol. Soc. J.* 44 (3), 88–112.
- Dantas, D.P., 2016. Viabilidade Técnica, Econômica e Sustentabilidade da Produção de camarão-da-amazônia e Tambaqui em Monocultivo e em Sistema Multitrófico-Multiespacial. Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura da UNESP-CAUNESP, Jaboticabal (PhD. Dissertation).
- Dalsgaard, J.P.T., Oficial, R.T., 1997. A quantitative approach for assessing the production performance and ecological contributions of smallholder farms. *Agr. Syst.* 55 (4), 503–533.
- Dalsgaard, J.P.T., Lightfoot, C., Christensen, V., 1995. Towards quantification of ecological sustainability in farming systems analysis. *Ecol. Eng.* 4, 181–189.
- David, F.S., Proença, D.C., Valenti, W.C., 2017a. Nitrogen budget in integrated aquaculture systems with Nile tilapia and Amazon River prawn. *Aquaculture Int. J. Eur. Aquaculture Soc. Aquacult. Int.* DOI 10.1007/s10499-017-0145-y.
- David, F.S., Proença, D.C., Valenti, W.C., 2017b. Phosphorus Budget in integrated multi-trophic aquaculture systems with Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, and Amazon River Prawn, *Macrobrachium amazonicum*. *J. World Aquacult. Soc.* 48 (3), 402–414.
- EAS, 2005. Defining indicators for sustainable aquaculture development in Europe, CONSENSUS – A multi-stakeholder platform for sustainable aquaculture in Europe. Workshop report, Oostende, Belgium, November 21–23, 2005.
- Engle, C.R., 2010. *Aquaculture Economics and Financing: Management and Analyses*. Wiley-Blackwell, Oxford.
- FAO, 2017. Towards gender-equitable small-scale fisheries governance and development – A Handbook. In: Support of the implementation of the Voluntary Guidelines for Securing Sustainable Small-Scale Fisheries in the Context of Food Security and Poverty Eradication, by Nilanjana Biswas. FAO, Rome, pp. 154.
- FAO, 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture. Contributing to food security and nutrition for all. FAO, Rome, pp. 200.
- FAO, 2011. General Fisheries Commission for the Mediterranean Studies and Reviews Indicators for the Sustainable Development of Finfish Mediterranean Aquaculture: Highlights from the Dam Project. No. 90. FAO, Rome, pp. 234.
- FAO, 1999. Indicators for sustainable development of marine capture fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 8. FAO, Rome, pp. 68.
- FAO, 1998. Report of the ad hoc expert meeting on indicators and criteria of sustainable shrimp culture. Fisheries Report, 582. FAO, Rome, pp. 86.
- FAO, 1997. Aquaculture development. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5. FAO, Rome, pp. 40.
- FAO, 1995. Code of Conduct for Responsible Fisheries. FAO, Rome, pp. 41.
- Feucht, Y., Zander, K., 2015. Of earth ponds, flow-through and closed recirculation systems—German consumers' understanding of sustainable aquaculture and its communication. *Aquaculture* 438, 151–158.
- Fezzardi, D., Massa, F., Ávila-Zaragoza, P., Rad, F., Yücel-Gier, G., Deniz, H., Hadj Ali Salem, M., Hamza, H.A., Ben Salem, S., 2013. Indicators for sustainable aquaculture in Mediterranean and Black Sea countries. Guide for the use of indicators to monitor sustainable development of aquaculture. Studies and Reviews. General Fisheries Commission for the Mediterranean. No 93. Rome, FAO, pp. 60.
- Fletcher, W.J., 2012. National Application of Sustainability Indicators for Australian Fisheries – Part 2: Ecosystem based frameworks for aquaculture, multi-fishery and international applications. FRDC Report – Project 2000/145 Part 2. Fisheries Research Report No 235 Department of Fisheries, Western Australia.
- FOESA, 2010. Defining sustainability indicators for Mediterranean Aquaculture. Spanish Aquaculture Observatory Foundation (FOESA), Madrid, Spain.
- Folke, C., Kautsky, N., 1992. Aquaculture with its environment: prospects for sustainability. *Ocean Coast. Manage.* 17, 5–24.
- Folke, C., Kautsky, N., Berg, H., Jansson, A., Troell, M., 1998. The ecological footprint concept for sustainable seafood production: a review. *Ecol. Appl.* 8, 563–571.
- García, F., Kimpara, J.M., Valenti, W.C., Ambrosio, L.A., 2014. Emergy assessment of tilapia cage farming in a hydroelectric reservoir. *Ecol. Eng.* 68, 72–79.
- González, O.H.A., Beltrán, L.F., Cáceres-Martínez, C., Ramírez, H., Hernández-Vázquez, S., Troyo-Díez, E., Ortega-Rubio, A., 2003. Sustainability development analysis of semi-intensive Shrimp Farms in Sonora. Mexico. *Sust. Dev.* 11, 213–222.
- Gronroos, J., Seppälä, J., Silvenius, F., Mäkinen, T., 2006. Life cycle assessment of Finnish cultivated rainbow trout. *Boreal Environ. Res.* 11, 401–414.
- Gyllenhammar, A., Håkanson, L., 2005. Environmental consequence analyses of fish farm emissions related to different scales and exemplified by data from the Baltic – a review. *Marine Environ. Res.* 60, 211–243.
- Havice, E., Iles, A., 2015. Shaping the aquaculture sustainability assemblage: revealing the rule-making behind the rules. *Geoforum* 58, 27–37.
- Hofherr, J., Natale, F., Fiore, G., 2012. An Approach Towards European Aquaculture Performance Indicators. Indicators for Sustainable Aquaculture in the European

- Union, JRC Technical Reports.
- Johnston, P., Everard, M., Santillo, D., Robert, K.H., 2007. Reclaiming the definition of sustainability. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 14, 60–66.
- Jolly, C.M., Clonts, H.A., 1993. *Economics of Aquaculture*. Food Products Press, New York, USA.
- Lightfoot, C., Prein, M., Ofori, J.K., 1996. The potential impact of integrated agri-aquaculture systems on sustainable farming. In: Prein, M., Ofori, J.K., Lightfoot, C. (Eds.), *Research for the Future Development of Aquaculture in Ghana*. ICLARM Conf. Proc., pp. 51–56.
- Lazard, J., Rey-Valette, H., Aubin, J., Mathé, S., Chia, E., Caruso, D., Mikolasek, O., Blancheton, J.P., Legendre, M., Baruthio, A., René, F., Levang, P., Slembrouck, J., Morisens, P., Clément, O., 2011. Evaluation of aquaculture system sustainability: a methodology and comparative approaches. In: Aral, F., Dogu, Z. (Eds.), *Recent Advances in Fish Farms*. France, pp. 1–24.
- Lima, J.S.G., Rivera, E.C., Pocken, U., 2012. Emergy evaluation of organic and conventional marine shrimp farms in Guarafra Lagoon, Brazil. *J. Cleaner Prod.* 35, 194–202.
- Madin, E.M.P., Macreadie, P.I., 2015. Incorporating carbon footprints into seafood sustainability certification and eco-labels. *Marine Policy* 57, 178–181.
- Matvienko, B., Sikar, E., Pinguelli Rosa, L., dos Santos, M.A., de Filippo, R., Cimbliris, A.C.P., 2000. Gas release from a reservoir in the filling stage. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 27, 1415–1419.
- Medeiros, M.V., Aubin, J., Camargo, A.F.M., 2017. Life cycle assessment of fish and prawn production: Comparison of monoculture and polyculture freshwater systems in Brazil. *J. Cleaner Prod.* 156, 528–537.
- Moura, R.S.T., Valenti, W.C., Henry-Silva, G.G., 2016. Sustainability of Nile tilapia net-cage culture in a reservoir in a semi-arid region. *Ecol. Ind.* 66, 574–582.
- NACA/FAO, 2000. *Aquaculture Development Beyond 2000: The Bangkok Declaration and Strategy*. Conference on Aquaculture in the Third Millennium, 20–25 February 2000, Bangkok, Thailand. NACA, Bangkok and FAO, Rome.
- Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., Troell, M., 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405, 1017–1024.
- Neiland, A.E., Soley, N., Varley, J.B., Whitmarsh, D.J., 2001. Shrimp aquaculture: economic perspectives for policy development. *Marine Policy* 25, 265–279.
- OECD, 2017. OECD Family database: SF2.3 Age of mothers at childbirth and age-specific fertility. <http://www.oecd.org/els/family/database.htm>. Accessed on 22 July 2017.
- O’Ryan, R., Pereira, M., 2015. Participatory indicators of sustainability for the salmon industry: the case of Chile. *Marine Policy* 51, 322–330.
- Perdikaris, C., Chrysafi, A., Ganiak, K., 2016. Environmentally friendly practices and perceptions in aquaculture: a sectorial case-study from a Mediterranean-based industry. *Rev. Fish. Sci. Aquacult.* 24, 113–125.
- Pigou, A.C., 2005. *The Economics of Welfare: Volume I*. Cosimo, New York, London.
- Proença, D.C., 2013. *Aplicação de indicadores e índices para avaliar a sustentabilidade ambiental em um sistema de aquicultura integrado e multitrofico, com diferentes substratos*. Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura da UNESP-CAUNESP, Jaboticabal (MSc. Thesis).
- Pullin, R., Froese, R., Pauly, D., 2007. Indicators for the sustainability of aquaculture. In: Bert, T.M. (Ed.), *Ecological and Genetic Implications of Aquaculture Activities*. Springer, Dordrecht, Germany, pp. 53–72.
- 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., Morisens, P., Lazard, J., 2010. An approach to co-construct sustainable development indicators in aquaculture. *IIFET 2010 Montpellier Proceedings*.
- 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., Morisens, P., Lazard, J., 2008. Guide to the joint-building of sustainable development indicators in aquaculture. *Citrad, Ifremer, INRA, IRD, Université Montpellier, Montpellier*, pp. 1.
- Risius, A., Janssen, M., Hamm, U., 2017. Consumer preferences for sustainable aquaculture products: Evidence from in-depth interviews, think aloud protocols and choice experiments. *Appetite*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2017.02.021>.
- Sala, S., Parlioli, F., Zamagni, A., 2013. Progress in sustainability science: lessons learnt from current methodologies for sustainability assessment: part 1. *Int. J. Life Cycle Assess.* 18 (9), 1653–1672.
- Samuel-Fitwi, B., Wuertz, S., Schroeder, J.P., Schulz, C., 2012. Sustainability assessment tools to support aquaculture development. *J. Cleaner Prod.* 32, 183–192.
- Santos, A.A.O., Aubin, J., Corson, M.S., Valenti, W.C., Camargo, A.F.M., 2015. Comparing environmental impacts of native and introduced freshwater prawn farming in Brazil and the influence of better effluent management using LCA. *Aquaculture* 444, 151–159.
- Seafood Watch, 2017. Official site of the Monterey Bay Aquarium’s sustainable seafood program. Retrieved from <https://www.seafoodwatch.org/> (accessed 9 December 2017).
- Shang, Y.C., 1990. *Aquaculture Economic Analysis: An Introduction*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.
- Shi, H., Zheng, W., Zhang, X., Zhu, M., Ding, D., 2013. Ecological-economic assessment of monoculture and integrated multi-trophic aquaculture in Sanggou Bay of China. *Aquaculture* 410 (411), 172–178.
- Stevenson, J.R., Irz, X.T., Villarante, P., 2005. Indicators of Economic, Ecological and Socio-economic performance of aquaculture systems, Working paper 2. Research project R8288: Assessing the sustainability of brackish-water aquaculture systems in the Philippines. *DFID Aquaculture and Fish Genetics Research Programme*. University of Stirling, UK.
- Simões, J.S., Mársico, E.T., Cruz, A.G., Freitas, M.Q., Doro, L.H., Conte-Júnior, C.A., 2014. Effect of sustainability information on consumers’ liking of freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *J. Sci. Food Agric.* 95, 3160–3164.
- Ting, K., Lin, K., Jhan, H., Huang, T., Wang, C., Liu, W., 2015. Application of a sustainable fisheries development indicator system for Taiwan’s aquaculture industry. *Aquaculture* 437, 398–407.
- Tipiraga, P., Craswell, E.T., Noble, A.D., Schmidt-Voigt, D., 2007. Resource integration for multiple benefits: multifunctionality of integrated farming systems in Northeast Thailand. *Agr. Syst.* 94, 694–703.
- UN (United Nations), 2007. *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*, 3rd ed. United Nations, New York.
- UN (United Nations), 1992. Agenda 21. In: *United Nations Sustainable Development, United Nations Conference on Environment & Development*. United Nations, New York.
- Valenti, W.C., 2008. A aquicultura Brasileira é sustentável? *Aquicultura & Pesca*. 34 (4), 36–44.
- Valenti, W.C., Kimpara, J.M., Preto, B.L., 2011. Measuring aquaculture sustainability. *World Aquaculture* 42 (3), 26–30.
- Vassallo, P., Beiso, I., Bastianoni, S., Fabiano, M., 2009. Dynamic energy evaluation of a fish farm rearing process. *J. Environ. Manage.* 90, 2699–2708.
- Vassallo, P., Bastianoni, S., Beiso, I., Ridolfi, R., Fabiano, M., 2007. Emergy analysis for the environmental sustainability of an inshore fish farming system. *Ecol. Indicators* 7, 290–298.
- Waas, T., Hugé, J., Block, T., Wright, T., Benítez-Capistrós, F., Verbruggen, A., 2014. Sustainability assessment and indicators: Tools in a decision-making strategy for sustainable development. *Sustainability*. 6 (9), 5512–5534.
- Wang, G., Dong, S., Tian, X., Gao, Q., Wang, F., 2015. Sustainability Evaluation of Different Systems for Sea Cucumber (*Apostichopus japonicus*) Farming Based on Emergy Theory. *J. Ocean Univ. China (Oceanic and Coastal Sea Research)* 14 (3), 503–510.
- WCED, 1987. *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford.
- Williamson, T.R., Tilley, D.R., Campbell, E., 2015. Emergy analysis to evaluate the sustainability of two oyster aquaculture systems in the Chesapeake Bay. *Ecol. Eng.* 85, 103–120.
- Zhao, S., Song, K., Gui, F., Cai, H., Jin, W., Wu, C., 2013. The emergy ecological footprint for small fish farm in China. *Ecol. Ind.* 29, 62–67.

APÊNDICE 2

COMPLEMENTARY INDICATORS FOR MEASURING AQUACULTURE SUSTAINABILITY AQUAVITAE – H2020 – WP6 REPORT 2020

**Wagner C. Valenti, Janaina M. Kimpara, Patricia Moraes-Valenti, Mayara Fabris
Palma, Dallas Lee Flickinger**

The following indicators were developed to measure some essential features of aquaculture systems. They complement the pre-existing indicators. These indicators were developed by the top-down method based on a selected theoretical background. All of them meet the principles of Agenda 2030 and are inserted into the aims of one or more of the SDGs. They were not validated by stakeholders yet (bottom-up), and also need to be validated on farms. They are intended to be quantitative and global, and to be used worldwide. The indicators were developed in the context of the AquaVitae Consortium. However, they are suitable to assess all or almost all aquaculture systems performed with different species, beyond low trophic species. This characteristic is essential to allow a general comparison of the different systems worldwide.

Aquaculture is a dynamic and complex activity comprised of many different processes that produce changes during the time. The use of set of indicators produces instantaneous photography of the selected parts of the process. This technique neglect the integration and interaction of the different features and temporal changes. However, such limitations can be partially overcome by means of an integrated analysis provided by multivariate exploratory analyses and a multi-vision interpretation of all the indicators together. In addition, the analyses can be made sequentially in the time to detect temporal changes.

One of the most important aspects to developing indicators is that it should be based on scientific knowledge, not on suppositions, political interests, or any other possible biased or non-scientific information. Maybe we have used the expression science-based approach in this sense. Asa, do you think that it is enough or you need more clarifications. Please, feel free to ask us.

The method we used is very simple: topdown based on a panel of specialists (UNESP group), including some that are not in the Aquavitae. We have the necessary experience and expertise to propose a new set of indicators. The sequence of the process is: establish what we need to measure, what variables can be proxies of the information we need, select that ones are easier to obtain, create the criteria, and finally the equations. After that we submit them to a forum of stakeholders from different countries in two phases and ask inputs by questionares.

We revisit the indicators defined in Valenti et al. (2018), discuss the application and complement with new indicators.

Capacity for biomitigation or pollution

Aquaculture can mitigate or pollute the environment according to the system design. The following indicators were developed to assess these aspects. Positive values indicate that the aquaculture system reduces pollution, whereas negative values indicate that the aquaculture system causes pollution. Loads are measured in mass. Effluents may be the outlet water from ponds and tanks, or the water after passing through farms comprised of net-cages, pens, long-lines, trays, etc.

A. Environmental Dimension

1. Eutrophication (E_N and E_P)

Mariculture: $E_N = (\text{Load of nitrogen in source water} - \text{Load of nitrogen released in effluents}) / \text{mass or units produced}$

Freshwater Aquaculture: $E_P = (\text{Load of phosphorous in source water} - \text{Load of phosphorous released in effluents}) / \text{mass or units produced}$

2. Oxygen depletion

$O_d = (\text{BOD}_5 \text{ in source water} - \text{BOD}_5 \text{ released in effluents}) / \text{mass or units produced}$

3. Organic Pollution (OP)

$OP = (\text{Load of organic matter in source water} - \text{Load of organic matter released in effluents}) / \text{mass or units produced}$

4. Siltation (S)

$S = (\text{Load of total suspended inorganic solids in source water} - \text{Load of suspended inorganic solids released in effluents}) / \text{mass or units produced}$

5. Global Warming (GW)

$GW = (\text{Load of greenhouse gases absorbed} - \text{load of greenhouse gases released to the atmosphere}) / \text{mass or units produced}$

Greenhouse gases = mass of $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$, measured in CO_2 equivalents

6. Chemical Pollution (CP)

$CP = (\text{Load of chemicals in source water} - \text{Load of chemicals in effluents}) / \text{mass or units produced}$

Chemical products = mass of herbicides, insecticides, anti-algals, antibiotics, and other chemicals applied

7. Pollution by Heavy Metals (PHM)

$PHM = (\text{Load of heavy metals in source water} - \text{Load of heavy metals in effluents}) / \text{mass or units produced}$

8. Changing α -biodiversity (CB)

$$CB = 100 * (S - W_d - S - W_s) / \text{mass or units produced}$$

In which:

$S - W_d$ = Shannon-Winner diversity index obtained in a similar place not impacted by the farm

$S - W_s$ = Shannon-Winner diversity index obtained surrounding the farm

An increase in biodiversity is also a change in the environment. It may be positive or negative according to the perspective. In an impacted area, increased biodiversity may be a mitigating action; however, in a natural environment, it is a change in the community structure. In conserved environments $CB = 0$ is the best result.

Risk to Biodiversity

The potential impact on surrounding biodiversity

Surrounding biodiversity will change if water variables change or if new genes are added to the community genetic pool. To measure the potential to change the water environment we can use a linear combination of the indicators 1,2,3,4, 6, and 7 converted into a scale of performance from zero to 100. We should give weight to these indicators according to the importance of each one in relation to the relevant surrounding environment. To measure potential to add genetic traits into the environment, we can measure the potential of scape of farmed species and their symbiotic organisms (in the broad sense of symbiosis, i.e., living together)

9. Potential to change water environment (PCWE)

$$PCWE = (w_1 * E_{N,P} + w_2 * O_d + w_3 * S + w_4 * OP + w_5 * DPP + w_6 * PHM) / \sum_{i=1}^6 w_i$$

In which :

$w_1, \dots, w_6$ is the weight to the respective surrounding environment

$E_{N,P}$, O_d , S , OP , DPP , PHM are measured in performance scale from 0 to 100%

$i = 1, \dots, 6$

10. Potential to change the gene pool of the native community (PCGP)

$$PCGP = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 \text{ or } 12\}$$

in which:

1 = Farming exotic species, genetically modified organism (GMO), or hybrids, fertile, in open systems without control of escapes;

2 = Farming exotic species, genetically modified organism (GMO), or hybrids, fertile, in open systems with control of escapes;

3 = Farming exotic species, genetically modified organism (GMO), or hybrids, infertile, in open systems without control of escapes;

4 = Farming exotic species, genetically modified organism (GMO), or hybrids, infertile, in open systems with control of escapes;

- 5 = Farming genetically-improved autochthone species, in open systems without control of escapes;
- 6 = Farming genetically-improved autochthone species, in open systems with escapes control or strains incapable of mating in open systems without control of escapes;
- 7 = Farming exotic species or genetically modified organism (GMO), fertile, in closed systems;
- 8 = Farming exotic species or genetically modified organism (GMO), infertile, in closed systems;
- 9 = Farming genetically-improved autochthone species, fertile, in closed systems;
- 10 = Farming genetically-improved autochthone species, infertile, in closed systems;
- 11 = Farming non-genetically-improved local strain, in open systems;
- 12 = Farming non-genetically-improved local strain, in closed systems.

Exotic species means any species that comes from different watershed or ocean region, i.e., allochthone in relation to the ecosystem, in which the farm is inserted. Some systems, such as long lines, cannot control the escapes of farmed and symbionts organisms. Other systems, such as ponds or net-cages, can control the escapes of farmed organisms, but not the symbionts and closed systems can control the escapes of both. Genetically-improved or infertile local species that escape and mate in the wild decrease the fertility and/or the genetic variability through the introgression of these new genes in the natural population; this can change the wild pool gene. Symbionts of local strains are probably the same in the culture or the environment; however, farmed animals may develop or boost some diseases that may be overspread to the environment.

Source of seeds

11. Impacts of seed acquisition

SA = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 or 12}

in which:

- 1 = Seeds of rare or endangered species obtained in the wild imported from a different watershed or ocean region;
- 2 = Seeds of rare or endangered species obtained in the wild catch in the same watershed or ocean region;
- 3 = Seeds of naturally abundant species obtained in the wild from a different watershed or ocean region;
- 4 = Seeds of naturally abundant species obtained in the wild catch in the same watershed or ocean region;
- 5 = Seeds produced in intensive indoor system from broodstock obtained in the wild dependent on Artemia cysts;
- 6 = Seeds produced in semi-intensive outdoor system from broodstock obtained in the wild dependent on Artemia cysts;
- 7 = Seeds produced in intensive indoor system from broodstock obtained in the wild independent on Artemia cysts;
- 8 = Seeds produced in semi-intensive outdoor system from broodstock obtained in the wild independent on Artemia cysts;

- 9 = Seeds produced in intensive indoor system from broodstock produced on-farm dependent on Artemia cysts;
- 10 = Seeds produced in semi-intensive outdoor system and broodstock produced in-farm dependent on Artemia cysts.
- 11 = Seeds produced in intensive indoor system from broodstock produced on-farm independent on Artemia cysts;
- 12 = Seeds produced in semi-intensive outdoor system and broodstock produced in-farm independent on Artemia cysts.

Artemia cyst shortage can impair the hatcheries production and is caught in the environment. Other limiting supplies can be added or replace Artemia when it is not used.

Animal Welfare

Animal welfare has been an important issue for consumers worldwide, mainly in Europe. It is essential to obtain certifications that add value to the products, and thus, increase sustainability.

12. Environmental comfort (EC)

Animals must be reared in an environment adequate for their development. The water quality should be within the range defined as suitable for the species and phase of life.

$$EC = \text{number of water variables suitable for the farmed species} / \text{total measured variables.}$$

The minimum measured variables are dissolved oxygen, temperature, ammonia, nitrite, pH, and salinity.

13. Animal Health (AH)

$$AH = \text{number individuals with of body damaged} + \text{number of diseased individuals} / \text{total individuals harvested}$$

The Proportion of sick and hurt animals at harvest indicate agonistic behavior or other unsuitable condition inside the culture systems

Changing the environment

14. Shading (Sh)

$$Sh = 100 * (\text{light intensity below the production structures} / \text{light intensity in a control area})$$

Light attenuation may be an important environmental impact in coastal and oceanic areas as well as in freshwater lakes. Shading is produced by net-cages, trays, long-lines, and other floating structures, as well as, most of the submerged systems. Measures may be done in $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ or lux. In many situations, measures using a Secchi disc can also be used. In all cases, results will be produced in percentages. Measures should be done from 11:00 to 13:00 h, just below the culture structure, or on the bottom, according to the scope of assessment. A mean of the two values can also be used to combine the effect on the pelagic and benthic communities. This indicator disregards light quality (the light spectrum).

15. Changes in water flow (CWF)

$CWF = 100 * (\text{water flow after water cross the production structures} / \text{water flow in a control area})$

Changes in water flow, and also aquatic currents, is important to access the impacts of aquaculture placed inside natural waters (ocean, rivers, lakes) or reservoirs. Effects on water flow are produced by net-cages, trays, long-lines and other floating structures, as well as, most of the submerged systems. Water flow may be measured using a current meter for 24 hours at the start medium and end phases of the culture. The control area should have similar characteristics and not be affected by culture. Indeed, water flow may be affected by culture structures even before water crosses the culture structures.

B. Economic Dimension

16. Potential of Economic Resilience (PER)

Percentage of production or gross revenue that pays the production costs (Breakeven point)

$$PER (\%) = 100 * \{CF / [(SP-VC)/SP]\} / GR$$

In which:

CF = total fixed costs

SP = selling price of each production unit (e.g., kg, dozen)

VC = variable cost of each production unit

GR = Gross revenue

17. Strength of value (production) chain (VC)

Aquaculture industry depends not only on good results in the rearing the animals or plants, but also on a whole set of linked elements, constituting a complex web called production or value chain. This chain includes the farm and all stages of pre-production, production, and post-production until it reaches final consumption.

$$VC = \text{Number of strength elements} / \text{number of total elements}$$

There are 16 key elements (Valenti & Moraes-Valenti, 2010) that should be analyzed:

Pre-production elements:

1. training of human resources;
2. extension services and specialized services;
3. environmental legislation;
4. loan and tax policies;
5. cooperative and farmers associations;
6. availability of equipment and supplies;
7. transportation quality;
8. energy access;

Production elements:

9. broodstock management;
10. hatchery & nursery;
11. grow out;

Post-production elements:

12. processing;
13. distribution and commercialization;
14. marketing;
15. market;
16. final consumer perception/satisfaction.
18. Annual earnings (AE)

$$AE = \text{Ebit} / \text{mass or units produced}$$

In which:

Ebit = revenues – (production and administrative costs + depreciation + amortization of invested capital + other expenses)

Ebit means earnings before subtraction of interests and taxes. This value is good for international comparisons because interests and taxes change among countries and even among regions in the same country. Revenues = Gross income = Gross revenue

19. Earning family ratio (EFR)

$$EFR = \text{Ebit} / \text{local per capita income}$$

This indicator measures the number of persons a farm can support living according to the local standards. This indicator is more suitable for small family farms. A farmer will continue in the activity if he/she can give an acceptable lifestyle to his/her family.

20. Profitability (P)

$$P = \text{Ebit} / \text{annual gross revenue}$$

Annual gross revenue means income (or revenue) from all sources, before any expenses or taxes, computed according to generally accepted accounting principles for the preceding fiscal year.

21. Rate of circularity (RC)

This indicator measures the rate use of the Circular Economy in the farm.

$$RC = SR/TS$$

In which:

SR = Monetary value of the supplies obtained inside the farm by recycling by-products

TS = Monetary value of all supplies needed to production

Workforce skill

22. Workforce capacitation (WC)

$$WC = (\sum_{i=1}^n TH_i) / n$$

In which:

TH_i = n° of training hours provided to the worker *i*

n = n° of workers on the farm

23. Workforce seniority in aquaculture (WS)

$$WS = (\sum_{i=1}^n YWA_i) / n$$

In which:

YWA_i = n° of years the worker *i* has worked in aquaculture

n = n° of workers on the farm

Valenti, W.C. & Moraes-Valenti, P. 2010. Production Chain of Aquaculture. **World Aquaculture**, 41(4):54-58.