

Métodos para medir a sustentabilidade na aquicultura



Por:
Wagner C. Valenti
Centro de Aquicultura da Unesp, Dept. de Biologia Aplicada,
FCAV, Unesp, Jaboticabal, SP
valenti@caunesp.unesp.br

Janaina M. Kimpara
Instituto Federal do Espírito Santo, Piúma, ES

Ariel D. Zajdband
Departamento de Produção Animal,
Universidade de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

A importância de se adotar práticas mais sustentáveis nos sistemas aquícolas vem sendo reconhecida, porém, para isso, é essencial conhecer a sustentabilidade de cada sistema. No entanto, as metodologias para avaliá-la são ainda pouco divulgadas. Neste artigo, apresentamos uma breve descrição dos métodos utilizados para avaliar a sustentabilidade da aquicultura em todo o mundo. Estes são: análise emergética, pegada ecológica, análise do ciclo de vida, resiliência e conjuntos de indicadores. Além disso, apresentamos uma revisão dos artigos que usaram esses métodos na análise de sistemas de aquicultura disponíveis na literatura internacional.

A aquicultura é uma das atividades que apresenta maior crescimento em todo o mundo. No Brasil, o Plano de Desenvolvimento “Mais Pesca e Aquicultura – 2008/2011”, lançado em 2008 pela SEAP, atual Ministério da Pesca e Aquicultura, contém ações com o objetivo de fomentar a produção de pescado no país e as metas a serem cumpridas até o ano que vem. Entre elas, estão a demarcação de 40 reservatórios de águas da União para criação de pescado em cativeiro, implantação dos Planos Locais de Desenvolvimento da Maricultura (PLDM) em 13 estados e financiamento para 27.000 famílias visando melhorar a infra-estrutura, com a implantação de 11.250 ha de viveiros em estabelecimentos rurais de pequeno porte. Para que essas metas sejam alcançadas com sucesso e que os avanços não sejam apenas temporários, mas venham para ficar, é necessário que se adotem os preceitos da sustentabilidade.

Atualmente, existe um consenso de que os sistemas de produção devem ser sustentáveis. No entanto, atingir a sustentabilidade é uma tarefa árdua, distante ainda de nossa realidade. A adoção de práticas e de sistemas que consideram conceitos da sustentabilidade, como o uso de boas práticas de manejo (BMP), é uma forma de caminhar em direção à sustentabilidade. Entretanto, não se deve confundir BMP com sustentabilidade, e é comum encontrarmos sistemas que se dizem sustentáveis apenas porque aplicam as BMP, o que não é suficiente. Para que a aquicultura seja realmente sustentável deve adotar um sistema que gere renda, otimizando o uso do capital e dos recursos naturais, promovendo o desenvolvimento humano. Uma produção planejada com base unicamente no mercado e nas oportunidades financeiras leva a sistemas que não se sustentam ao longo do tempo. Esses itens são apenas partes do processo.

Embora muito se fale em sustentabilidade, poucos sabem realmente o que significa e como se chega a ela. As definições do termo variam segundo o grau de importância dada à economia, ao meio ambiente e à dimensão social. Em um dos extremos, encontraremos conceitos que se pautam na economia de livre mercado, exploração de recursos e a orientação pelo crescimento da produção. Em outro, encontraremos um profundo conservacionismo dos recursos naturais, com a regulação das atividades econômicas visando minimizar o uso desses recursos.

A principal característica de uma produção sustentável é que se assume que a natureza é finita, descartando o crescimento sem limites, característico da economia clássica. Além disso,

se assume também o compromisso de que cada geração tem o dever de deixar para a próxima, uma quantidade de recursos naturais equivalente àquela que recebeu. Esta definição, apresentada na Agenda 21 (da qual o Brasil é signatário) pode ser considerada universal e vem sendo adaptada pela FAO e outros órgãos internacionais para os vários setores produtivos. Assim, aqüicultura sustentável pode ser definida como a produção lucrativa de organismos aquáticos, mantendo uma interação harmônica duradoura com os ecossistemas e as comunidades humanas locais (Valenti, 2002 e 2008).

Para atingir uma aqüicultura sustentável, é essencial, portanto, medir a sustentabilidade dos sistemas usados, das técnicas de manejo e das novas tecnologias que vão sendo geradas e adotadas. A seguir apresentamos os métodos mais empregados para a avaliação da sustentabilidade em sistemas aqüícolas.

Métodos

1. Análise emergética

A análise emergética foi desenvolvida por Odum, em 1986 e coloca as variáveis analisadas em um contexto econômico biofísico, ou seja, são computados os custos de produção, recursos biológicos e recursos do meio físico consumidos no processo. Do ponto de vista biofísico, o processo de produção de bens econômicos transforma a energia e os materiais disponíveis na natureza, em produtos consumíveis pelo homem, mais lixo e a poluição. Na análise emergética, as avaliações econômica, ambiental e social são feitas com base na teoria dos fluxos energéticos dos sistemas ecológicos. Nela, estima-se valores da energia natural, incorporada aos produtos e usada nos processos e serviços necessários para tratar o lixo e a poluição gerados, que não são contabilizados na economia clássica. A análise emergética considera vários aspectos sociais, como por exemplo, informação e serviço humano (para maiores detalhes, consultar Odum, 1996).

Para se proceder a uma análise emergética, inicialmente elaboram-se um diagrama de fluxos de energia, materiais e serviços com símbolos e cores (Odum et al., 2000). Em seguida, os valores dos fluxos são convertidos em energia que, por sua vez, significa a energia utilizada direta ou indiretamente para produzir um serviço ou produto, medida em **equivalentes de energia solar** e expressa em **joules**. Então, como os fluxos estão expressos na mesma unidade, é possível gerar índices, como **transformidade**, **razão de investimento emergético**, **razão de intercâmbio emergético**, **renovabilidade**, entre outros. Esses índices são usados, em termos comparativos, para monitorar e avaliar sistemas e embasar discussões sobre sua sustentabilidade. Por exemplo, a **renovabilidade**, é um índice definido como a razão entre a energia dos recursos naturais renováveis empregados (chuva, sol, vento, sedimentos, biodiversidade e solo) e a energia total utilizada para produzir um produto específico. Quanto maior for a renovabilidade mais próximo da sustentabilidade estará o sistema de produção. Em longo prazo, somente os sistemas com índices de renovabilidade próximos de 100% serão considerados sustentáveis.

A análise emergética permite uma análise mais ampla do que as análises econômicas convencionais que consideram como custo de produção apenas a somatória do preço (em valor) da entrada de materiais e serviços somados aos custos de oportunidade. Já a análise emergética contabiliza também os serviços naturais, como o gasto da natureza na produção dos recursos, a absorção de impactos ambientais, os custos com o tratamento dos resíduos gerados, os serviços médicos para remediar problemas de saúde causados pelo processo produtivo, e a exclusão social. Uma atividade pode ser altamente lucrativa, sob o ponto de vista econômico porque não estão sendo computados os serviços da natureza, que são bens comuns (de toda a sociedade), que estão sendo gastos no processo de produção.

Exemplos de uso da análise emergética na aqüicultura podem ser encontrados em Odum & Arding (1991), Cavallett (2004), Ortega (2004), Zuo et al. (2004), Vassalo et al. (2007, 2009) e Cavallett et al. (2006). Neste último trabalho, comparou-se a produção de grãos, peixes e suínos separadamente e de forma integrada. Os resultados indicaram que o sistema integrado é mais eficiente, menos estressante ao ambiente e mais sustentável que cada um dos subsistemas separados.

2. Pegada ecológica

É definida como a área requerida para manter os padrões de consumo de uma determinada população, considerando-se a produção de todos os recursos usados e o processamento de todos os resíduos gerados. Pode ser calculada para a população de uma cidade, região, país, para cada indivíduo de um grupo demográfico específico ou para um sistema de produção. Para determinar a pegada ecológica de um sistema, deve-se calcular todos os recursos usados na sua instalação e nos insumos para sua operação e todos os resíduos gerados. A seguir, determina-se a área necessária para produzir tudo o que foi usado e para processar todos os resíduos.

Estudos que usaram a técnica da pegada ecológica para avaliar sistemas de aqüicultura são: Larsson et al. (1994), Kaustky et al (1997), Berg et al (1996), Folke et al. (1998), Rönnback et al. (2003) e Gyllenhammar & Håkanson (2004). Larsson e colaboradores (1994) aplicaram a pegada ecológica em sistema semi-intensivo de carcinicultura marinha na costa caribenha da Colômbia. A propriedade usava 295 joules de trabalho ecológico para cada joule de proteína para consumo humano produzida na forma de camarões. Os resultados mostraram que uma propriedade operando nesse sistema tem uma pegada ecológica de 37 a 190 vezes a área da fazenda. Isto significa que a área necessária para produzir os insumos e processar os resíduos gerados pelo sistema de produção em uma fazenda de 100 ha variava de 3.680 a 18.900 ha. Esta é a área real que a fazenda está usando para produzir camarões. Portanto, sistemas que aparentemente apresentam altas produtividades podem ser muito ineficientes e ter uma produtividade real muito menor do que outros que aparentemente são menos produtivos.

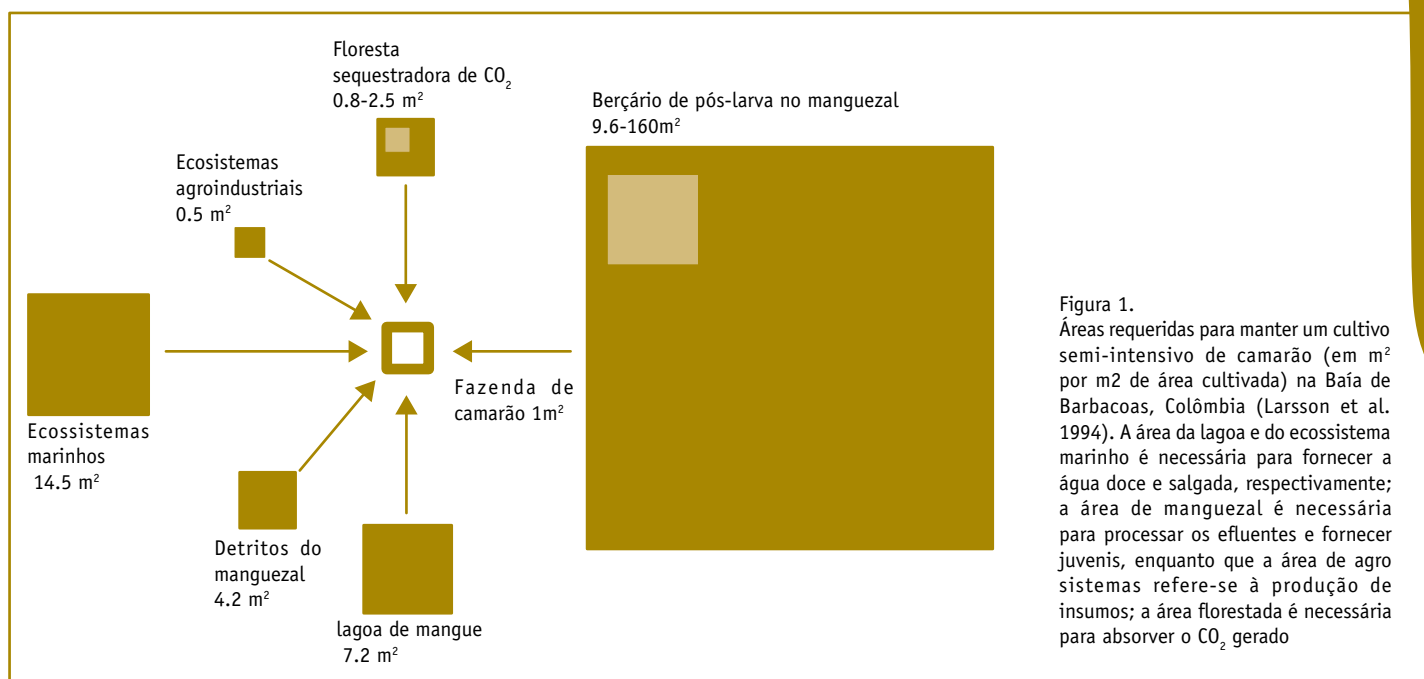


Figura 1. Áreas requeridas para manter um cultivo semi-intensivo de camarão (em m² por m² de área cultivada) na Baía de Barbaças, Colômbia (Larsson et al. 1994). A área da lagoa e do ecossistema marinho é necessária para fornecer a água doce e salgada, respectivamente; a área de manguezal é necessária para processar os efluentes e fornecer juvenis, enquanto que a área de agro sistemas refere-se à produção de insumos; a área florestada é necessária para absorver o CO₂ gerado

3. Análise do Ciclo de Vida (ACV)

É um método padronizado desenvolvido para avaliar potenciais impactos ambientais associados a um produto, quantificando e analisando os recursos consumidos e emissões para o meio ambiente em todos os estágios de seu ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima até o descarte dos resíduos e embalagens. A análise do ciclo de vida (ACV) compreende quatro fases: definição dos objetivos e escopo (abrangência), inventário, análise de impactos e interpretação dos resultados. A primeira fase define a escala da análise, ou seja, até qual nível do ciclo de vida do produto conseguimos realizar a análise. A segunda fase (inventário) corresponde ao rastreamento de tudo o que é usado para produzir cada um dos equipamentos necessários para a implantação e manejo do projeto e os insumos para a sua operacionalização. Na terceira fase, os principais impactos analisados são o uso de energia e da produção primária, o potencial de eutrofização, de acidificação, e de aquecimento global. Outros também podem ser incluídos.

Até o presente, algumas aplicações na aquicultura da Análise do Ciclo de Vida foram realizadas: Srituhla (2001), Seppälä (2002), Papatryphon (2002, 2003, 2004), Mungkung (2005),

Aubin et al. (2006), Ellingsen & Aanonsen (2006), Grönroos et al. (2006), Myrvang (2006), Pelletier e Tyedmers (2007), Ayer e Tyedmers (2008, 2009), Aubin et al. (2006, 2009), d'Orbcastel et al. (2009), Kruse et al. (2009) e Pelletier et al., (2007, 2009). No Brasil, foi realizado o trabalho de Casaca (2008), que estudou o efeito da variação da densidade de estocagem em um sistema de policultivo de carpas e jundiá, integrados ao cultivo de azevém e capim elefante. Os resultados mostram a contribuição de cada categoria de impacto na produção de peixes nos tratamentos, que correspondem a três densidades de estocagem (2000, 4000 e 6000 peixes/ha). Pela figura 2, verifica-se que a estocagem de peixes em menor densidade resultou em menor impacto ambiental por tonelada de peixes produzidos em termos de potencial de eutrofização, aquecimento global, acidificação, toxicidade e uso da produção primária. Além disso, utiliza mais força de trabalho por unidade de produção.

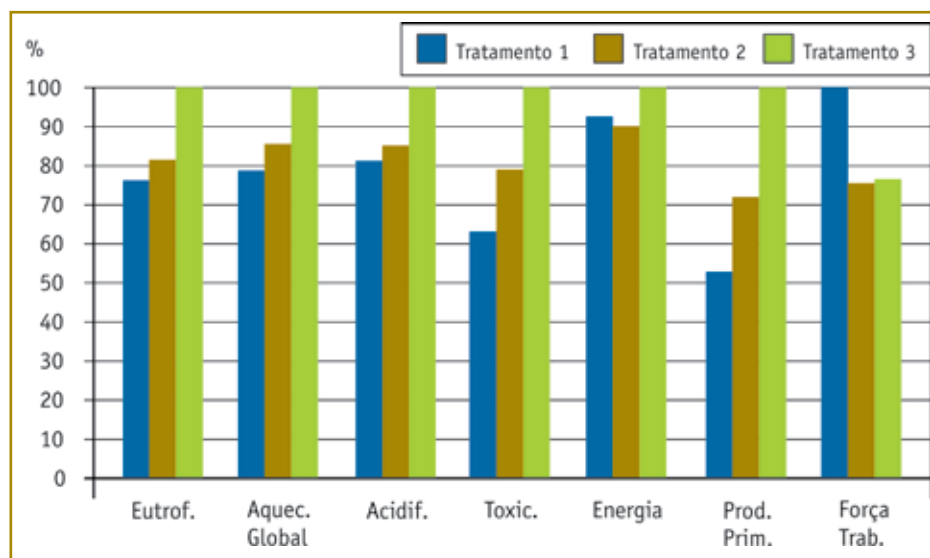


Figura 2. Resultados comparativos das categorias de impactos por tonelada de peixes produzida em cada tratamento em um sistema de policultivo de carpas e jundiá, integrados ao cultivo de azevém e capim elefante, no qual variou-se a densidade de estocagem. A padronização foi feita de modo que o maior valor é considerado 100% e os demais são obtidos por regra de três. Trat1= 2000 peixes.ha⁻¹; Trat2= 4000 peixes.ha⁻¹; Trat3= 6000 peixes.ha⁻¹ (Casaca, 2008)

4. Resiliência

Resiliência é a capacidade do sistema de produção se manter funcionando frente às perturbações e modificações futuras na cadeia produtiva ou em qualquer elemento do cenário, no qual a atividade está inserida. Devido às grandes incertezas que cercam os projetos de aquicultura, a manutenção ou aumento da resiliência dos sistemas de produção pode ser decisiva para a permanência do produtor na atividade. Como a resiliência ainda não pode ser medida diretamente, ela geralmente é utilizada como um referencial teórico intimamente relacionado com a sustentabilidade. Um sistema resiliente não é fixo ou imutável, mas tem a capacidade de se modificar e se adaptar às mudanças no cenário para se manter estável.

A aquicultura tem o potencial de aumentar ou reduzir a resiliência das comunidades humanas. Adger (2000) é o único autor que aplicou o conceito de resiliência na aquicultura, em sistemas de carcinicultura no Vietnã. Lá, a apropriação dos manguezais (bem de uso comum) para o cultivo de camarão (bem privado) resultou em uma redução da resiliência social, como resultado do reduzido acesso das comunidades ribeirinhas a seus meios de subsistência. Por outro lado, Bailey (2008) argumenta que a incorporação da aquicultura nos sistemas agrícolas também pode diminuir o risco e aumentar sua habilidade para lidar com diversos acontecimentos imprevistos, tais como crises de preços, eventos climáticos e outros, aumentando a resiliência. Portanto, sistemas de produção e introdução de técnicas de manejo que aumentem a resiliência são mais sustentáveis.

5. Conjuntos de indicadores

Indicadores são variáveis definidas para refletirem de forma simplificada um fenômeno ou um processo, e medem um atributo de um sistema. Os indicadores representam uma ferramenta poderosa para reduzir a complexidade do sistema, podendo servir para comparações entre sistemas ou com valores de referência. Podem ainda ser usados individualmente ou na forma de um índice agregado, no qual as pontuações individuais são combinadas. Frequentemente, os resultados destas avaliações são apresentados em figuras “teia de aranha” (Figura 3). O desenvolvimento e escolha dos indicadores estão relacionados com o conceito de sustentabilidade adotado.

Muitos indicadores têm sido desenvolvidos para avaliar a sustentabilidade da aquicultura. Estes geralmente são distribuídos nas dimensões ambiental, social e econômica. Os indicadores ambientais estão principalmente focados em aspectos relacionados com a poluição (ex. as concentrações de nutrientes no efluente) e o uso eficiente dos recursos (ex. a eficiência no uso do nitrogênio e fósforo). Os indicadores sociais são ligados a questões como a equitatividade na distribuição de renda, a geração de postos de trabalho (empregos e auto-empregos) e a segurança alimentar. Os indicadores econômicos mais utilizados são a renda anual, a taxa de interna de retorno, o período de retorno do capital e o valor presente líquido.

Os custos referentes às externalidades, no entanto, devem ser incluídos nas equações matemáticas que geram esses

" A aquicultura pode gerar externalidades positivas.

Se a água de saída de um viveiro tem qualidade

superior a que entrou, o

aquicultor está prestando

um serviço à sociedade e

poderia receber por isso".

indicadores tradicionais. As externalidades são efeitos secundários (positivos ou negativos) de uma atividade econômica. As externalidades negativas surgem quando alguma parte do custo de uma atividade não é assumida pelos produtores ou consumidores do bem ou serviço em questão. Por exemplo, se a aquicultura polui um corpo de água, que é um bem comum, o custo da despoluição deve ser acrescido aos custos de produção e serem pagos pelo produtor. É o princípio de “quem quebra conserta”; quem estraga um bem comum deve pagar para recuperá-lo ou indenizar quem perdeu com isso. Portanto, muitos projetos aparentemente lucrativos somente o são porque a sociedade está pagando uma parte dos custos, que são as externalidades não incluídas no projeto. Em contraste, a aquicultura pode gerar externalidades positivas. Se a água de saída de um viveiro tem qualidade superior a que entrou, o aquicultor está prestando um serviço à sociedade e poderia receber por isso.

Recentemente, vários conjuntos de indicadores de sustentabilidade para a aquicultura vêm sendo definidos. Merece destaque o conjunto elaborado pela União Européia, que contempla nove dimensões (EAS, 2005). No Brasil, o grupo de pesquisa do Setor de Carcinicultura do CAUNESP, vem trabalhando no desenvolvimento de indicadores há vários anos (Valenti, 2008). A partir de 2009, o MPA vem desenvolvendo um conjunto de indicadores para a aquicultura brasileira com base no trabalho desenvolvido no CAUNESP. Quatro dimensões estão sendo consideradas: a econômica, ambiental, social e institucional. Os resultados finais devem ser apresentados ainda esse ano.

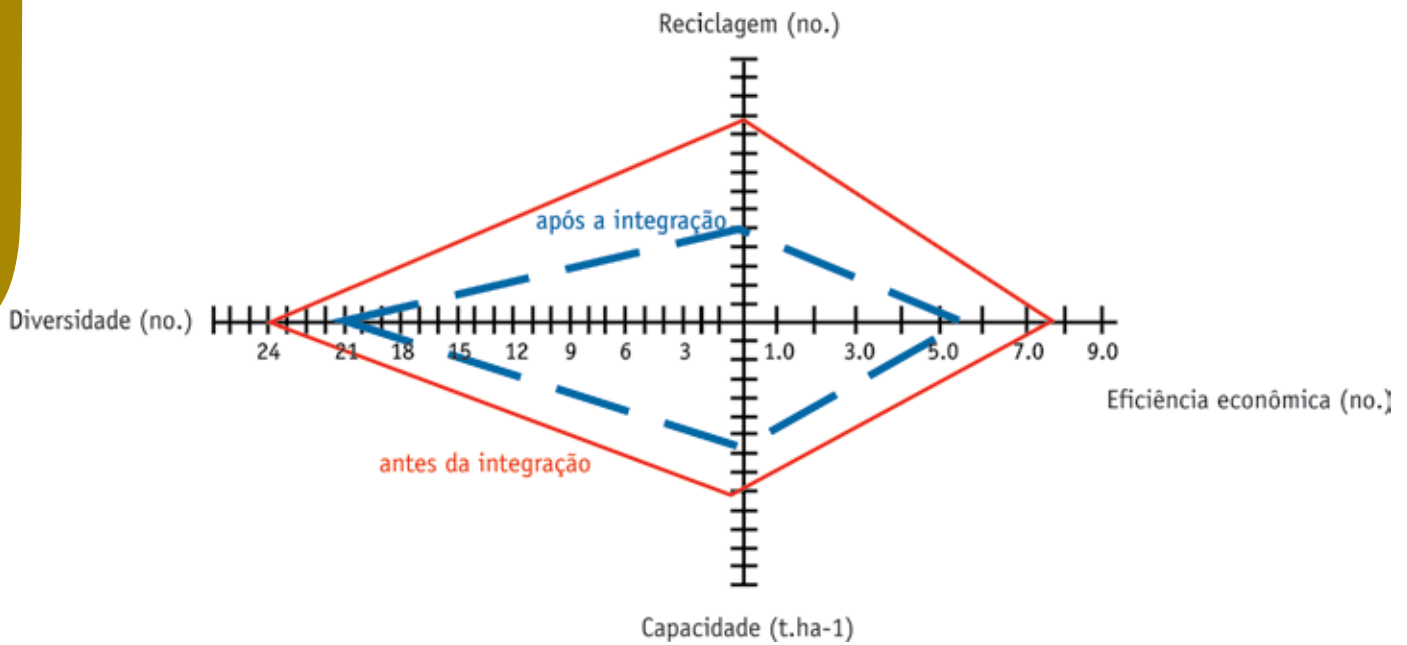


Figura 3. Representação de quatro indicadores num diagrama teia de aranha. Cada indicador é representado por um eixo e os valores obtidos na análise são marcados no respectivo eixo e unidos, formando um polígono. O polígono interno representa o sistema de produção antes da integração da aquicultura e o polígono externo após a integração. Observa-se que a área do polígono externo é maior; a integração aumentou os valores dos quatro indicadores de sustentabilidade avaliados e, portanto, o sistema integrado mostrou-se mais sustentável. (Adaptado de Lightfoot et al., 1996)

Os trabalhos que definiram ou usaram indicadores de sustentabilidade para avaliar a aquicultura encontrados na literatura foram: Dalsgaard et al., 1995; Lightfoot et al., 1996; Dalsgaard & Oficial, 1997; FAO, 1998; Caffey et al., 2000; González et al., 2003; Stevenson et al., 2005; Boyd et al., 2007; Pullin et al., 2007; Tipraqsa et al., 2007; Dey et al., 2007; Bergquist, 2007; Rey-Valette et al., 2008; Valenti, 2008.

Conclusão

Cada método apresentado anteriormente tem características próprias, que devem ser consideradas na hora da aplicação. A **Pegada Ecológica** e a **Análise do Ciclo de Vida** focam principalmente a sustentabilidade ambiental. Os inventários de dados são difíceis de serem obtidos, mas a interpretação dos resultados é relativamente simples na ACV e muito fácil de entender no caso da Pegada Ecológica. A **Análise da Resiliência** é uma ferramenta poderosa para avaliar a capacidade dos sistemas se perpetuarem ao longo do tempo. No entanto, ainda não está definido um método objetivo e claro de medir a resiliência dos sistemas de aquicultura. Pesquisas nesse sentido são necessárias e urgentes. Os **Conjuntos de Indicadores**, por sua vez, dão uma visão merística, permitindo a análise de cada parte do sistema produtivo em separado. Isso permite localizar os pontos fracos e corrigi-los. No entanto, os sistemas de aquicultura não podem ser totalmente compreendidos por

meio da divisão em componentes. É importante, o estudo das interações que permita uma perspectiva sistêmica, já que o entendimento de problemas e soluções não é divisível. Assim, os indicadores escolhidos devem ser diversificados o suficiente para cobrir todas as dimensões a serem consideradas. Além disso, devem possibilitar a consolidação em gráficos ou índices combinados que permitam uma análise mais geral. Os dados são de mais fácil obtenção e a interpretação dos resultados é simples e facilmente compreensível. O método da **Análise Emergética** fornece uma visão holística do processo e considera as interações do sistema produtivo sejam elas internas ou externas. Por outro lado, esse método tem como inconvenientes a dificuldade de obtenção do total de dados necessários para a análise e de interpretação dos resultados.

As avaliações de sustentabilidade devem ser consideradas como parte de um processo dinâmico de aprendizado para atingir sistemas mais sustentáveis. Devem ser fixadas metas realistas a serem perseguidas, que após atingidas, podem ser reformuladas em processo contínuo de busca de sistemas realmente sustentáveis. A sustentabilidade não é um estado fixo. Por esta razão, é difícil definir um ponto determinado e conhecido que se deva atingir. Pelo contrário, os sistemas de aquicultura são altamente adaptáveis e evoluem. Portanto, o desafio para se construir uma aquicultura realmente sustentável passa por um aprendizado contínuo e pela capacidade de criar sistemas capazes de responder às mudanças ambientais, sociais e econômicas que ainda estão por vir. ■

Referências Bibliográficas:

- Adger, N.W.** Social and ecological resilience: are they related? *Prog. Hum. Geog.*, **24** (3): 347–364 (2000).
- Aubin J., E. Papatryphon, H.M.G. Van der Werf, J. Petit and Y. Morvan** Characterization of the environmental impact of a turbot (*Scophthalmus maximus*) re-circulating production system using Life Cycle Assessment. *Aquaculture*, **261**(4): 1259–1268 (2006).
- Aubin, J.E., Papatryphon, H.M.G. van der Werf and S. Chatzifotis.** Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. *J. Cleaner Prod.*, **17**: 354–361 (2009).
- Ayer, N.W. and P.H. Tyedmers.** Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada. *J. Cleaner Prod.*, **17**: 362–373 (2009).
- Bailey, C.** Human dimensions of an ecosystem approach to aquaculture. Em: FAO. Building an ecosystem approach to aquaculture. FAO/Universitat de les Illes Balears Expert Workshop. 7–11 Maio 2007, Palma de Mallorca, Espanha. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings 14. Roma, FAO 37–46 (2008).
- Berg, H., Michelsen, P., Troell, M., Folke, C., Kautsky, N.** Managing aquaculture for sustainability in tropical Lake Kariba, Zimbabwe. *Ecol. Econ.*, **18**:141–159 (1996).
- Bergquist, D.** 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 (2007).
- Boyd, C.E., C. Tucker, A. McNeven, K. Bostick and J. Clay.** Indicators of Resource Use Efficiency and Environmental Performance in Fish and Crustacean Aquaculture. *Rev. Fish. Sci.*, **15**: 327–360 (2007).
- Caffey R.H., R.F. Kazmierczak and J.W. Avault.** Developing Consensus Indicators of Sustainability for South-eastern United States Aquaculture. *Louisiana State University, Agricultural Center. Bulletin*, **879** 40 p. (2001).
- Casaca, J. M.** Policultivos de peixes integrados à produção vegetal: avaliação econômica e sócio-ambiental – PEIXE-VERDE / Jorge M. Casaca. – Jaboticabal, SP: [s.n.] (2008).
- Cavalett, O., J.F. de Queiroz and E. Ortega.** Energy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecol. Mod.*, **193**: 205–224 (2006).
- d'Orbcastel, E.R. J.-P. Blancheton and J. Aubin.** Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using Life Cycle Assessment. *Aquacult. Eng.*, **40**: 113–119 (2009).
- Dalsgaard, J.P.T., C. Lightfoot and B. Christensen.** Towards quantification of ecological sustainability in farming systems analysis. *Ecol. Eng.*, **4**: 181–189 (1995).
- Dalsgaard, J.P.T. and R.T. Oficial.** A Quantitative Approach for Assessing the Productive Performance and Ecological Contributions of Smallholder Farms. *Agr. Syst.*, **55**(4): 503–533 (1997).
- Dey, M.M., P. Kambewa, M. Prein, D. Jamu, F.J. Paraguas, D.E. Pemsł, R.M. Briones.** WorldFish Centre. Impact of the Development and Dissemination of Integrated Aquaculture–Agriculture Technologies in Malawi. In: Waibel, H. and D. Zilberman (Eds). International Research on Natural Resource Management. *FAO and CAB International* (2007).
- 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.
- Eler, M.N. and Millani, T.J.** Métodos de estudos de sustentabilidade aplicados a aquicultura. *R. Bras. Zootec.*, **36** (suplemento especial): 33–44 (2007).
- Ellingsen, H. and S.A. Aanondsen.** Environmental impacts of wild caught cod and farmed salmon — a comparison with chicken. *I. J. LCA*, **1** (1), 60–65 (2006).
- Ellingsen, H., J.O. Olaussen and I.B. Utne.** Environmental analysis of the Norwegian fishery and aquaculture industry—A preliminary study focusing on farmed salmon. *Mar. Policy*, **33**: 479–488 (2009).
- FAO.** Report of the *ad hoc* expert meeting on indicators and criteria of sustainable shrimp culture. *Fisheries Report*, 582. Rome, Italy, 28–30 April, 86 p. (1998).
- Folke, C., N. Kautsky, H. Berg, A. Jansson and Max Troell.** The Ecological Footprint Concept for Sustainable Seafood Production: A review. *Ecol. Appl.*, **8**(1): 563–571 (1998).
- González, O.H.A., L.F. Beltran, C. Cáceres-Martínez, H. Ramirez, S. Hernandez-Vázquez, E. Troyo-Diequez, A. Ortega-Rubio.** Sustainability Development Analysis of Semi-intensive Shrimp Farms in Sonora, Mexico. *Sust. Develop.*, **11**: 213–222 (2003).
- Gronroos, J., J. Seppala, F. Silvenius and T. Makinen.** Life cycle assessment of Finnish cultivated rainbow trout. *Boreal Environ. Res.*, **11**(5): 401–414 (2006).
- Gyllenhammar, A., L. Ha`kansson.** Environmental consequence analyses of fish farm emissions related to different scales and exemplified by data from the Baltic – a review. *Mar. Environ. Res.*, **60**:211–243 (2005).
- Kautsky, N., H. Berg, C. Folke, J. Larsson and M. Troell.** Ecological footprint for assessment of resource use and development limitations in shrimp and tilapia aquaculture. *Aquacult. Res.*, **28**: 753–766 (1997).
- Kruse, S.A., Flysjö, A., Kasperczyk, N., Scholz, A. J.** Socioeconomic indicators as a complement of life cycle assessment- an application to salmon production systems. *International Journal of Life Cycle Assessment*, **14**, 8–18 (2009).
- Larsson, J.C. Folke and N. Kautsky.** Ecological Limitations and appropriation of Ecosystem Support by Shrimp Farming in Colombia. *Environ. Manage.*, **18**(5): 663–676 (1994).
- Lightfoot, C., M. Prein, J.K. Ofori.** The potential impact of integrated agri-aquaculture systems on sustainable farming. Em: M. Prein, J.K. Ofori, C. Lightfoot (Eds). Research for the future development of aquaculture in Ghana. ICLARM Conf. Proc. pp. 51–56 (1996).
- Ministério da Pesca e Aquicultura (2008).** Acesso em: 06 de fevereiro de 2010. Disponível em: http://www.presidencia.gov.br/estrutura_presidencia/seap/
- Mungkung R.T.** Shrimp aquaculture in Thailand: application of life cycle assessment to support sustainable development. Ph.D. thesis. Center for Environmental Strategy, School of Engineering, University of Surrey, Surrey, UK (2005).
- Myrvang, M.** NTNU life cycle assessment of a marine farm co-located with a refinery M.Sc. thesis Programme: Industrial Ecology Dept: Energy and Process Engineering Faculty of Information Technology and Electrical Engineering Norwegian University of Science and Technology 56p (2006).
- Odum, H.T.** Emergy in ecosystems. In: Polunin, N. (Ed.), *Environmental Monographs and Symposia*, John Wiley, NY, pp. 337–369 (1986).
- Odum H.T.** Environmental Accounting. Emergy and Environmental Decision Making. *John Wiley & Sons*, New York (1996).
- Odum, H.T. and J. Arding.** Emergy Analysis of Shrimp Mariculture in Ecuador. *Narragansett, RI: Coastal Resources Center*, University of Rhode Island (1991).
- Odum, H.T., M.T. Brown, S.L. Brandt-Williams. Folio #1.** Introduction and Global Budget. Handbook of Emergy Evaluation. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville (2000).
- Ortega, E.** Análise emergética na aquíicultura: cultivo de bagre no Alabama. VII EnBraPOA Laguna, SC, 22 outubro 2004. Acesso em: 06 de fevereiro de 2010. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/>.
- Papatryphon, E., Perit, J., Kaushik, S.J., and van der Werf, H.M.G.** An evaluation of the environmental impacts of aquaculture feeds using Life Cycle Assessment (LCA). Proceedings from the International Conference Seafarming Today and Tomorrow, Aquaculture Europe 2002, **32** pp. 425–426 (2002).
- Papatryphon, E., J. Petit, H.M.G. Van der Werf and S. Kaushik, S.** Life Cycle Assessment of trout farming in France: a farm level approach. Life Cycle Assessment in the agrifood sector. *Proceedings from the 4th International Conference Dias Report*, **61** pp.71–77 (2003).
- Papatryphon, E., J. Petit, S.J. Kaushik and H.M.G. Van der Werf.** Environmental impact assessment of salmonids feeds using Life Cycle Assessment. *Ambio*, **33**: 316–323 (2004).
- Pelletier, N. and P. Tyedmers.** Feeding farmed salmon: is organic better? *Aquaculture*, **272**: 399–416 (2007).
- Pelletier, N. and P. Tyedmers.** Life Cycle Considerations for Improving Sustainability Assessments in Seafood Awareness Campaigns. *Environ. Manage.*, **42**: 918–931 (2008).
- Pelletier, N., N.W. Ayer, P.H. Tyedmers, S.A. Kruse, A. Flysjö, G. Robillard, F. Ziegler, A.J. Scholz and U. Sonesson.** Impact Categories for Life Cycle Assessment Research of Seafood Production Systems: Review and Prospectus. *Int. J. LCA*, **12** (6): 414–421 (2007).
- Pelletier, N., P. Tyedmers, U. Sonesson, A. Scholz, F. Ziegler, A. Flysjö, S. Kruse, B. Cancino and H. Silverman.** Not All Salmon Are Created Equal: Life Cycle Assessment (LCA) of Global Salmon Farming Systems. *Environ. Sci. Technol.*, **43**: 8730–8736 (2009).
- Pullin, R., R. Froese, D. Pauly.** Indicators for the sustainability of aquaculture. In: Bert, T.M. (Ed.). *Ecological and Genetic Implications of Aquaculture Activities*. Springer, 53–72 pp (2007).
- Rey-Valette, H., O. Clément, J. Aubin, S. Mathé, E. Chia, M. Legendre, D. Caruso, O. Mikolasek, J.P. Blancheton, J. Slembrouck, A. Baruthio, F. René, P. Levang, P. Morrisens and J. Lazard.** Guide to the Co-construction of Sustainable Development Indicators in Aquaculture. *EVAD*. Montpellier, 144 p. (2008).
- Seppälä, J., Silvenius, F., Grönroos, J., Mäkinen, T., Silvo, K. and Storhammar, E. 2002.** A life cycle assessment study of rainbow trout. Finnish Environmental Institute, Finnish Game and Fisheries Research Institute. University of Jyväskylä. p. 273 In: Abstracts of SETAC Europe 12th Annual Meeting during 12–16 May 2002. Vienna, Austria. apud Mungkung, 2005.
- Srituhla, P.** Environmental Life Cycle Assessment of Shrimp Production in Thailand: A case study in Ranong province. Master thesis. School of Environmental, Resources and Development, Asian Institute of Technology. (2001).
- Stevenson, J.R., X.T. Irz and P. Villarante.** 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 (2005).
- Tipraqsa, P., E.T. Craswell, A.D. NOBLE and D. Schmidt-Voigt.** Resource integration for multiple benefits: Multifunctionality of integrated farming systems in Northeast Thailand. *Agr. Syst.*, **94**: 694–703 (2007).
- UN.** Indicators of Sustainable Development. UN Department for Policy Coordination and Sustainable Development Division for Sustainable Development (1995).
- Valenti, W. C.** Aquicultura sustentável. In: Congresso de Zootecnia, 12º, Vila Real, Portugal, 2002, Vila Real: Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos. Anais...p. 111–118. (2002)
- Valenti, W. C.** A aquicultura Brasileira é sustentável? *Aquicultura & Pesca* **34**(4):36–44 (2008).
- Vassallo, P., S. Bastianoni, I. Beiso, R. Ridolfi and M. Fabiano.** Emergy analysis for the environmental sustainability of an inshore fish farming system. *Ecol. Indicators*, **7**: 290–298 (2007).
- Vassallo, P., I. Beiso, S. Bastianoni and M. Fabiano.** Dynamic emergy evaluation of a fish farm rearing process. *J. Environ. Manage.*, **90**: 2699–2708 (2009).
- Ziegler, F., P. Nilsson, B. Mattsson and Y. Walther.** Life Cycle Assessment of frozen cod fillets including fishery-specific environmental impacts. *I. J. LCA*, **8**(1): 39–47 (2003).
- Zuo, P., S.W. Wan, P. Qin, J. Du and H. Wang.** A comparison of the sustainability of original and constructed wetlands in Yancheng Biosphere Reserve, China: implications from emergy evaluation. *Environ. Sci. Policy*, **7**: 329–343 (2004).