

## **MEDINDO A SUSTENTABILIDADE NA AQUICULTURA**

*Janaina M. Kimpara<sup>1,2</sup>, Ariel D. Zadjband<sup>3</sup> e Wagner C. Valenti<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Centro de Aquicultura da UNESP - Jaboticabal. Departamento de Biologia Aplicada.*

<sup>2</sup>*Instituto Federal do Espírito Santo - Piúma, ES. (jmkimpara@gmail.com)*

<sup>3</sup>*Universidad de Buenos Aires - Argentina. Departamento de Producción Animal*

Atualmente há uma forte preocupação por parte da sociedade em se respeitar os preceitos da sustentabilidade nos sistemas, incluindo a produção de alimentos. No entanto, diversas são as definições para o termo sustentável, em decorrência de sua concepção sobre o grau de importância dado à economia e meio ambiente. Conseqüentemente, vários são os métodos elaborados e usados para avaliar a sustentabilidade. Alguns deles foram desenvolvidos exclusivamente para a aquicultura, enquanto outros são aplicações de métodos gerais em sistemas aquícolas. Apresentaremos aqui uma breve descrição dessas metodologias e suas aplicações nos sistemas de aquicultura.

### **Métodos para se medir a sustentabilidade**

#### *1. Análise emergética*

Foi desenvolvida primeiramente por Eugene Odum em 1986. Emergia significa a energia disponível de um tipo utilizada direta ou indiretamente para produzir um serviço ou produto, caracterizados em equivalentes de energia solar e expressos em joule. As avaliações ecológica e econômica baseiam-se na teoria dos fluxos energéticos dos sistemas ecológicos.

Para se proceder a uma análise emergética, é necessário primeiramente elaborar um diagrama de fluxos de energia (Figura 1), materiais e serviços com símbolos pré-definidos

[35]. Em seguida, os valores dos fluxos são convertidos em energia solar. Então, como os fluxos estão expressos na mesma unidade, é possível gerar índices, como transformidade, razão de investimento energético, razão de intercâmbio energético, entre outros. Os índices gerados serão a base para monitorar e avaliar sistemas e embasar discussões sobre sua sustentabilidade.

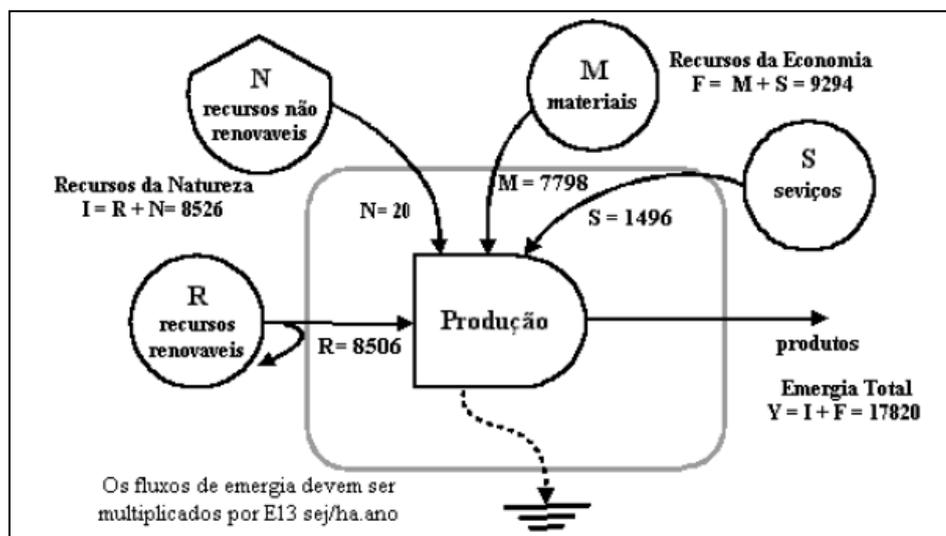


Figura 1. Diagrama de fluxo de energia agregado de um viveiro de produção de peixe (Cavalett, 2004).

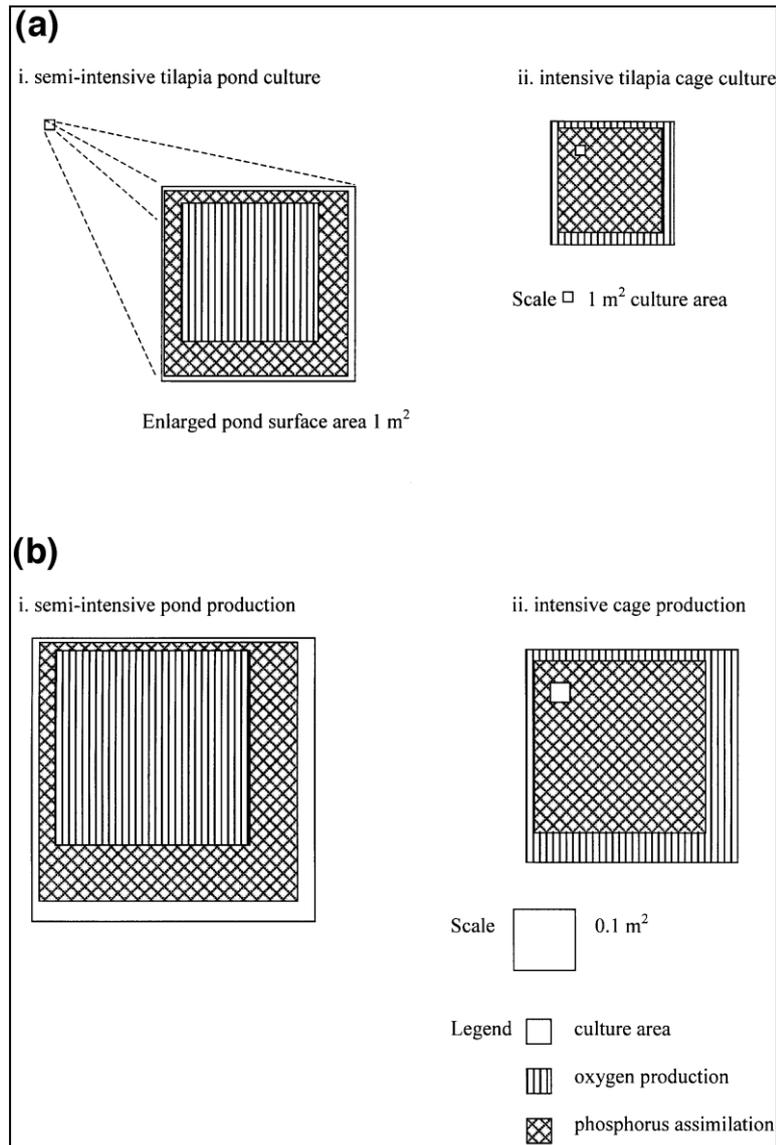
A análise emergética permite uma análise mais ampla que as análises econômicas convencionais, já que estas fixam o preço do produto como a somatória do custo da entrada de materiais e serviços + custos de oportunidade + lucro. Ao invés disso, a análise emergética, dentro de um contexto econômico biofísico, contabiliza também os serviços naturais e as externalidades do projeto, como a contribuição da natureza na produção dos recursos, a absorção de impactos ambientais, os custos de serviços médicos, com tratamento de resíduos e exclusão social. Chamam-se externalidades negativas de um projeto aqueles custos secundários que não são internalizados pelos projetos e geralmente são pagos pela sociedade adjacente. Entra aqui o uso de recursos naturais considerados como bens comuns, como a

água, todos os serviços ambientais para processar a poluição gerada, a ciclagem dos resíduos e possíveis impactos negativos nas atividades econômicas de populações locais. Por outro lado a aquicultura pode devolver água em melhores condições do que a que recebeu devido a captar água de ambientes poluídos por outras atividades. Nesse caso, considera-se como uma externalidade positiva. O uso da metodologia emergética na aquicultura podem ser encontrados em [11], [34], [36], [47], [48], [49].

## 2. Pegada ecológica

É definida como a área requerida para manter os padrões de consumo de uma determinada população (considerando-se uso de recursos e geração de resíduos). Assim como a análise emergética, o contexto é biofísico; a natureza é tida como finita e o crescimento sem limites é desacreditado. Além disso, de acordo com as perspectivas de fluxos de matéria e energia, o termo “exterior” não existe, já que a economia nada mais é que um subsistema da esfera.

Para se determinar a pegada ecológica de uma população específica, é necessário calcular o consumo médio anual de dados agregados, nacionais ou regionais, de uma população. O próximo passo é determinar ou estimar a área *per capita* para produzir cada um dos itens consumidos. A pegada ecológica média por pessoa é calculada pela soma das áreas de ecossistemas apropriadas por consumo de produtos e serviços. Ao final, a área total apropriada é obtida multiplicando-se a área média pelo tamanho da população. A pegada ecológica pode ser calculada para qualquer sistema de produção seguindo metodologia análoga a essa. A seguir, apresentamos uma representação gráfica resultante da aplicação do método da pegada ecológica em sistemas de cultivo de tilápias (Figura 2). Estudos que aplicaram a Pegada Ecológica na aquicultura são: [5], [21], [24], [25], [27], [41].



**Figura 2.** (a) Pegada Ecológica para o cultivo semi-intensivo em viveiro (i) e intensivo em tanque-rede (ii) de tilápia, *Tilapia rendalli* (Boulenger), *Oreochromis mossambicus* (Peters), *Oreochromis niloticus* (L.), de acordo com a metodologia usada por Berg et al. (1996). (b) Pegada ecológica reavaliada para cultivo semi-intensivo em viveiros (i) e cultivo intensivo em tanque-rede (ii) de 1 kg de tilápia com base à apropriação de serviços ecológicos por unidade de produção de biomassa (m<sup>2</sup> kg±1).

### 3. Análise do Ciclo de Vida

É um método padronizado desenvolvido para avaliar potenciais impactos 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.

A metodologia compreende quatro fases: definição dos objetivos e escopo, que determina a escala e os limites da análise; o inventário, que faz um rastreamento de todos os recursos necessários para a realização do projeto; análise de impactos, em que se analisa o impacto daquele produto sobre o ambiente (ex.: uso de energia, potencial de eutrofização, de acidificação, aquecimento global, uso de produção primária líquida); e a interpretação, em que os resultados dos impactos são avaliados. Até o presente, algumas das aplicações da Análise do Ciclo de Vida (ACV) na aquicultura são encontradas em: [2], [3], [4], [10], [12], [18], [23], [26], [28], [30], [31], [37], [38], [39], [42], [43]. Na Figura 3 apresentamos um exemplo gráfico resultante da aplicação da ACV para o processo de produção de dietas para a criação de salmão.

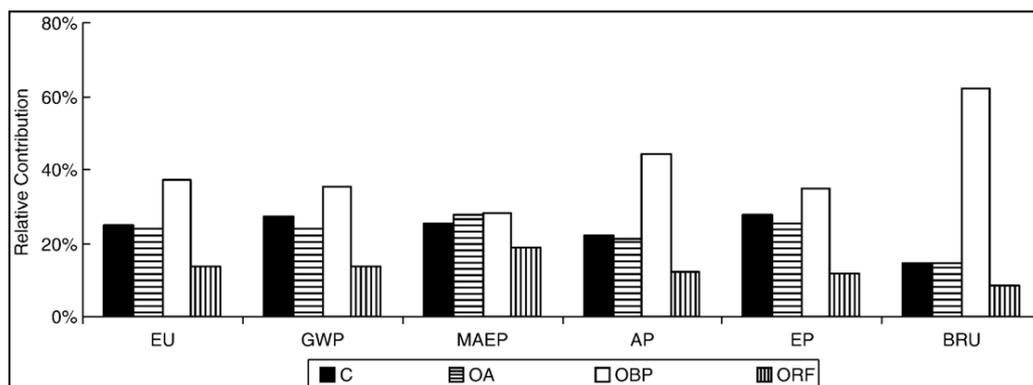


Figura 3. Análise comparativa para a produção de 1 tonelada de quatro tipos de alimento para salmão. EU = energia utilizada (MJ equiv.), GWP = potencial de aquecimento global (CO<sub>2</sub> equiv.), MAEP = potencial de eco toxicidade aquática marinha (1,4-DCB equiv.), AP = potencial de acidificação (SO<sub>2</sub> equiv.), EP = potencial de eutrofização (PO<sub>4</sub> equiv.), e BRU = uso de recurso biótico (carbono). C = alimento convencional, OA = ingredientes orgânicos vegetais/ farinhas e óleos animais convencionais, OBP = ingredientes orgânicos vegetais/farinhas e azeites de subprodutos da pesca, e ORF = ingredientes orgânicos vegetais/sem farinha de aves/25% da farinha de peixe substituída por farinha orgânica de soja/100% do óleo de peixe substituído com óleo de canola orgânico (Pelletier & Tyedmers, 2007).

#### *4. Análise da Resiliência*

É a capacidade do sistema de produção se manter frente às perturbações e modificações futuras na cadeia produtiva ou em qualquer elemento do cenário, em que a atividade está inserida. Devido às grandes incertezas que cercam os projetos de aquíicultura, uma alternativa é manter a capacidade do sistema de produção frente às perturbações futuras por meio da resiliência dos sistemas. No entanto, não temos ainda como medir a resiliência diretamente. Então ela geralmente é utilizada como um referencial teórico intimamente relacionado com a sustentabilidade. Um sistema resiliente não significa que seja estático ou imutável, mas que tenha a capacidade de se adaptar às mudanças nos cenários futuros. A aquíicultura tem o potencial de aumentar ou reduzir a resiliência das comunidades humanas. Adger [1] é o único autor que aplicou o conceito de resiliência na aquíicultura, em sistemas de carcinicultura no Vietnã.

#### *5. Conjuntos de indicadores*

Os indicadores representam uma ferramenta poderosa para reduzir a complexidade do entendimento do sistema, servindo em comparações, descrições de padrões gerais ou como valores de referência. Podem ainda ser usados individualmente ou na forma de um índice agregado, no qual as pontuações individuais são combinadas. Um grande número de indicadores tem sido desenvolvido para avaliar a sustentabilidade da aquíicultura. Estes geralmente são colocados nas dimensões ambiental, econômica e social. Os indicadores ecológicos estão principalmente preocupados por 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 fornecido). Os indicadores econômicos mais utilizados são a taxa interna de retorno, valor presente líquido e margem bruta. As externalidades deveriam ser incluídas no cálculo dos custos para a estimativa destes indicadores, mas geralmente não são devido a

dificuldades em sua estimativa e conversão em valores monetários. Finalmente, os indicadores sociais são muitas vezes ligados a questões como o emprego e a segurança alimentar [6], [7], [9], [13], [14], [15], [16],[20], [22], [29], [40], [44], [45], [46].

Uma das formas de representação gráfica dos resultados no uso dos indicadores de sustentabilidade é o diagrama teia de aranha, conforme exemplo a seguir (Figura 4). Os conjuntos de indicadores são o método de mensuração da sustentabilidade mais usado por órgãos governamentais. O Setor de Carcinicultura do Centro de Aquicultura da UNESP vem desenvolvendo um conjunto de indicadores para avaliar a sustentabilidade da aquicultura brasileira há vários anos. Os resultados preliminares podem ser vistos em [46]. Atualmente esses indicadores estão sendo discutidos no Ministério da Pesca e Aquicultura para serem implantados na avaliação dos empreendimentos em todo o Brasil.

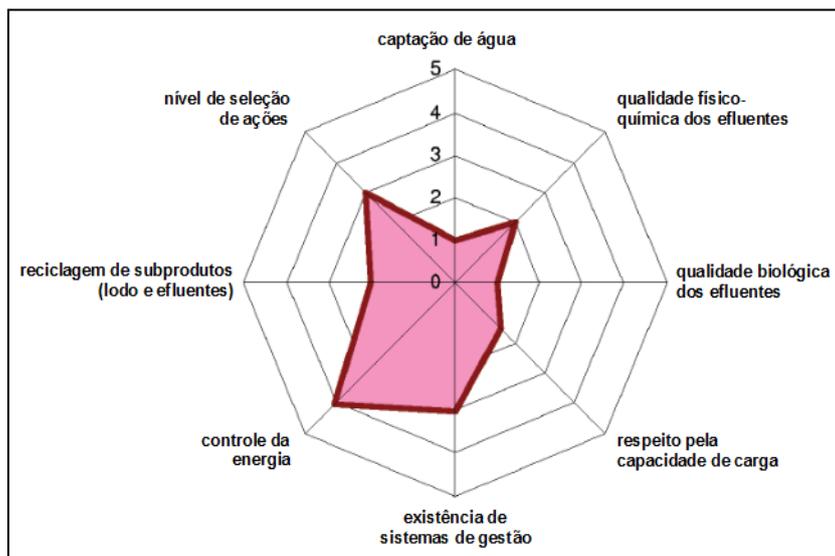


Figura 4. Resultados da avaliação da sustentabilidade ambiental da aquicultura, através de indicadores em sistemas de gaiolas no reservatório Cirata, Indonésia (Rey-Valette, 2008).

### **Considerações sobre a mensuração da sustentabilidade na aquicultura**

Existem vários métodos para se avaliar a sustentabilidade de sistemas. No entanto,

apesar da ampla divulgação sobre a necessidade de se operar sistemas sustentáveis e da existência de vários métodos de mensuração, ainda é evidente a reduzida aplicação dos mesmos em sistemas agropecuários, inclusive na aqüicultura.

Há divergências quanto ao conceito de sustentabilidade, e conseqüentemente nos métodos de sua mensuração. Isto dificulta ou impossibilita a comparação entre resultados obtidos em análises diversas. Como exemplo, temos que os métodos dos indicadores elaborados por Boyd [7] enfatizam a eficiência no uso dos recursos, desconsiderando a origem dos mesmos. Portanto, neste caso, a visão econômica convencional é predominante, os ganhos econômicos são de primeira importância e assume-se a possibilidade de substituição completa dos recursos naturais. Já na análise emergética, que segue os preceitos da economia biofísica, para ser sustentável, um sistema tem de apresentar características além do uso eficiente dos recursos, e que inclusive os recursos naturais não são bens perfeitamente substituíveis.

A avaliação dos sistemas como um todo é geralmente substituído pela avaliação fracionada das dimensões da sustentabilidade. Por exemplo, no sistema de indicadores, é ressaltada a fragmentação dos componentes ambientais, sociais, econômicos e institucionais. Este fato leva à idéia errônea de que a sustentabilidade é um processo mensurável estático e que pode ser estudado por partes, ignorando suas interações e dinamicidade.

Os métodos geralmente são idealizados e aplicados exclusivamente por pesquisadores. A natureza da linguagem e a complexidade das metodologias contribuem para este perfil. No entanto, é imprescindível que haja a participação de todos os atores do sistema, em todas as fases do processo de aprendizagem rumo à sustentabilidade. É importante que as pessoas se envolvam desde a escolha do método até a tomada de dados e avaliação dos resultados, e, principalmente, nas atitudes subseqüentes, que serão responsáveis pela incorporação dos resultados pela sociedade no processo de adaptação visando à sustentabilidade.

A sustentabilidade dos sistemas de produção ainda está muito longe de ser atingida. Atualmente, o que podemos fazer é introduzir processos, sistemas e práticas que são mais sustentáveis do que outros. Para isso é essencial medir a sustentabilidade dos sistemas, estabelecer metas factíveis de serem cumpridas e gerar ações para atingi-las. Estas devem ser reformuladas tão logo sejam atingidas, colocando-se limites mais ambiciosos. O aprendizado contínuo e participação de todos os atores envolvidos nas cadeias produtivas são requisitos essenciais do processo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1] Adger, N.W. 2000. Social and ecological resilience: are they related? *Progress in Human Geography*, 24 (3): 347–364.
- 2] 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(4), 1259–1268.
- 3] 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. *Journal of Cleaner Production*, 17, 354–361.
- 4] Ayer, N.W., Tyedmers, P.H., 2009. Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada. *Journal of Cleaner Production*, 17, 362–373.
- 5] Berg, H., Michelsen, P., Troell, M., Folke, C., Kautsky, N., 1996. Managing aquaculture for sustainability in tropical Lake Kariba, Zimbabwe. *Ecological Economics*, 18, 141-159
- 6] Bergquist, D., 2007. Sustainability and Local People's Participation in Coastal Aquaculture: Regional Differences and Historical Experiences in Sri Lanka and the Philippines. *Environmental Management*, 40, 787–802.
- 7] Boyd, C.E., Tucker, C., McNevin, A., Bostick, K., Clay, J., 2007. Indicators of

- Resource Use Efficiency and Environmental Performance in Fish and Crustacean Aquaculture. *Reviews in Fisheries Sciences*, 15, 327–360.
- 8] Brown, M.T., Ulgiati, S., 2004. Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*, 178, 201–213.
- 9] 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*, 879, 40 p.
- 10] Casaca, J. M., 2008. Policultivos de peixes integrados à produção vegetal: avaliação econômica e sócio-ambiental – PEIXE-VERDE / Jorge M. Casaca. – Jaboticabal, SP: [s.n.].
- 11] Cavalett, O., 2004. Análise emergética da piscicultura integrada à criação de suínos e de pesque-pagues / Otávio Cavalett. – Campinas, SP: [s.n.].
- 12] D'Orbcastel, E.R., Blancheton, J.P., Aubin, J., 2009. Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using Life Cycle Assessment. *Aquacultural Engineering*, 40, 113–119.
- 13] Dalsgaard, J.P.T., Lightfoot, C., Christensen, B., 1995. Towards quantification of ecological sustainability in farming systems analysis. *Ecological Engineering*, 4, 181-189.
- 14] Dalsgaard, J.P.T., Oficial, R.T., 1997. A Quantitative Approach for Assessing the Productive Performance and Ecological Contributions of Smallholder Farms. *Agricultural Systems*, 55(4), 503-533.
- 15] Dey, M.M., Kambewa, P., Prein, M., Jamu, D., Paraguas, F.J., Pems, D.E., Briones, R.M., 2007. 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*.
- 16] 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.
- 17] Eler, M.N., Millani, T.J., 2007. Métodos de estudos de sustentabilidade aplicados a aquicultura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36 (suplemento especial), 33-44.
- 18] Ellingsen, H., Aanonsen, S.A., 2006. Environmental impacts of wild caught cod and farmed salmon — a comparison with chicken. *International Journal of Life*

*Cycle Assessment*, 1 (1), 60–65.

- 19] Ellingsen, H., Olaussen, J.O., Utne, I.B., 2009. Environmental analysis of the Norwegian fishery and aquaculture industry—A preliminary study focusing on farmed salmon. *Marine Policy*, 33, 479–488.
- 20] FAO., 1998. 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.
- 21] Folke, C., Kautsky, N., Berg, H., Jansson, A., Troell, M., 1998. The Ecological Footprint Concept for Sustainable Seafood Production: A review. *Ecological Applications*, 8(1): 563-571.
- 22] Gonzalez, O.H.A., Beltrán, L. F., Cáceres-Martínez, C., Ramírez, H., Hernández-Vazquez, S., Troyo-Dieguez, E., Ortega-Rubio, A., 2003. Sustainability development analysis of semi-intensive shrimp farms in Sonora, México. *Sustainable Development*, 11, 213–222.
- 23] Gronroos, J., Seppala, J., Silvenius, F., Mäkinen, T., 2006. Life cycle assessment of Finnish cultivated rainbow trout. *Boreal Environment Research*, 11(5), 401–414.
- 24] Gyllenhammar, A, Hakanson, L., 2005. Environmental consequence analyses of fish farm emissions related to different scales and exemplified by data from the Baltic – a review. *Marine Environmental Research*, 60, 211-243.
- 25] Kautsky, N., Berg, H., Folke, C., Larsson, J., Troell, M., 1997. Ecological footprint for assessment of resource use and development limitations in shrimp and tilapia aquaculture. *Aquaculture Research*, 28: 753-766.
- 26] Kruse, S.A., Flysjö, A., Kasperczyk, N., Scholz, A. J., 2009. Socioeconomic indicators as a complement of life cycle assessment- an application to salmon production systems. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14, 8-18.
- 27] Larsson, J., Folke, C., Kautsky, N., 1994. Ecological Limitations and appropriation of Ecosystem Support by Shrimp Farming in Colombia. *Environmental Management*, 18(5), 663-676.
- 28] Lebel, L., Mungkung, R., Gheewala, S.H., Lebel, P., 2010. Innovation cycles, niches and sustainability in the shrimp aquaculture industry in Thailand. *Environmental Science & Policy*, 13, 291-302.
- 29] Lightfoot, C., Prein, M., Lopez, T., 1994. Bioresource flow modeling with farmers. *ILEIA Newsletter*, 10(3), 22-23.
- 30] Mungkung R.T., 2005. 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.
- 31] Myrvang, M., 2006. 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.
- 32] Odum, H.T., 1986. Emergy in ecosystems. In: Polunin, N. (Ed.), *Environmental Monographs and Symposia*, John Wiley, NY, pp. 337–369.
- 33] Odum H.T., 1996. *Environmental Accounting. Emergy and Environmental Decision Making*. John Wiley & Sons, New York.
- 34] Odum, H.T., Arding, J., 1991. *Emergy Analysis of Shrimp Mariculture in Ecuador. Narragansett, RI: Coastal Resources Center*, University of Rhode Island.
- 35] Odum, H.T., Brown, M.T., Brandt-Williams, S.L., 2000. Folio #1, Introduction and Global Budget. *Handbook of Emergy Evaluation*. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville.
- 36] Ortega, E., 2004. Análise emergética na aquicultura: cultivo de bagre no Alabama. VII EnBraPOA Laguna, SC, 22 outubro 2004. URL: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/>.
- 37] Papatryphon, E., Perit, J., Kaushik, S.J., van der Werf, H.M.G., 2002. 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.
- 38] Pelletier, N., Tyedmers, P., 2007. Feeding farmed salmon: is organic better? *Aquaculture*, 272, 399–416.
- 39] Pelletier, N., Tyedmers, P., Sonesson, U., Scholz, A., Ziegler, F., Flysjö, A., Kruse, S., Cancino, B., Silverman, H., 2009. Not All Salmon Are Created Equal: Life Cycle Assessment (LCA) of Global Salmon Farming Systems. *Environmental Science & Technology*, 43, 8730–8736.
- 40] Rey-Valette, H., Clément, O., Aubin, J., Mathé, S., Chia, E., Legendre, M., Caruso, D., Mikolasek, O., Blancheton, J.P., Slembrouck, J., Baruthio, A., René, F., Levang, P., Morrisens, P., Lazard, J., 2008. Guide to the Co-Construction of Sustainable Development Indicators in Aquaculture. *EVAD*. Montpellier, 144 p.
- 41] Rönnbäck, P., Troell, M., Zetterström, T., Babu, D.E., 2003. Mangrove dependence and socio-economic concerns in shrimp hatcheries of Andhra Pradesh, India. *Environ. Cons.*, 30 (4): 344–352.

- 42] Seppälä, J., Silvenius, F., Grönroos, J., Mäkinen, T., Silvo, K., Storhammar, E., 2002. A life cycle assessment study of rainbow trout. Finnish Environmental Institute, Finish 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.
- 43] Srituhla, P., 2001. 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.
- 44] 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 Phillipines. DFID Aquaculture and Fish Genetics Research Programme, University of Stirling, UK.
- 45] Tipraqsa, P., Craswell, E.T., NOBLE, A.D., Schmidt-Voigt, D., 2007. Resource integration for multiple benefits: Multifunctionality of integrated farming systems in Northeast Thailand. *Agricultural Systems*, 94: 694–703.
- 46] Valenti, W. C. 2008. A aqüicultura Brasileira é sustentável? *Aqüicultura & Pesca* 34(4): 36-44.
- 47] Vassallo, P., Bastianoni, S., Beiso, I., Ridolfi, R., Fabiano, M., 2007. Emergy analysis for the environmental sustainability of an inshore fish farming system. *Ecological Indicators*, 7, 290–298.
- 48] Vassallo, P., Beiso, I., Bastianoni, S., Fabiano, M., 2009. Dynamic emergy evaluation of a fish farm rearing process. *Jornal of Environmental Management*, 90, 2699–2708.
- 49] Zuo, P., Wan, S.W., Qin, P., Du, J., Wang, H., 2004. A comparison of the sustainability of original and constructed wetlands in Yancheng Biosphere Reserve, China: implications from emergy evaluation. *Environmental Science & Policy*, 7: 329–343.