

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA AMBIENTAL**

BRUNO MEIRELLES DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTEMICOS DA BAIA DO
ARAÇÁ (SÃO SEBASTIÃO – SP - BRASIL) ATRAVÉS DA
ANÁLISE EMERGÉTICA**

**SÃO PAULO
2016.**

BRUNO MEIRELLES DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTEMICOS DA BAIA DO ARAÇÁ (SÃO
SEBASTIÃO – SP - BRASIL) ATRAVÉS DA ANÁLISE EMERGÉTICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Ciência Ambiental da Universidade
de São Paulo para obtenção do título de Mestre em
Ciência Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Paulo A. A. Sinisgalli

VERSÃO CORRIGIDA

SÃO PAULO
2016.

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Meirelles, Bruno de O.

Avaliação dos serviços ecossistêmicos da baía do Araçá (São Sebastião – SP – Brasil) através da Análise Emergética; orientador: Paulo Antônio de Almeida Sinisgalli. São Paulo, 2016.
80f.:il.;30cm.

Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

1 – Serviços Ecossistêmicos; 2 – Análise Emergética; 3 – Gestão Ambiental; 4 – Baía do Araçá. I- Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Bruno Meirelles de Oliveira

Título: Avaliação dos serviços ecossistêmicos da baía do Araçá (São Sebastião – SP – Brasil) através da Análise Emergética

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciência Ambiental.
Área de concentração: Ciência Ambiental
Orientador: Prof. Dr. Paulo Antônio de Almeida. Sinisgalli

Aprovado em: __/__/____

Banca Examinadora

(Prof. Dr) _____ Instituição _____
(Julgamento) _____ Assinatura _____

(Prof. Dr) _____ Instituição _____
(Julgamento) _____ Assinatura _____

(Prof. Dr) _____ Instituição _____
(Julgamento) _____ Assinatura _____

(Prof. Dr) _____ Instituição _____
(Presidente) _____ Assinatura _____

Dedicado à Márcia.

*Overhead the albatross hangs motionless upon the air
And deep beneath the rolling waves in labyrinths of coral caves
The echo of a distant tide comes willowing across the sand
And everything is green and submarine*

*And no one show us to the land
And no one knows the "wheres" or "whys"
But something stares and something tries
And starts to climb towards the light*

*Strangers passing in the street
By chance two separate glances meet
And I am you and what I see is me
And do I take you by the hand
And lead you through the land
And help me understand the best I can
And no one calls us to move on
And no one forces down our eyes
And no one speaks
And no one tries
And no one flies around the sun*

*Cloudless every day you fall upon my waking eyes
inviting and Inciting me to rise
And through the window in the wall comes streaming in on
sunlight wings
A million bright ambassadors of morning
And no one sings me lullabies
And no one makes me close my eyes
So I throw the windows wide
And call to you across the sky*

(Echoes, Pink Floyd, 1970)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha irmã Ângela e minha mãe Mariza pelo apoio incondicional em toda minha vida, assim como a meu pai Wagner (póstumo).

Agradeço ao professor Paulo Sinisgalli que é muito mais que um orientador, e me permitiu seguir esse sonho de me tornar mestre. Foram também fundamentais para esse trabalho as colaborações da Dra. Maria Silvia Romitelli, assim como as revisões do professor Evandro Moretto. Especial agradecimento ao professor Roel Boumans de Vermont que participou desse projeto e serviu como inspiração de vida e de caminho na ciência. O mesmo se estende ao pessoal do ARIES de Bilbao, Ferdinando Villa, Brian Voyght e Ken Bagstad.

Agradeço ao pessoal envolvido no Biota Araçá, Cauê Carrilho e Felipe Nunes. Ao pessoal do Instituto Oceanográfico professor Dr. Alex Turra, Fernanda Terra, Luciana Xavier, Caiuá Peres, Natalia Grili e Cláudia dos Santos pelas colaborações e pela vivência no Araçá.

Especial agradecimento ao David Gilmour, Nick Mason, Richard Wright, Roger Waters e Syd Barret; O mesmo agradecimento se estende aos McCartney; Aos Osbourne, Iommy, Ward & Butler; aos Anderson. Howe, Squire, Wakeman & White; aos Hendrix; aos Morrison & Manzarek; aos Blackmore, Coverdale, Hugh & Morse; infinito agradecimento ao Page, Plant, Jones e Bonham; aos Scott, Johnson, Young & Young; aos Vedder; aos de la Rocha, Morello, Commedford & Wilk; aos Cornell; aos Peart, Lee & Lifeson; aos Cantrell & Staley; aos Clapton; aos Emerson, Lake & Palmer; aos Patton, Spruance, Bordin & Martin; ao Hancock; aos Anderson, Barre e toda a trupe; aos Mercury & May; aos Kiedis, Flea e Frusciante; aos Jagger, Richards, Wood & Watts; aos Townshend, Daltrey & Moon; ao Byron, Box e trupe; e finalmente ao McCarty, que criou a SG...

RESUMO

Meirelles, Bruno de O. **Avaliação dos Serviços Ecosistêmicos da Baía do Araçá (São Sebastião – SP – Brasil) através da análise Emergética.** 2016. 75f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental – Instituto de Energia e Ambiente. Universidade de São Paulo, São Paulo 2016.

As áreas costeiras vem sofrendo impactos crescentes em sua estrutura e capacidade de provisão de serviços ecossistêmicos, especialmente nas últimas décadas. A sociedade depende diretamente da provisão desses recursos, portanto seu gerenciamento se faz necessário. A baía do Araçá é uma pequena porção da zona costeira do litoral norte do estado de São Paulo que compartilha dessas pressões sobre a manutenção de sua capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos. Dentre as diversas pressões a que a região está sujeita, destaca-se a possibilidade de expansão do porto de São Sebastião. A análise emergética faz parte de um conjunto metodológico que busca analisar os serviços ecossistêmicos, de forma distinta da valoração econômica. Essa metodologia parte do enraizamento na energia solar como a origem de toda a riqueza. E usa como premissa que todos os produtos ou serviços são em alguma instância derivados desta fonte primária de energia – energia solar sobre a geobiosfera. A análise emergética busca medir essas contribuições solares sobre cada produto ou serviço através dois componentes: energia e Transformidade. Esta pesquisa se insere dentro do Projeto Temático Biota Araçá no módulo relativo à identificação e valoração dos serviços ecossistêmicos. E teve por objetivos realizar a análise emergética do local e testar a influência da expansão do Porto sobre seus indicadores. Os resultados mostram índices emergéticos melhores para a baía quando comparados ao seu entorno e especialmente quando comparados com a possível expansão do porto de São Sebastião. Em todos os índices analisados a expansão do porto é deletéria. As taxas de Investimento Emergético e de Retorno Emergético para o Araçá são maiores que em qualquer análise que considere o porto. A taxa de Renovabilidade do Araçá é bem maior quando comparado à região e também é maior quando comparada à expansão do porto. A Sustentabilidade da baía é maior quando comparada à região hoje e também com o cenário do porto.

Palavras chave: Serviços Ecosistêmicos; Análise Emergética; Valoração, Baía do Araçá.

ABSTRACT

Meirelles, Bruno de O. **Ecosystem Services assessment on Araça bay (São Sebastião – SP – Brazil) by means of Emergy Analysis**. 2016. 75f. Dissertation (Environmental Sciences Masters) – Post-Graduation Program on Environmental Sciences – Energy and Environment Institute. University of São Paulo. São Paulo, 2016.

Coastal areas have been suffering from several environmental impacts in their structure and ability to provide ecosystem services, especially in the last decades. Society depends upon these resources, though their management is necessary. Araça Bay is a small portion of the coastal zone of the northern shores of São Paulo State which shares these pressures to keep providing ecosystem services. Maybe the main pressure is the possibility of the expansion of the São Sebastião Harbor over the bay. Emergy Analysis is part of a gather of knowledge dedicated to create an alternative form of valuation opposed to strictly economic. This method tries to root on solar energy the origin of all wealth and uses it as premise that all goods and services are, in some instance, made of solar irradiation over the planet. Emergy analysis tries to measure these solar contributions on each good and service using Emergy and Transformity concepts. This analysis was made on the bay and your surroundings. The results shows better emergy indices for the bay when compared to the surroundings, especially when compared with the possibility of Harbor Expansion. This research is part of the thematic project Biota Araça in the model relative to identification and valuation of ecosystem services and had the objectives of creating the emergy analysis for the region and to analyse the harbor expansion through emergy index. The results shows better emergy index to the bay when compared to the surroundings and with the harbor expansion scenario. I all analysed index the harbor expansion is deleterious. Emergy Investment Ratio and Emergy Yield Ratio are higher for Araça when compared with harbor activity. Renewability for Araça is higher when compared to the region and much higher when compared to the harbor. Sustainability is higher for the bay when compared to the region an when compared to the harbor expansion the data are clearly in the favor of the bay.

Key-words: Ecosystem Services; Emergy Analysis. Emergy; Transformity. Araça Bay.

SUMÁRIO

1 - APRESENTAÇÃO.....	1
2 – INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	2
3- AREA DE ESTUDO	7
3.1 Possibilidades de expansão do Porto.....	9
4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
4.1 - A importância dos serviços ecossistêmicos	11
4.2 - A Economia Ecológica, os Serviços Ecossistêmicos, e suas relações com a Análise Emergética. ...	15
4.3 - Emergia e a verdadeira riqueza.	18
5. METODOLOGIA.....	22
5.1 – Simplificando o diagrama.....	22
5.2 - Tabela de avaliação Emergética.....	23
5.4 – Índices Emergéticos.....	24
6 – ECOLOGIA DE SISTEMAS	27
6.1 - Princípios e Leis da Termodinâmica.....	27
6.2 - Princípio da Máxima Potência (ou 4ª lei da termodinâmica).....	30
6.3 - A hierarquia da transformação de energia (5ª Lei da Termodinâmica).....	34
6.4 - Acoplamentos dos ciclos biogeoquímicos com as hierarquias de transformação de energia (6ª Lei da Termodinâmica).	36
6.5 - A teoria do sistema pulsante (<i>pulsing</i>):	37
6.6 - Outras Críticas ao método	40
7 – AVALIAÇÃO EMERGÉTICA DA BAÍA DO ARAÇÁ.....	42
7.1 – Resultados da Análise Emergética da Região.....	42
7.2 - Análise Emergética da Baía do Araçá.....	50
7.3 - O cenário do Porto.....	54
7.4 - Discussão sobre os resultados dos modelos.....	57
7.4.1 - Rendimento	57
7.4.2 - Taxa de Rendimento Emergético.....	57
7.4.3 - Taxa de Investimento de Emergia (EIR).....	58
7.4.4 - Carga Ambiental (ELR)	59
7.4.5 - Renovabilidade (%R).....	59
7.4.6 - Sustentabilidade (S):.....	59
8 - CONCLUSÃO	60
9 - REFERÊNCIAS	62

1 - APRESENTAÇÃO

A execução desse projeto de pesquisa teve por finalidade colaborar com os estudos do projeto temático da FAPESP intitulado: BIODIVERSIDADE E FUNCIONAMENTO DE UM ECOSISTEMA COSTEIRO SUBTROPICAL: SUBSIDIOS PARA A GESTÃO INTEGRADA, sob responsabilidade da Profa. Dra. Antônia Cecília Zacagnini Amaral.

O projeto temático visa desenvolver uma série de estudos em ecologia, estruturados em 12 módulos (1- Sistema Planctônico; 2- Sistema Nectônico; 3- Sistema Bentônico; 4- Sistema Manguezal; 5- Hidrodinâmica; 6- Dinâmica Sedimentar; 7- Interações Tróficas; 8- Diagnóstico Pesqueiro; 9- Identificação e Valoração dos Serviços Ecossistêmicos; 10-Gestão Integrada; 11- Modelagem Ecológica e 12 – Gerenciamento e organização de dados e metadados espaciais) em uma área da costa do estado de São Paulo, no município de São Sebastião: a baía do Araçá.

Esse projeto está integrado com o módulo nove (Identificação e Valoração dos Serviços Ecossistêmicos), sob coordenação do Prof. Dr. Paulo Antônio de Almeida Sinisgalli, e contribuiu com os seguintes objetivos específicos do projeto temático:

- 1) Avaliar o papel da Baía do Araçá usando a metodologia de Análise Emergética para compreender sua integração com a faixa litorânea a qual pertence;
- 2) Construir modelo econômico e ecológico como etapa integradora dos resultados obtidos, disponibilizando uma ferramenta de trabalho objetiva para tomada de decisões no âmbito de uma política de proteção, recuperação e uso sustentável desse e de outros ecossistemas sujeitos à mesma pressão.

Esta pesquisa procurou estruturar uma abordagem distinta da avaliação econômica dos serviços ecossistêmicos. A busca em compreender os conceitos básicos de H.T Odum foi um desafio, uma vez que são poucos pesquisadores no Brasil que trabalham com esta temática. Acrescido a este fato, a linguagem hermética dos textos relacionados à Ecologia de Sistemas foi uma outra barreira a ser enfrentada. Estes desafios geraram uma necessidade a mais de energia na compreensão da abordagem e foram motivados tendo em vista o quanto poderia contribuir para projeto científico tão importante para a região.

2 – INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Historicamente, a sociedade tem se mostrado bastante competente em sua relação com a natureza, em termos de submissão desta última aos papéis de fornecedora de recursos e absorvedora de rejeitos. No último século, essa competência fica evidente ao observarmos o crescimento vertiginoso de indicadores como o tamanho da população, que cresceu quatro vezes, e da economia, que cresceu dezessete vezes (BROWN & FLAVIN, 1999).

Esse crescimento ocorreu sem que houvesse a contrapartida de conservação e gerenciamento da natureza, que se espera afim de que os recursos sejam desfrutados por múltiplas gerações e que a capacidade de absorção dos rejeitos não seja excedida, trazendo consequências e deterioração da qualidade ambiental. Muito pelo contrário:

Nos últimos 50 anos, o homem modificou os ecossistemas mais rápida e extensivamente que em qualquer intervalo de tempo equivalente na história da humanidade, na maioria das vezes para suprir rapidamente a crescente demanda por alimentos, água potável, madeira, fibras e combustível. Isso acarretou uma perda substancial e, em grande medida, irreversível, para a diversidade da vida no planeta. (MEA, 2005)

Esqueceu-se que o sistema econômico e a sociedade se apoiam na natureza e dela dependem para seu florescimento. Como disseram Veiga e Cechin (2010): “o individualismo metodológico da teoria econômica ignora sistematicamente a natureza hierárquica dos sistemas sociais e ecológicos”. E ignorando seus limites no sistema terrestre finito, o sistema econômico continua a crescer. Visando compreender esses limites dos ecossistemas perante a influência humana Rockstrom et al. (2009) dedicaram seu trabalho a analisar sistemas socioecológicos e seus resultados corroboraram as possíveis consequências catastróficas da experiência humana previstas no MEA (2005), impulsionando a demanda por informações científicas relevantes à tomada de decisões.

O fato é que a sociedade depende do provimento de serviços ecossistêmicos para sua existência (MEA, 2005; COSTANZA et al., 1997; DAILY, 1997; BEAUMONT, 2007; ROCKSTROM et al., 2009; COSTANZA et al., 2014, BOUMANS et al., 2015) e esses serviços correm o risco de não estarem disponíveis para a próxima geração: “Recent trends raise disturbing questions about the extent to which today’s people may be living at the expense of their descendents, casting doubt upon the cherished goal that each successive generation will have greater prosperity” (DAILY, 1997).

O conceito de Serviços Ecossistêmicos está em desenvolvimento (FISHER et al. 2009), e portanto diversas definições estão presentes na literatura (e.g. LAMARQUE et al. 2010). Uma revisão aprofundada do conceito está presente em Fisher et al. (2009) e Gómez-Baggethun et al. (2010). Entende-se no entanto, que Serviços Ecossistêmicos sejam:

As condições e processos através dos quais os ecossistemas naturais e as espécies que o compõe sustentam e satisfazem a vida humana (DAILY, 1997) (tradução do autor).

Os benefícios que as populações humanas obtêm, direta ou indiretamente, das funções dos ecossistemas (COSTANZA et al. 1997) (tradução do autor).

The provision of goods, basic life-support services, and human enjoyment of nature (Balvanera et al, 2001).

Os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas (MEA, 2005) (tradução do autor).

A atenção de alguns setores da sociedade aos serviços ecossistêmicos vem crescendo. Para Houdet et al. (2011), as atividades empresariais possuem o papel principal na perda da biodiversidade. Em algumas organizações há uma pressão crescente de seus *stakeholders* para mitigarem seus impactos negativos ao ambiente. Grigg et al. (2009) resumem em três categorias os riscos aos quais as empresas estão sujeitas – riscos operacionais, regulatórios e reputacionais. No mesmo trabalho (op. cit.), esses autores afirmam que a degradação dos serviços ecossistêmicos como a provisão de água doce, regulação do clima e fertilidade do solo tem implicações claras na viabilidade em longo prazo de negócios que dependam desses recursos, em especial aqueles que possuem cadeia agrícola de fornecedores.

Essa atenção dos setores econômicos com a provisão de serviços ecossistêmicos levanta certa preocupação devido à sua invariável visão reducionista da natureza, restringida apenas aos seus aspectos econômicos. Essa preocupação se insere no contexto desse trabalho, pois se busca justamente proporcionar um contraponto à valoração econômica dos serviços ecossistêmicos. Considera-se que certa forma de mercantilização da natureza e especificamente dos serviços ecossistêmicos já está acontecendo, tendo em vista os diversos sistemas de pagamento por serviços ambientais em operação e o seu embasamento metodológico (MATZDORF, 2014; WUNDER, 2005; WUNDER et al., 2009). Não obstante, há mobilização de grandes setores econômicos em relação ao tema, ao menos no sentido de avaliar seus custos e benefícios

(e.g. WORLD BANK, 2004; TEEB, 2010). Dessa forma, uma abordagem com “outros olhos” sobre esses serviços se faz oportuna.

A valoração dos serviços ecossistêmicos pode se tornar uma ferramenta útil para a preservação e conservação dos recursos naturais. Costanza (1997) ainda defende que “todas as decisões que tomamos [...em relação aos serviços ecossistêmicos] enquanto sociedade, implicam em avaliações desses serviços, ainda que não sejam puramente econômicas”. Com relação à avaliação dos serviços ecossistêmicos, Jacobi e Sinisgalli (2012, pag ??) afirmam:

Sob o ponto de vista de mercantilização da natureza, a ausência de referência econômica dos recursos e serviços ecossistêmicos é um fator que contribui ainda mais para sua degradação. Por outro lado, uma abordagem meramente econômica não consegue captar todo o universo de valores.

Esta pesquisa então se insere nesse contexto de avaliação dos serviços ecossistêmicos, mas se propõe a utilizar metodologia diferente que aquela da valoração econômica.

A Análise Emergética (ODUM, 1971, 1994, 1996, 2007; ODUM & ODUM, 2011; CAMPBELL & LU, 2009; BROWN & MCCLANAHAN, 1996; BROWN & ULGIATTI, 2004; BROWN et al., 2006; BROWN, CAMPBELL & NUMBER, 2007) vem trazer outra perspectiva para a consideração dos serviços ecossistêmicos na tomada de decisão. Dessa forma, foi analisada a baía do Araçá sob outros aspectos que não econômicos, e relevantes ao seu gerenciamento, inclusive sob a possibilidade de expansão do porto de São Sebastião sobre a área da baía.

A valoração, que embasa a análise emergética, direciona para o fluxo energético (emergético, mais precisamente) a medida de toda a riqueza, e postula que o sol é a sua origem. Assim, em uma cadeia de transformações energéticas, certa quantidade de energia de um tipo é transformada em quantidade menor de energia de outro tipo, porém com qualidade diferente, formando o que H. T. Odum (1971, 1988, 1996) chamou de hierarquia energética. Em uma hierarquia energética, quanto mais longe da fonte, maior o valor.

De Groot et al. (2002) acreditam que exista três formas de se fazer valoração dos serviços ecossistêmicos, econômica, sociocultural e ecológica. Se adotarmos esse direcionamento, a análise emergética representa o ramo ecológico da valoração.

Assim, essa pesquisa se pautou pela seguinte pergunta de pesquisa: A avaliação emergética consegue dar valores ecossistêmicos à Baía do Araçá - SP e pode contribuir para a sua gestão?

Para auxiliar a construção dos objetivos de pesquisa, algumas hipóteses foram levantadas:

- A avaliação emergética pode avaliar o ecossistema sob outros aspectos relevantes?
- Os índices de Renovabilidade ou Sustentabilidade do Araçá são melhores sem o porto?
- A avaliação emergética pode fornecer subsídios às políticas de conservação e uso da baía do Araçá - SP.

E assim, o objetivo dessa pesquisa foi de realizar a análise emergética da baía do Araçá, atuando como uma abordagem de valoração ecológica dos serviços ecossistêmicos. Analisar os serviços ecossistêmicos encontrados na baía sob a perspectiva que o Araçá está inserido em um sistema, e que possui relações internas e externas que podem ser medidas e ainda que essas informações podem ser úteis para a tomada de decisões quanto ao gerenciamento integrado dessa baía em relação a região.

Vale lembrar, apesar de não ser o objeto dessa pesquisa, que a área do Araçá está sob a ameaça de expansão do porto de São Sebastião situado junto à baía. Entre os diversos projetos para essa expansão, o que foi autorizado pelo Ibama através de Licença de Instalação e foi posteriormente revogada por ação do ministério público, previa a cobertura de aproximadamente um terço da superfície da baía com uma laje apoiada sobre pilstras de concreto. Assim, uma pequena parte do modelo emergético criado para a área irá analisar como se comportaria o sistema Araçá em um possível cenário de expansão do porto.

Esse trabalho então está estruturado da seguinte forma: inicia-se com uma descrição da área de estudo, mostrando sua localização e um pouco dos problemas enfrentados na região. O próximo tópico irá tratar dos serviços ecossistêmicos, trazendo alguns aspectos da problemática em seus referenciais teóricos, sua importância para a Economia Ecológica e para a Análise Emergética e por fim irá apresentar a ideia de verdadeira riqueza do H.T. Odum.

O capítulo de metodologia irá descrever as etapas da avaliação emergética. Suas teorias subjacentes serão discutidas no item seguinte, Ecologia de Sistemas. A análise emergética da Baía do Araçá é tratada em um tópico único com as tabelas e gráficos da análise emergética, os demonstrativos dos cálculos realizados e a discussão dos índices. A dissertação se encerra com um item que busca trazer as conclusões desse trabalho e

sua participação no projeto maior ao qual se insere, seguido das referências bibliográficas usadas no texto.

3- AREA DE ESTUDO

A baía do Araçá (Figura 1) fica localizada no município de São Sebastião, litoral do Estado de São Paulo. Segundo Amaral et al. (2010) essa área: “é o último testemunho existente preservado das áreas de manguezal no trecho entre Bertioga e Ubatuba, visto que o manguezal da planície do Juqueriquere, na enseada de Caraguatatuba, foi dizimado pela ocupação antrópica da enseada”.



Figura 1: Mapa do Litoral norte do Estado de São Paulo. Em destaque os municípios do Litoral norte. A seta aponta para o canal de São Sebastião.

Fonte: Amaral et al. (2010)

Essa pequena baía é derivada do canal de São Sebastião. Esse canal possui aproximadamente 25 quilômetros de comprimento, e compreende uma feição continental e a outra formada pela ilha de São Sebastião, onde fica o município de Ilha Bela. O canal possui largura variável de 2 a 7 quilômetros, sendo a porção central a mais estreita. Sua profundidade varia de pouco mais de um metro (no Araçá) a alguns metros nas porções costeiras mais próximas aos costões rochosos e praias do lado continental e insular. As maiores profundidades chegam a 30 ou 50 metros e ficam ligeiramente deslocadas do centro do canal no sentido insular (GUBITOSO et al., 2008). A circulação de água ocorre predominantemente em sentido norte, com maiores velocidades nas proximidades do lado insular.

O Araçá fica localizado no flanco continental do canal. É uma área que já sofreu impactos antrópicos diversos desde antes da construção da rodovia Rio-Santos

A área da baía já passou por diversas alterações ao longo de seu histórico de ocupação. A construção do porto ocupou grande área onde era a baía, e hoje algumas pessoas nem mais reconhecem a área portuária como pertencente ao Araçá (observação própria).

A companhia ambiental do estado de São Paulo autorizou a instalação de um emissário de esgotamento sanitário que atravessa o Araçá em sua diagonal – de noroeste a sudeste - e deságua na ponta do Araçá, no limite do canal de São Sebastião (GUBITOSO et al., 2008). Conforme a cidade foi crescendo, essa área foi ficando sem muitos cuidados pelas autoridades locais, e em alguns pontos é utilizada por marginalizados sociais para uso de drogas e outras atividades ilícitas (observação própria).

O Araçá é uma área com biodiversidade ímpar e o projeto temático (FAPESP ARAÇÁ) conseguiu levantar diversas novas espécies de organismos marinhos além de listar centenas de espécies que ocorrem na baía em algum período do ciclo de vida, se reproduzem lá ou apenas visitam para alimentação.

Esta análise mostrou que a baía do Araçá possui índices emergéticos melhores que a região de entorno. O índice de sustentabilidade é maior nessa baía, quando comparado regionalmente e quando comparado com o cenário de expansão do Porto.

3.1 Possibilidades de expansão do Porto

Apesar de suas características naturais e do interesse que desperta no meio acadêmico, a baía do Araçá está ameaçada. Além do crescimento dos bairros em seu entorno e do aumento de população na região como um todo (IBGE, 2015), parte da baía ainda pode ser incorporada ao Porto de São Sebastião.

O processo de licenciamento da expansão do Porto se arrasta há mais de uma década (DOCAS, 2011). Desde então muito se discutiu sobre a viabilidade ambiental do empreendimento e sobre suas concepções de projeto. A companhia DOCAS apresentou diversas alternativas de métodos construtivos e de área de cobertura para expansão sobre o Araçá (figura 3).

Essas alternativas são (ibid.):

- Alternativa 1: Aterro de todo o Araçá.

- Alternativa 2: Aterro de 85% da área, deixando um pequeno canal para os pescadores.
- Alternativa 3: Aterro de 80% da área e prolongamento do canal para os pescadores
- Alternativa 4: Laje de concreto sobre 75% da área.

Todas as alternativas deverão trazer impactos severos a região e colocam o Araçá sob estado de alerta com relação ao seu futuro.

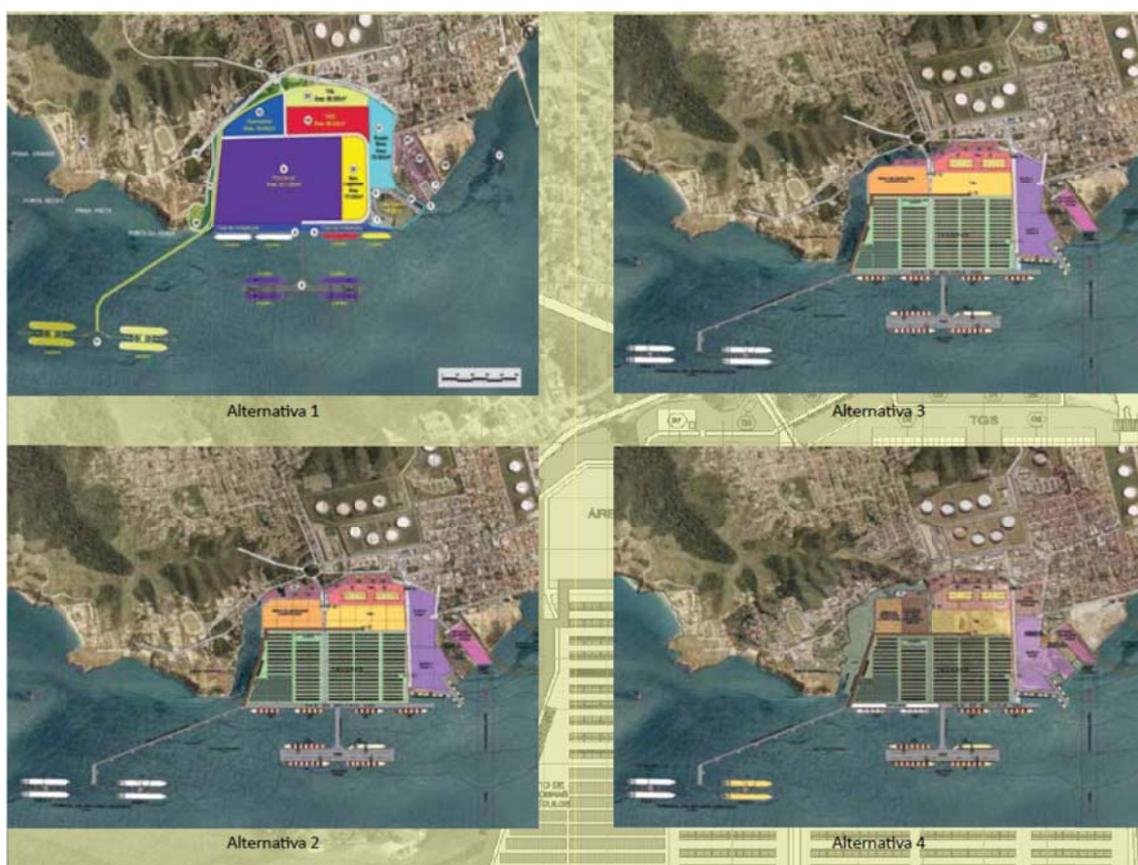


Figura 3: Demonstrativo das alternativas de expansão do porto sobre a baía.
 Fonte: Docas (2011)

A expansão do porto foi tratada nesse trabalho como uma possibilidade real e portanto uma parte da análise emergética foi dedicada a esse cenário. Como iremos verificar mais a frente, o crescimento do porto sobre a baía piora muito os indicadores emergéticos, e irá diminuir sensivelmente a sustentabilidade da baía.

4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este trabalho se insere dentro do contexto de avaliação dos serviços ecossistêmicos. Dessa forma, iremos mostrar a importância desses serviços para a sociedade e a evolução das tipologias de classificação, tomadas como reflexo da evolução do próprio conhecimento acerca do tema. Como a valoração dos serviços ecossistêmicos historicamente se construiu em um contexto teórico das ciências econômicas (Daly e Farley, 2004), faremos uma breve passagem pela Economia Ecológica para mostrar suas relações com a análise emergética e por fim iremos para os trabalhos de H.T. Odum.

4.1 - A importância dos serviços ecossistêmicos

O MEA (2005) trás um alarme expressivo em relação às condições dos ecossistemas globais, por exemplo, declarando que 60% dos serviços ecossistêmicos estão degradados ou sobre explorados. Esse relatório mostra ao menos quatro mudanças nos ecossistemas, atribuídas a pressões humanas, que estão afetando a produção e/ou entrega de serviços ecossistêmicos:

- Nos últimos 50 anos os homens tem mudado os ecossistemas de forma mais rápida e mais intensa que em qualquer período da história e tem causado perdas substanciais, e em parte irreversíveis, para a biodiversidade;
- Essas mudanças nos ecossistemas contribuíram para o bem estar humano e para o desenvolvimento econômico, mas esses ganhos foram obtidos a um custo crescente e com a crescente degradação da provisão dos serviços ecossistêmicos, aumento dos riscos de mudanças não-lineares nos sistemas terrestres, e aumento da pobreza em alguns casos. Se esses problemas não forem resolvidos, haverá redução substancial na provisão de serviços ecossistêmicos para as próximas gerações;
- A degradação dos serviços ecossistêmicos pode ser pior no primeiro quarto desse século e agir como uma barreira para o êxito das metas de Desenvolvimento do Milênio da ONU;
- Os desafios de reverter a degradação e, ao mesmo tempo, prover os bens e serviços que a sociedade precisa podem ser parcialmente resolvidos em alguns

cenários, quando considera-se mudanças significativas nas políticas, instituições e práticas, entretanto essas mudanças não estão ocorrendo até o momento.

Rockstrom et al. (2009) corrobora essa visão alarmista e demonstra que a sociedade já ultrapassou alguns limites planetários, ao menos em termos de perda de Biodiversidade, mudanças climáticas e em relação à interferência humana no ciclo do nitrogênio.

A maior parte da população humana vive em zonas costeiras e historicamente essas áreas vem sendo manejadas para prover bens e serviços que a sociedade precisa, incluindo alimento, terras aráveis e áreas de abrigo e recreação (LIQUETE et al., 2013; PALUMBI et al., 2009).

Nas últimas décadas a ocupação humana vem aumentando os impactos negativos nas zonas costeiras e marinhas, quase exaurindo os recursos naturais e sobrecarregando localmente a capacidade natural de depuração de esgoto humano (WORM, 2006). Os abrigos em águas rasas, a reprodução dos peixes e a biota saudável são alguns dos aspectos que vem sendo alterados em função do relacionamento muitas vezes degradante entre a sociedade e a natureza. Os retornos decrescentes na pesca em todo o planeta nas últimas décadas é um indicativo desse desequilíbrio com os recursos costeiros e marinhos (ibid.)

A demonstração que os oceanos contribuem com mais de 60% do valor total da Biosfera, o que equivalia a 21 trilhões de dólares por ano (COSTANZA et al., 1997 para o dólar com valor de 1994), tinha como objetivo colocar a conservação dos oceanos na agenda dos tomadores de decisão, como se todos os serviços ecossistêmicos que os oceanos proporcionam não fossem suficientes para mostrar a sua importância.

Em um estudo abrangente Liquete et al (2013) mostra que os estudos e metodologias relativos aos serviços ecossistêmicos são ainda menos abundantes para ecossistemas marinhos e costeiros, quando comparados com ecossistemas terrestres. Esse estudo (op. cit.) ainda mostra que o principal serviço estudado é a provisão de peixe e que os outros (e.g. regulação climática, tratamento de esgotos, etc) ainda são fracamente compreendidos e estudados.

Essa importância exacerbada para os oceanos apenas como provedores de recursos pesqueiros traz diversas consequências indesejadas, mesmo nos meios acadêmicos. Worm (2006), por exemplo, alertou para a erosão dos recursos pesqueiros em sua abundância e biodiversidade. Diversos autores (MURAWSKI et al., 2007; PALUMBI et al., 2009) concordam que além da pesca, a biodiversidade é fundamental

para a manutenção dos ecossistemas costeiros e proporcionar serviços ecossistêmicos complexos que não poderiam ser substituídos na ausência dessa biodiversidade.

Um dos principais autores que estruturaram uma tipologia de avaliação para os serviços ecossistêmicos foram De Groot et al. (2002). Há contribuições importantes de outros autores (PEARCE, 1993; COSTANZA et al., 1997; DAILY, 1997; ODUM, 1996, DE GROOT et al, 2012; COSTANZA et al., 2014), mas os primeiros conseguiram categorizar os serviços ecossistêmicos e suas formas de valoração.

Para esses autores (DE GROOT et al., 2002), bens e serviços ecossistêmicos são produtos de estruturas e processos do ecossistema, fornecidos através de funções ecossistêmicas. As estruturas e processos naturais são, portanto, arranjadas em funções. E essas funções proveem os serviços:

the first step towards a comprehensive assessment of ecosystem goods and services involves the translation of ecological complexity (structures and processes) into a more limited number of ecosystem functions. These functions, in turn, provide the goods and services that are valued by humans. (DE GROOT et al., 2002)

Isso significa que as estruturas e processos da natureza são compostos por elementos naturais (nas esferas física e biológicas) e trabalham através da interação dessas partes, dentro das restrições impostas pelas leis da natureza. Dessa forma, serviços ecossistêmicos podem ser vistos como um tipo de propriedade emergente dessas estruturas e processos basais. E ainda de acordo com esses autores (op. cit.) podem ser classificadas em quatro categorias:

Funções de regulação: relacionadas a capacidade do ecossistema de regular processos ecológicos essenciais e então prover suporte à vida. Alguns exemplos são: ar e água limpos, solos produtivos, controle biológico de pragas;

Funções de Habitat: é o provisionamento de refúgios e habitat para animais se reproduzirem e se desenvolverem;

Funções de produção: é a capacidade da natureza de criar carboidratos e seus derivados mais complexos afim de promover e desenvolver as cadeias alimentares. Essa função cria os alimentos para a sociedade (agricultura, pesca, pecuária, etc);

Funções de informação: é a capacidade de prover o espaço para introspecção, apreciação da paisagem e provisão de enriquecimento espiritual ou recreação através da “wonderful experience of being in contact with Nature” (DE GROOT et al., 2002).

É importante ressaltar que esta classificação proporcionou uma estruturação no tema, porém passível de outras. Nesta pesquisa não entraremos profundamente na

discussão sobre serviços ecossistêmicos, uma vez que não é foco do mesmo, mas trataremos uma breve explanação sobre o assunto.

Um segundo trabalho que atingiu o mainstream acadêmico foi o *Millenium Ecosystem ACESSMENT* (2005). Essa publicação levou quatro anos para ser feita e contou com a participação de 2000 cientistas e revisores em todo mundo. A classificação dos Serviços Ecossistêmicos presente no MEA segue as mesmas ideias de de Groot et al. (2002), entretanto com algumas diferenças que podem ser elencadas:

O MEA (2005) classifica serviços ecossistêmicos, não funções ecossistêmicas como de Groot et al. (2002);

Funções de Habitat agora são tratados como serviços de Suporte e são a camada basal para o desenvolvimento dos outros três (Provisão, Regulação e Serviços Culturais).

Costanza et al. (1997) já havia alertado que a classificação dos serviços ecossistêmicos é uma aproximação e que o pesquisador deve sempre procurar um conceito conveniente ao trabalho que será realizado:

Ecosystem functions refer variously to the habitat, biological or system properties or processes of ecosystems. Ecosystem goods (such as food) and services (such as waste assimilation) represent the benefits human populations derive, directly or indirectly, from ecosystem functions. For simplicity, we will refer to ecosystem goods and services together as ecosystem services. (COSTANZA et al. 1997)

Daily (1997) também usa uma visão mais generalista e considera serviços ecossistêmicos como as condições e processos dos ecossistemas naturais incluindo o suporte a biodiversidade e a satisfação da vida humana.

Assumindo que nem a Economia, tampouco a Ecologia alcançaram consenso sobre a delimitação precisa dos Serviços Ecossistêmicos, Bhoyd & Bhanzaf (2007) fizeram uma revisão, e concluíram que uma vez que os termos não estavam bem definidos, seu uso para propósitos de contabilidade estaria limitado.

Este autores (op. cit.) propuseram portanto um novo conceito, focado mais na Economia, que declara que os benefícios que a sociedade recebe da natureza devem ser chamados serviços ecossistêmicos finais, e que funções e processos (e qualquer outra coisa que aconteça por trás desses serviços finais) devem ser chamados de serviços ecossistêmicos intermediários, e concluem, não devem ser levados em consideração.

Esta proposta de Bhoyd & Bhanzaf (2007) está em análise pelo SEEA (Sistema de contabilidade Econômica e Ambiental Integrada), uma proposta da ONU para propor

as diretrizes necessárias à Economia e para traduzir os valores da Ecologia na contabilidade (Boumans comunicação pessoal).

Gómez-Baggethun e de Groot (2010) postulam que o debate sobre uma classificação prática sobre o assunto ainda está em andamento, e propõem uma visão geral que pode auxiliar na discussão.

A solução encontrada por esses autores (op. cit.) e um suposto consenso sobre Serviços Ecosistêmicos é definida através da visão de uma cascata: “cascade going from the ecosystem properties *via* functions, to services which provide benefits and values”. O novo quadro dessa cascata inclui quatro níveis de análise:

- Primeiro Nível: formado por todos os processos e componentes naturais (estrutura e função dos componentes ecológicos)
- Segundo Nível: Funções Ecosistêmicas, tomadas como um subgrupo dos processos ecológicos que são “directly involved in the underpinning of ecosystem services” (GÓMEZ-BAGGETHUN e DE GROOT, 2010);
- Terceiro Nível: Serviços Ecosistêmicos que são ativamente e diretamente usados ou consumidos pela sociedade;
- Quarto Nível: Benefícios (com valores), tidos como o impacto dos serviços ecosistêmicos no bem-estar conforme percebidos pelos seres humanos.

Apesar dessas pequenas diferenças, o mais importante nesse momento é conhecer as discussões que vem se construindo ao redor do tema. Infelizmente H. T. Odum não participou diretamente desta discussão, entretanto sua abordagem sistêmica dos fluxos de matéria e energia estruturados em processos ecológicos possuem uma forte relação com a discussão sobre funções e serviços ecosistêmicos, o que é a base da análise emergética.

Na visão de H.T. Odum a sociedade obtém seu bem estar graças a um conjunto de sistemas auto organizados, que modificam matéria e energia (trabalham) de forma eficiente e regulada, e de certa forma permitem participação humana (inclusive com inclusão de capital) fornecendo portanto produtos e serviços.

4.2 - A Economia Ecológica, os Serviços Ecosistêmicos, e suas relações com a Análise Emergética.

Existe essencialmente duas abordagens econômicas que tratam das questões ambientais, a Economia Ambiental e a Economia Ecológica (ANDRADE, 2013; COSTANZA, 1994, 2007; DALY & FARLEY, 2004; MARTINEZ-ALIER ET AL, 1998).

As diferenças que separam essas abordagens, está na visão simplista, por parte da Economia Ambiental, que alega que o “capital natural pode ser substituído infinitamente pelo capital material (feito pelo homem)”. Essa última vertente vê as relações entre natureza e capital como um ciclo que pode funcionar indefinidamente, não havendo limites de recursos naturais, energia e tempo de regeneração dos recursos naturais renováveis. Também não percebe que existe uma série de fatores que não podem ser repostos, como os recursos não renováveis, e as perdas de biodiversidade (FARLEY, comunicação pessoal).

Essas colocações devem ser somadas àquelas que subsidiam os conceitos de sustentabilidade forte e fraca como referenciado por Neumayer (2000). Segundo o autor (op. cit.), a sustentabilidade fraca é um conceito que visualiza o câmbio entre capitais dentro de uma função de produção. Baseado na economia neoclássica, esse paradigma de sustentabilidade enxerga como possível a substituíbilidade entre o capital natural e o capital construído pelo homem.

Em oposição a esse entendimento teórico, a Economia Ecológica busca obter sua conceituação nos pressupostos da sustentabilidade forte. A sua argumentação se enraíza na renúncia do pressuposto da substituíbilidade entre capital natural e construído (NEUMAYER, op.cit.).

Dessa forma a Economia Ecológica é um campo de estudo “transdisciplinar que se dirige às relações entre os ecossistemas e os sistemas econômicos em seu sentido mais amplo” (COSTANZA, 1994).

Para a Economia Ecológica, existe a preocupação de medir as contribuições do ambiente para os sistemas econômicos. A ideia é que o sistema econômico não pode crescer infinitamente dentro de um sistema terrestre finito. A economia ecológica teve seu surgimento enquanto agenda de pesquisa na década de 60 com os trabalhos de Kenneth Boulding, Georgescu-Roegen, Herman Daly entre outros (CECHIN, 2008), apesar o termo Economia Ecológica ainda não usado à época.

Uma das formas de se medir as contribuições do ambiente para o sistema econômico é medir as contribuições de energia. Essa ideia parte da premissa que todo

sistema econômico, em última análise, é um sistema sujeito às leis da física. O principal autor a defender essa ideia foi Georgescu-Roegen (Orientador de Herman Daly).

Em seu seminal trabalho de 1971 “The entropy law and the economic process” Georgescu-Roegen incorpora a segunda lei da termodinâmica (Lei da Entropia) aos processos econômicos. Este autor (op. cit.) conclui que a Economia é um processo termodinâmico, que transforma materiais de baixa entropia em materiais de alta entropia e conseqüentemente deteriora a base material em que está estabelecida de forma irreversível (criando entropia), e portanto possui um sentido no tempo, sendo impedida de funcionar indefinidamente.

Colaboram com essa análise os ensinamentos de Sinisgalli (2006) ao analisar os estudos que integram os sistemas naturais ao sistema econômico. O autor (op. cit.) nos ensina que a economia ecológica procura analisar o funcionamento do sistema econômico, baseada em pressupostos físicos e biológicos. Suas observações são baseadas na definição de economia ecológica e demonstram que as relações entre o processo econômico e as leis da física podem ser reduzidas à noção de “sentido único”. Este é representado pela entrada de recursos naturais, que são transformados com o uso de energia, e pela saída de produtos, gerando rejeitos e calor (aumento da entropia).

Se assumirmos que os fatores ambientais fazem parte inseparável do processo econômico, podemos medir sua participação na criação de produtos ou serviços. Como veremos mais a frente, H. T. Odum propôs a utilização da quantidade de energia de cada produto ou serviço como unidade de medida de seu valor, incorporando a teoria de sistemas como ferramenta de análise.

Segundo Sinisgalli (op. cit.):

A metodologia denominada Ecologia de Sistemas pode ser considerada uma linha de pesquisa vinculada à Economia Ecológica que, através de uma conceituação própria, procura valorar os recursos naturais, buscando uma forma de integração entre a ecologia e a economia.

Esse arcabouço teórico da Ecologia de Sistemas se importa, portanto, em proporcionar meios para medir as fontes naturais de energia, assim como os processos necessários para formar os recursos ambientais disponíveis para a economia, como, por exemplo, o sol, a chuva, o vento, a formação de solo, a fotossíntese e o movimento das marés (Serviços Ecológicos). A análise emergética, portanto, é considerada como uma forma de avaliar produtos ou serviços, de forma diferente da valoração econômica.

Em seu estudo de caso sobre a valoração e conservação da bacia dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo, Andrade e colaboradores (2013) corroboram a necessidade de valoração

dos serviços ecossistêmicos, e reiteram a importância de valoração complementar à puramente econômica:

Considera-se que os benefícios provenientes dos ecossistemas possuem – em sua maioria – atributos de bens públicos, o que inviabiliza sua alocação eficiente via mercado e sistema de preços, resultando no que é conhecido pelo jargão econômico como “falhas de mercado”. (ANDRADE, 2013)

Portanto, pode-se utilizar a energia como linha de base comum para se compreender e medir os processos econômicos e ecológicos que ocorrem em determinado ecossistema. Nesse contexto usa-se a metodologia emergética para se analisar os fluxos de energia, materiais e capitais em um ecossistema e, em termos de índices emergéticos, avaliar ambientalmente a sustentabilidade do sistema.

4.3 - Emergia e a verdadeira riqueza.

Food, shelter, clothing, fuels, minerals, forests, fisheries, land, buildings, art, music and information are real wealth. Money by itself is not. (ODUM & ODUM, 2001).

Talvez a proposta mais interessante na teoria de H.T. Odum sobre ecologia de sistemas seja sua teoria do valor, ou *real wealth*. Para o autor (ODUM, 1971, 1988, 1995, 1996, 2007, ODUM & ODUM, 2001) a verdadeira riqueza não está no dinheiro. O dinheiro e os mercados são apenas medidas de quanto as pessoas estão dispostas a pagar por um produto ou serviço, mas não mede realmente o valor desse produto ou serviço. Apesar de ser bastante útil na escala de espaço e tempo das sociedades humanas, o dinheiro não consegue representar as quantidades de trabalho realizadas em outras escalas (ambiental ou geológica) apropriadamente.

Dessa forma, o autor propõe que o verdadeiro valor de um produto ou serviço seja medido pela quantidade de energia que o universo (e eventualmente a sociedade) investiu na formação desse produto ou serviço, ou seja: eMergia.

Se a verdadeira riqueza (*real wealth*) então foi produzida e mantida pelo trabalho da natureza, às vezes contando com alguma colaboração humana (ODUM, 1996, 2007), o dinheiro não pode medir seu valor, conhecidas suas dificuldades em medir contribuições da natureza. Assim, a melhor forma de se medir o valor de algum produto ou serviço é medir essa contribuição da natureza, e eventualmente da sociedade, que estão incorporadas no produto.

Energia é, portanto, a quantidade de energia que foi dispendida na criação de um produto ou serviço. Energia é: “the available energy of one kind previously used up directly and indirectly to make a service or a product. Its unit is the emjoule” (ODUM, 1995, 1996, LE CORRE & TRUFFET, 2012; ODUM & ODUM, 2001).

Nas palavras de Brown and Ulgiatti (2004) “Emergy is the availability of energy (exergy) of one kind that is used up in transformations directly and indirectly to make a product or service”.

Considerando as diferentes qualidades da energia, e, portanto suas diferentes habilidades de realizar trabalho, surge um problema de padronização das unidades de medida. Energia, portanto, não pode ser medida em calorias, joules ou outras unidades comuns à energia. H.T. Odum (1996) então propõe que toda emergy seja medida em unidades de energia solar equivalente, necessárias para gerar aquele produto ou serviço. Assim, toda a riqueza deve ser medida em emergy solares (solar emjoule – abreviado sej).

A quantidade de energia necessária para criar um produto é a emergy. Cada produto ou serviço então, precisou de uma certa quantidade de energia solar, transformada ao longo das cadeias alimentares, forças geológicas ou quaisquer outras estruturas ou mecanismos naturais ou construídos pelo homem, para existir. Para facilitar o cálculo dessa relação entre a energia dispendida pela natureza e da emergy contida no produto, H.T. Odum criou o conceito de Transformidade.

Transformidade é a quantidade de Emergy (medidas em sej) necessárias para formar um joule de um produto ou serviço. Segundo Odum (1996): “a solar emergy required to make one joule of a service or product. Its unity is solar emjoule per joule (sej/J). A product’s solar transformity is its solar emergy divided by its energy”. Ou como colocado por Brown and Ulgiatti (2004): “Transformity, defined as the emergy input per unit of available energy (exergy) output”.

Quanto mais transformações energéticas (trabalho) forem necessárias para criar um produto ou serviço, maior será sua transformidade. Isso acontece porque em cada transformação, uma certa quantidade de energia é perdida, para formar um produto com maior conteúdo emergético (e menor conteúdo energético). Se observarmos então uma cadeia de transformações, a emergy sempre cresce, enquanto a energia sempre diminui, portanto, a relação emergy/energia cresce abruptamente (ODUM, 1996).

Dinheiro e emergy podem ser relacionados. Ao calcularmos o Produto Interno Bruto de um país, estamos medindo em termos de dinheiro, tudo aquilo que foi

produzido durante um ano, atualmente relacionado com a geração de riqueza. Quando calculamos o uso total de recursos de um país, utilizados para produzir a riqueza, e medimos em termos de energia, temos o consumo energético anual (ODUM E ODUM, 2001). O fluxo dessas duas grandezas ocorre em sentido inverso, ou seja, quando o dinheiro entra no sistema, as verdadeiras riquezas (recursos, produtos ou serviços) saíram (ODUM, 1996). Se dividirmos o consumo energético pelo dinheiro do PIB, temos a relação energia/dinheiro (sej/\$).

Essa relação entre dinheiro e energia, é controversa. O valor do PIB de um país não representa todas as formas de riqueza e não dimensionam todas as contribuições de sua base em recursos naturais, e portanto seu significado se empobrece (Sinisgalli, comunicação pessoal).

Apesar de controversa, pode ser muito útil pois em uma transação, ela relaciona o valor percebido (dinheiro) com a contribuição real daquela transação para a economia (ODUM, 1996). Como o valor em dinheiro de determinado recurso geralmente depende de outros fatores, não só do recurso (oferta e procura), é difícil saber se em uma transação o agente econômico está realmente ganhando ou perdendo. Quando transformamos a medida dessa relação econômica em medida energética, podemos ter outras formas de perceber as transações.

Em diversos estudos realizados usando a energia como métrica para comércio internacional fica evidente que o país que exporta commodities, invariavelmente perde energia. Ou seja, o dinheiro que entra em troca do produto carrega valor inferior ao produto que foi exportado. Segundo H.T. Odum (1994, 1996, ODUM E ODUM, 2001) isso ocorre porque o trabalho humano tem maior transformidade que os recursos naturais. Sendo assim, um país mais urbanizado, com PIB decorrente de produtos e serviços beneficiados e acabados (de tecnologia por exemplo) sempre leva vantagem em transações econômicas quando compra produtos brutos, ou recursos naturais diretos (como metais, petróleo e derivados, alimentos, etc). Conforme H.T. Odum (1994) “Market values are inverse to real wealth contributions from environment and cannot be used to evaluate environmental contributions or environmental impact”.

De acordo com Brown e Ulgiatti (2004) esse conjunto metodológico proposto por H.T. Odum pode colaborar com os estudos de ecologia, economia e conservação, pois:

- Investigam sistemas que estão fora das atividades humanas (e.g ecossistemas e processos globais da biosfera);

- São focados no papel do ecossistema em dar suporte à atividade humana em ambos os lados (como fonte de recurso e absorção de rejeitos);

- Realizam uma avaliação do ponto de vista da oferta de recursos (energia), como um complemento à frequente avaliação do lado do usuário (dinheiro) e isso proporciona uma medida de quanto o sistema depende do suporte da natureza.

5. METODOLOGIA

Esse tópico irá mostrar o protocolo de cálculo da análise emergética. A ecologia de sistemas, ou seu embasamento teórico, será discutida mais profundamente no próximo item, e por fim virá a aplicação da metodologia na análise da baía.

A metodologia que será descrita nesse item é um agregado de diversas técnicas e propostas feitas por H.T. Odum ao longo de sua carreira, mas especificamente orientada pela *Emergy Accounting* (Odum, 1996). O Método de análise emergética considera as fontes de energia externas ao sistema estudado (renováveis e não-renováveis), que interagem dentro do sistema em seus processos internos. Ao mesmo tempo são incorporadas grandezas do sistema econômico, como a emergia dos materiais e serviços, resultando no balanço final de emergia do sistema.

O procedimento se inicia com a criação do diagrama emergético. Esse primeiro diagrama procura inventariar todos os fatores que podem influir sobre o problema que será estudado mais adiante. Funciona mais como um inventário, e mais ao longo do estudo ele será simplificado, reduzindo algumas variáveis e agregando outras para facilitar a análise. Essa parte pode ser feita de maneira colaborativa, se for do interesse do trabalho.

Para criação do diagrama, os seguintes passos devem ser seguidos:

1 – a definição de fronteiras para a “janela de atenção” que se pretende estudar. Isso irá separar os componentes e processos internos ao sistema, daquelas influências externas ao sistema;

2 – Fazer uma listagem das fontes emergéticas (causas externas, fatores externos e forçantes) que podem ter influência no comportamento do sistema;

3 – Fazer uma listagem dos principais componentes internos ao sistema e unidades que são consideradas importantes, considerando a escala definida para o sistema;

4 – Listar os processos (fluxos, relações, interações, produção e consumo). Nesse item devem ser incluídas também os fluxos financeiros;

5 – desenhar o diagrama do sistema, começando pelas fontes externas em ordem decrescente de Transformidade.

5.1 – Simplificando o diagrama

O primeiro diagrama geralmente possui diversas interações e muitas fontes, o que dificulta a análise e comparação com outros trabalhos e cenários. Dessa forma, se o recorte espacial que está sendo modelado é de uma região, organismos microscópicos ou reações químicas podem facilmente ser agregados sem descaracterizar o estudo.

O mesmo ocorre temporalmente. Geralmente se usa um ano específico para o diagrama emergético. Como uma fotografia do sistema para aquele ano. Assim, componentes de duração muito inferior a esta escala de tempo (evento de algumas horas, por exemplo), podem ser suprimidos da análise.

A agregação deve ser feita de modo a reduzir as interações do sistema, permitindo a construção de uma tabela emergética concisa. H.T. Odum (1996) recomenda que os seguintes fluxos sejam mantidos:

- a) Fluxos que mostrem contribuições externas significantes ao sistema (entradas do meio ambiente, combustíveis, minerais, dinheiro, produtos e serviços)
- b) Armazenamentos (*storages*) que são grandes o suficiente para funcionar como recursos não renováveis no período que o modelo está sendo construído (1 ano).
- c) Fluxos que possam ser alterados em função do problema que está sendo considerado
- d) Fluxos de especial interesse em função do problema que está sendo considerado.

5.2 - Tabela de avaliação Emergética

A tabela de avaliação emergética serve para avaliar cada fluxo que está representado no diagrama emergético, em termos de sua contribuição ao sistema estudado. O padrão dessa tabela é que tenha seis colunas, conforme cabeçalho da tabela1:

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6
Nota	Item	Dados (J, g, \$)	Transformidade (sej/unidade)	Energia (sej/ano)	Emdolar (\$/ano)

Tabela1: Demonstrativo das colunas em uma tabela emergética.
Fonte: Elaboração própria.

- Coluna 1: representa o número da linha. Toda tabela emergética deve vir com rodapé demonstrando os cálculos realizados. Esse número da linha então, serve de guia para localizar o leitor.
- Coluna 2: é a descrição do componente que está sendo avaliado (ex: Luz do sol, camarão, produção de ferro, etc)
- Coluna 3: Dados. Essa coluna deve conter o valor dos dados no sistema que está sendo modelado, seguido de sua unidade. Aqui estará representado a quantidade de trabalho realizado por determinado grupo do sistema, quantidade de energia solar, quantidade de minério de ferro etc.
- Coluna 4: Transformidade. A transformidade é um coeficiente que traduz a quantidade de energia que está presente naquele tipo de item que está sendo estudado (luz solar, água, minério de ferro, etc) A transformidade é o valor que, multiplicado pela contribuição do item (dado da coluna 3) irá fornecer a contribuição emergética (coluna 5) do item.
- Coluna 5: Energia. É o resultado da multiplicação do fluxo medido para o sistema (coluna 3) pela sua respectiva transformidade. Esse resultado é um indicador do fluxo emergético dentro do sistema que está sendo modelado.
- Coluna 6: Dólar. É a medida em unidades financeiras, onde o dólar é o padrão, daquele fluxo emergético que está representado. É obtida pela divisão do fluxo emergético calculado na coluna 5 pela taxa nacional (para aquele país, para aquele ano), da relação energia/dólar.

5.4 – Índices Emergéticos

A avaliação emergética é realizada através de uma série de índices, como Transformidade, Eficiência Emergética, Renovabilidade, Carga Ambiental e Sustentabilidade. São esses indicadores que devem ser usados para comparação entre dois sistemas, ou entre dois períodos do mesmo sistema, ou mesmo como ferramenta para subsidiar a tomada de decisão.

A figura 4 demonstra quais são os estoques e entradas utilizadas no cálculo dos índices emergéticos. As entradas de fontes renováveis (R) e não renováveis (N) são incorporadas pelo sistema estudado na manutenção das funções e produção de serviços ecossistêmicos (I). Parte desses serviços possui uso econômico, ao qual ainda serão

incorporados outros tipos de capitais originados da própria economia (feedback da economia – F). A somatória dos recursos da economia (F) com os recursos originados na natureza (I) fornece o retorno do sistema (Yield – Y).

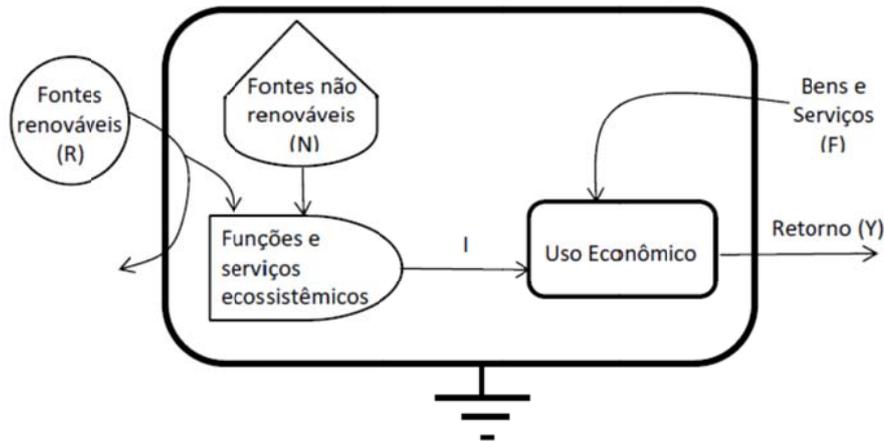


Figura 4: Diagrama mostrando as entradas para cálculo dos índices emergéticos
 Fonte: Modificado de ODUM e ARDING (1991)

Os fatores renováveis (R) são entendidos como fontes de matéria e energia que possuem natureza renovável e que são inseridos no sistema, interagindo com outros fatores [renováveis (R) ou não (N)] através das funções e serviços ecossistêmicos. Essas funções podem ter uso econômico, e nesse caso, bens e Serviços da Economia (F) são incorporados a esses serviços e fornecem um Retorno (Y) para a economia do país.

Eficiência Emergética (EYR): medida da contribuição emergética total do sistema frente aos recursos provenientes da economia. Portanto indica o grau de eficiência e da regeneração natural do processo analisado. É adimensional e medida pela fórmula: $EYR = Y/F$, onde F representa os recursos emergéticos da economia.

Taxa de Investimento de Energia (EIR): é a razão entre a contribuição da economia ou Energia total dos recursos econômicos, que requerem dinheiro para sua aquisição, e a contribuição dos recursos naturais, quase sempre gratuitos. Este índice representa o investimento de materiais e de serviços da sociedade para produzir um bem, em relação à contribuição da natureza para essa produção. Pode ser visto, também, como o grau de dependência do sistema em relação aos recursos econômicos utilizados, *versus* os naturais. É adimensional e é calculado pela fórmula: $EIR = F/I$, onde F representa a energia do sistema econômico e I representa os *inputs* de energia do sistema natural. I ainda pode ser dividido em energia dos recursos renováveis (R) e energia dos recursos não-renováveis (N).

Carga Ambiental (ELR): é a proporção da Emergia dos recursos não-renováveis e os da Economia em relação à Emergia dos renováveis. É calculada pela divisão do somatório da Emergia dos recursos não renováveis e dos obtidos da economia pela Emergia dos recursos renováveis. É adimensional e calculada pela fórmula: $ELR=(N+F)/R$

Renovabilidade (%R): indica a porcentagem de Emergia utilizada no sistema que advém de recursos renováveis. Os sistemas com alto valor percentual de renovabilidade são menos dependentes da economia e de recursos não renováveis. Portanto esse índice expressa a razão de emergia renovável usada em relação a emergia total consumida do sistema. É adimensional e calculada pela formula: $\%R=R/Y.100\%$.

Sustentabilidade (S): expressa a eficiência emergética do processo analisado em relação à sua carga ambiental. A sustentabilidade do sistema é diretamente proporcional à eficiência emergética e indiretamente proporcional à carga ambiental. É adimensional, e calculado com a formula: $S=EYR/ELR$.

6 – ECOLOGIA DE SISTEMAS

Este capítulo faz a revisão dos trabalhos de H.T. Odum sobre a Ecologia de Sistemas e suas implicações nas leis termodinâmicas.

As teorias do H.T. Odum não ficaram restritas ao desenvolvimento do método de análise emergética. Suas proposições são mais profundas e pretender inculcar na Ecologia de Sistemas novos pressupostos com relação às leis da termodinâmica. Também fazem parte do seu conjunto teórico, alguns princípios que serão discutidos mais adiante.

6.1 - Princípios e Leis da Termodinâmica

Beginning in the last century man began to develop an entirely new basis for power with the use of coal, oil, and other stored-energy sources to supplement solar energy. Concentrated inputs of power whose accumulation had been the work of billions of acres of solar energy, became available for manipulation by man. (ODUM, 1971).

As teorias do H.T. Odum sobre o comportamento da energia e dos sistemas não são convencionais. Ele mesmo assume que levou em torno de 20 anos para que suas ideias fossem aceitas (TILEY, 2004).

Em sua essência, baseia-se no conceito de sistemas. O conceito de sistemas é muito antigo e seu surgimento ocorreu provavelmente com os filósofos gregos alguns séculos antes de Cristo (VON BERTALLANFY, 1972). Desde então o estudo da teoria dos sistemas atravessou diversas épocas e paradigmas (SKYTTNER, 2006) para chegar ao que hoje é comumente aceito, proposto por von Bertalanfy (1972): “a set of interrelated elements that interact with each other and with the environment external to the system”.

Vamos adotar a sugestão de Odum & Odum (2001) e admitir que sistemas são partes do universo sobre as quais iremos debruçar nossa atenção. Esses sistemas são compostos por matéria e energia, são regidos por leis e são neles que se desenvolvem a vida biológica e a sociedade. Sobre o comportamento dos sistemas, Odum & Odum (*op. cit.*) nos ensinam que estes contêm estruturas, transformações e retroalimentações. Para representar essas características, ele adotou diversos símbolos que conseguiram resumir os elementos mais comuns da geobiosfera (Tabela 2):

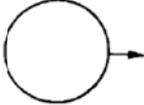
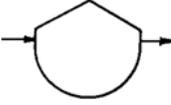
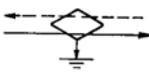
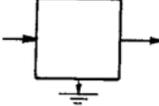
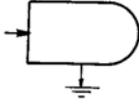
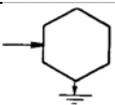
	FLUXO: Mostra um caminho ou fluxo de energia no sistema. Se for pontilhado e ligado ao dreno de entropia, mostra o fluxo de energia indisponível ao sistema.
	FONTE EXTERNA DE ENERGIA: Entrega um fluxo de energia com origem externa ao sistema
	DRENO DE ENTROPIA: mostra a saída de energia indisponível do sistema, após realizar trabalho
	TANQUE OU ARMAZENAMENTO DE ENERGIA: guarda e entrega fluxos energéticos.
	TRANSAÇÃO ENERGIA-DINHEIRO: mostra fluxo de energia sendo trocado por um fluxo de dinheiro
	CAIXA DE USO GERAL: Serve para delimitar seu sistema ou algum subsistema de interesse.
	UNIDADE PRODUTORA: Mostra um organismo ou conjunto de organismos que transformam energia solar em energia química.
	UNIDADE CONSUMIDORA: Mostra um organismo ou conjunto de organismos que consomem energia.

Tabela 2: Simbologia criada por Odum para criação dos diagramas emergéticos.
Fonte: elaboração própria.

Em seu comportamento, todos os sistemas transformam energia de uma forma em outra, produzindo trabalho. Para fazer isso, o sistema deve ter uma fonte de energia disponível que, após realizado o trabalho, será degradada a uma forma indisponível de energia que não é mais capaz de realizar trabalho novamente (entropia), processo regido pela segunda lei da termodinâmica. Para que haja mais trabalho é necessário, portanto que haja mais energia disponível. (ODUM, 1996)

Em toda a sua teoria, H.T. Odum postula que após a transformação da energia (trabalho) uma parte da energia armazenada no produto da transformação retroage (feedbacks) no sistema para reforçar o processo que realiza a transformação (ODUM, 1971, 1994, 1996, 2007, ODUM & ODUM, 2001). Uma forma de compreendermos isso seria imaginar que no processo de fotossíntese, após a luz do sol ser absorvida pelas

plantas, ela é transformada em mais folhas que por sua vez capturam mais luz solar amplificando o processo. Outro exemplo (ODUM & ODUM, 2001) seria ao polinizar as flores, as abelhas reforçam processos que produzem o néctar do qual se alimentam.

Os feedbacks estão presentes em muitas partes da teoria do H.T. Odum, inclusive quando demonstra como devem ser construídos os modelos. Entretanto, o cálculo desses feedbacks é extremamente complexo, e portanto são raros os modelos que contemplam e mensuram esses fluxos.

Do ponto de vista dos materiais, o sistema se comporta recebendo materiais de fora do sistema, transformando-os internamente (reciclando muitas vezes) e descartando uma parte para fora do sistema. Todos esses processos ocorrem transformando energia e gerando entropia (energia na forma de calor que não pode mais gerar trabalho).

Para compreensão geral da Ecologia de Sistemas de H.T. Odum, utilizou-se da contribuição de Björklund (2000 apud Lei et al., 2014) que resumiu em cinco os princípios chave desta abordagem:

1- **Princípio da máxima potência:** considera que os sistemas se auto organizam para aumentar ao máximo a captura de energia e a eficiência no uso dessa energia.

2 - **Princípio da auto-organização:** auto-organização é um processo onde alguma forma de organização global surge, fruto das interações entre componentes de um sistema inicialmente desorganizado. Segundo Lei (2014) um sistema auto organizado é tipicamente “very robust and able to survive and self-repair even substantial damage and to recover from even moderately severe perturbations”, em outras palavras, resiliente.

3 - **As transformações energéticas são hierárquicas:** formas diferentes de energia possuem qualidades diferentes

4 - **A teoria do sistema pulsante (*pulsing*):** H.T. Odum propôs que todos os sistemas pulsam em todas as escalas, alterando padrões de sua atividade ao longo do tempo em períodos de altas e baixas atividades. Os períodos de baixa atividade são onde ocorre um processo lento e gradual de acúmulo de energia e estoque de diversos componentes do sistema (crescimento lento) seguidos por um curto período (pico de atividade) de consumo dessa energia e transformação dos componentes acumulados e/ou formação de novos componentes. Ao fim do pico parte da energia acumulada se dispersa, assim como alguns materiais, preparando o sistema para um novo período de crescimento lento.

5 - **Escalas**: os fenômenos que ocorrem nos sistemas, ocorrem em diferentes escalas, porém seguem padrões similares em todas elas, alterando somente pequenos detalhes pertencentes a cada escala.

H.T. Odum chamou, inicialmente, essas características de princípios de desenho (*design principles*) de um sistema. Ele os considerava relevantes pois indicavam comportamento comum para todos os sistemas e, portanto muito úteis para modelagem e compreensão do seu funcionamento. Ao longo de sua carreira, entretanto, esses princípios foram se tornando tão evidentes que se considerou a elevação desses conceitos a novas leis da termodinâmica (TILLEY, 2004).

O mesmo autor (*op. cit.*) admite que as ideias de H.T. Odum sobre a criação das 4ª, 5ª, e 6ª leis da termodinâmica são, no mínimo, controversas. Dessa forma vamos discutir algumas dessas propostas (1 a 4) para podermos observar o comportamento dos sistemas através da mesma janela que H.T. Odum usava.

6.2 - Princípio da Máxima Potência (ou 4ª lei da termodinâmica)

systems prevail that develop designs that maximize the flow of useful energy [...] theories derived from the maximum power principle explain much about the structure and processes of systems. (ODUM, 1994)

As ideias de H.T. Odum em relação à organização geral dos sistemas sofreram clara influência dos trabalhos de Lotka sobre a segunda lei da termodinâmica e do trabalho de Darwin sobre a origem das espécies (ODUM, 1971, 2007, COSTANZA, 2007; TILLEY, 2004). Dessa forma, ele postula que os sistemas, especialmente ecossistemas, evoluem ao longo do tempo e inevitavelmente competem por espaço e recursos naturais. A quarta lei da termodinâmica postula então que os sistemas que se organizarem de forma a elevar ao máximo o fluxo de energia no tempo (*empower*) irão prevalecer (dessa forma abarcando na mesma teoria, os princípios da máxima potência e da auto-organização).

O conceito de máxima potência foi originalmente descrito por Lotka (CAI et al., 2004) e diz que:

in the self-organizational process, systems develop those parts, processes and relationships that capture the most energy and use it with the best efficiency possible without reducing power (LOTKA, 1922 apud ODUM & ODUM, 2001)

Esta visão assume que os sistemas se auto organizam e os processos de seleção que ocorrem naturalmente (em uma analogia à seleção natural). Estes elementos são fundamentais e determinantes para o desenho do sistema (CAI et al., 2004), ao selecionar partes do sistema que são mais eficientes no processo de captura e transformação de energia.

Segundo Cai et al. (2004) existe uma crescente aceitação entre os biólogos evolucionistas que a seleção natural ocorre em níveis diversos, além das espécies e populações. O autor (op.cit.) mostra que entre os evolucionistas estão Williams, G.C. (1992) em: *Natural Selection: Domains, Levels, and Challenges*; Sober & Wilson (1998) em: *Unto Others: The Evolution and Psychology of Unselfish Behavior*; Reeve & Keller (1999): *Levels of selection: burying the units-of-selection debate and unearthing the crucial new issues*; e finalmente Gould & Lloyd (1999) no artigo: *Individuality and adaptation across levels of selection: how shall we name and generalize the unit of Darwinism?* Entende-se então que ao menos do ponto de vista evolutivo, o Princípio da Máxima Potência esteja sendo avaliado e um dia poderá ser adotado pelo *mainstream* acadêmico.

Mas a maior contribuição do H.T. Odum em relação ao conceito¹ de máxima potência do Lotka (medidos em joules, calorias ou qualquer outra unidade de medida energética) foi transformá-lo no princípio da máxima potência (Maximum EmPower Principle) enunciando: “in the self-organizational process, systems develop those parts, processes and relationships that maximize useful empower” (ODUM, 1996; ODUM e ODUM, 2001).

Para compreender esse princípio utilizou-se de um exemplo de Brown et al. (2006) mostrado na Figura 5. A cadeia alimentar exemplificada mostra o fluxo de energia decaindo através de seus diversos níveis. Em sentido oposto, a Transformidade, ou seja a quantidade de energia solar necessária para formar um joule de cada nível hierárquico, cresce em igual proporção ao decaimento do fluxo energético. A energia (memória energética de cada nível hierárquico) irá permanecer sempre constante, e no valor máximo que aquele sistema pode obter (Maximum EmPower Principle).

¹ Essa separação de conceito de máxima potencia e princípio da máxima potencia é artificial e foi criada para diferenciar as duas abordagens. De um lado temos Lotka falando em energia e Joules, do outro temos Odum falando em eMergia.

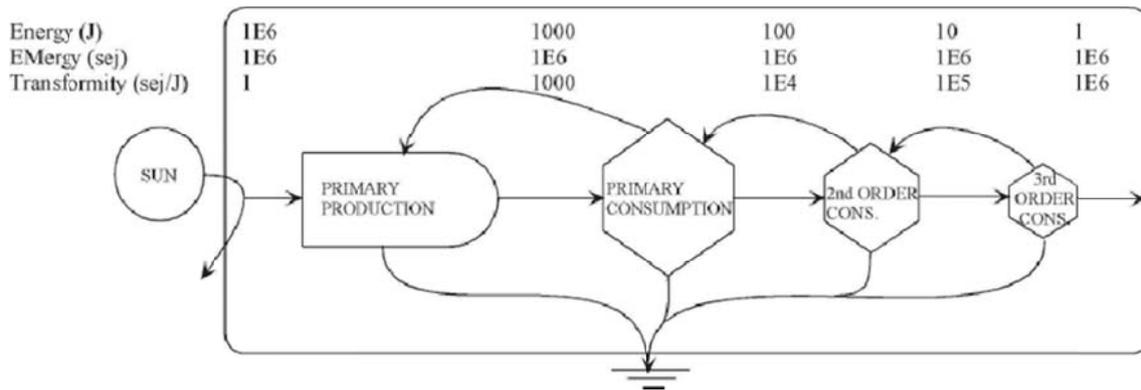


Figura 5: Transformações energéticas em uma cadeia alimentar. Notar emergia constante entre os níveis tróficos.

Fonte: BROWN et al., 2006.

Considerando o Princípio da Máxima Potência como premissa, diversas hipóteses foram levantadas ao longo dos anos (CAI et al., 2004):

- maior aquisição de energia por um sistema proporciona maior capacidade para alta biodiversidade assim como para resistir a stress e perturbações (ODUM, 1994).
- Consumo retroage positivamente na produtividade;

Talvez a mais significativa delas seja a que o Princípio da Máxima Potência seja a principal diretriz para a proposição de políticas públicas: “choose alternatives that maximize empower intake and use” (ODUM & ODUM, 2001). Essa premissa está em diversos trabalhos de consultoria realizados por H.T. Odum e aponta para um princípio norteador de políticas públicas.

A utilização do Princípio da Máxima Potência como formulado por H.T. Odum não tem sido integrado aos estudos emergéticos, mesmo passado mais de uma década de sua morte. Algumas publicações sobre análise emergética sequer tocam no assunto (e.g. LEI et al. 2014, HOSSAINI & HEWAGE, 2013; BROWN & MCCLANAHAN, 1996; LIU et al., 2013; JIANG et al., 2009; BROWN, CAMPBELL & NUMBER, 2007 entre outros.)

Talvez o principal opositor dessa teoria seja o italiano Enrico Sciubba. Ele publicou ao menos dois artigos (2010, 2011) atacando diretamente as proposições de H.T. Odum. Os argumentos apresentados em seu trabalho de 2010 apontam que o Princípio da Máxima Potência (e a análise emergética em geral) se referem mais à primeira lei da termodinâmica que à segunda: “It must be stressed that the arguments put forth in this paper do not deny the validity of Emergy Analysis per se: they simply disprove the claim that Emergy is a ‘Second Law-based method’” (SCIUBBA, 2010).

No artigo seguinte, SCIUBBA, 2011 apresenta, logo nas primeiras linhas, erros de datação quanto aos trabalhos do H.T. Odum e uma suposta linha evolutiva de suas teorias. Sciubba (2011) afirma, a respeito do Princípio da Máxima Potência, que H.T. Odum inicialmente usava a seguinte definição: “During self organization, system designs develop and prevail that maximize power intake, energy transformation, and those uses that reinforce production and efficiency” (ODUM, 1995, p.311 apud SCIUBBA, 2011). O autor acusa H.T. Odum de, com a evolução do conceito, remover a parte relativa à eficiência, reformulando para: “In the self-organizational process, systems develop those parts, processes, and relationships that maximize useful em-power” (ODUM 1985!).

A primeira coisa que nos chama atenção é que Sciubba (2011), aparentemente, cometeu um erro cronológico. Como pode o Princípio da Máxima Potência do H.T. Odum evoluir de uma publicação de 1985 em relação a outra de uma década depois. Obviamente deveria ser ao contrário. Quanto ao mérito da questão (eficiência) Odum não se opôs a essa característica dos sistemas evolutivos. Inclusive incorpora a eficiência em sua teoria: “Systems organize loading and efficiency to maximize empower” (ODUM & ODUM, 2001).

Por outro lado, alguns autores ainda dedicam-se a tentar provar empiricamente seu funcionamento (e.g. CAI, MONTAGUE & DAVIS, 2006) ou então fazem evoluir o conceito para algo mais abrangente, como Giannantoni (2010): *The Maximum Ordinality Principle: A Harmonious Dissonance*. Nesse artigo Giannantoni (ibid.) advoga que o Princípio da Máxima Potência introduz uma profunda novidade científica em relação à Termodinâmica clássica. Sob a interpretação de Giannantoni, a Qualidade da Energia não é apenas um problema de cálculo e transformações relativos à álgebra emergética, e resumido pelos valores de transformidades diferentes para cada nível hierárquico em um sistema. A Qualidade (escrita com Q maiúsculo) aparece como uma propriedade emergente do sistema, e portanto serviria como base conceitual para a refundação da Termodinâmica, agora um Termodinâmica da Qualidade (op. cit.).

Dessa forma, as proposições quanto à 4ª lei da termodinâmica ainda caminham tangencialmente ao *mainstream* acadêmico, embora continuem sem serem atingidas por sua bala de prata.

6.3 - A hierarquia da transformação de energia (5ª Lei da Termodinâmica)

Em seu trabalho de 1996, Odum postula que todos os fluxos de energia que ocorrem no universo seguem padrões hierárquicos: “Energy flows of the universe are organized in an energy transformation hierarchy. The position in the energy hierarchy is measured with transformities.” Uma maneira fácil de compreender esse conceito é observar cadeias alimentares.

Nas cadeias alimentares a luz do sol incide em grande quantidade sobre as folhas das plantas, porém somente uma pequena porção é absorvida e transformada em energia química. Dessa energia química presente nas plantas, somente uma parte pode ser absorvida por um consumidor e incorporada ao seu organismo. E assim por diante.

Energy is measured by calories, btu's, kilowatt hours, and other intraconvertible units, but energy has a scale of quality which is not indicated by these measures. The ability to do work for man depends on the energy quality and quantity and this is measurable by the amount of energy of a lower quality grade required to develop the higher grade. The scale of energy goes from dilute sunlight up to plant matter, to coal, from coal to oil, to electricity and up to the high quality efforts of computer and human information processing (ODUM, 1973 apud BROWN E ULGIATTI, 2004).

Brown e Ulgiatti (2004) trazem uma figura (figura 6) que pode mostrar essa mudança nas grandezas emergéticas. O item (a) mostra como essa rede hierárquica de energia ocorre na natureza: emaranhados hierárquicos; Em (b) os autores organizam artificialmente os níveis hierárquicos; em (c) os autores exemplificam uma teia alimentar que servirá de base para compreender os itens d, e e f; em (d) é representado a série de transformação exemplificando o fluxo de energia (energia através do tempo = empower); (e) mostra a relação entre o conteúdo emergético de cada nível na teia alimentar (ou cada nível hierárquico); e finalmente em (f) os autores mostram como a transformidade aumenta em função da hierarquia: quanto mais avançamos na teia alimentar, nos distanciando da fonte energética primária que é o sol, maior quantidade de energia é necessária para obtermos o produto desejado, em outras palavras, maior a transformidade.

His concept was that all energy transformations of the geo-biosphere could be arranged in an ordered series to form an energy hierarchy with many joules of sunlight required to make a joule of organic matter, many joules of organic matter to make a joule of fuel, several joules of fuel required to make a joule of electric power, and so on (BROWN AND ULGIATTI, 2004).

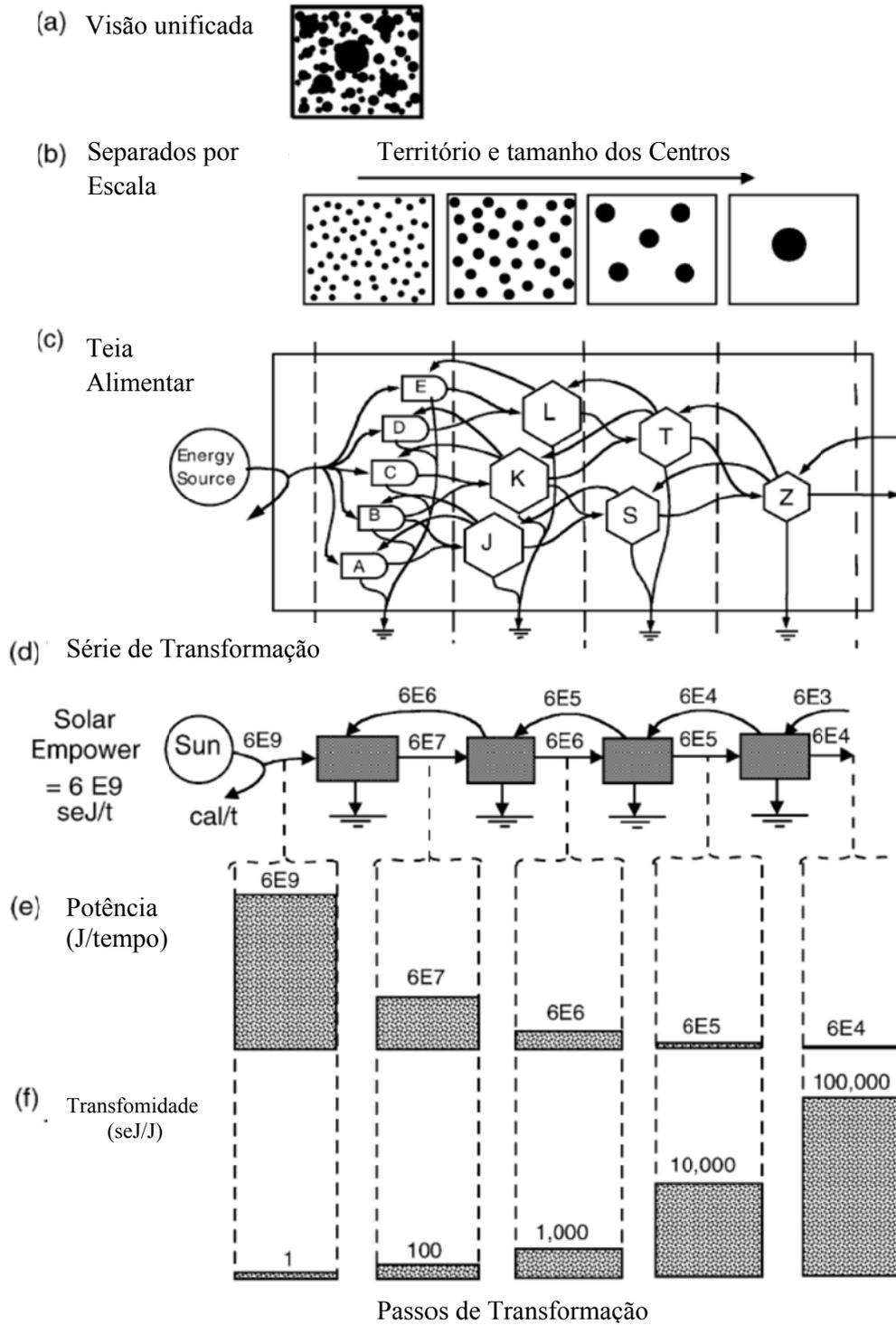


Figura 6: Hierarquia de transformação de energia.
 Fonte: modificado de BROWN E ULGIATTI (2004)

De acordo com H.T. Odum (1996) existem três fatores que contribuem para essa formação de hierarquias energéticas:

- a- Nenhum processo de transformação energética é 100% eficiente (2ª lei da termodinâmica) e, portanto os produtos dos processos de transformação necessariamente possuem menor conteúdo energético que a soma dos reagentes.
- b- O sistema maximiza a potência através da interação de formas abundantes de energia com outras de menor conteúdo energético porém com alta capacidade de amplificação
- c- Os produtos oriundos de processos em sistemas autossustentáveis devem possuir alguma habilidade potencial para amplificar o fluxo de entrada de outras formas de energia de maior quantidade.

Como o conjunto teórico produzido por H.T. Odum é ainda pouco esclarecedor em suas definições, essas afirmações parecem um tanto tautológicas. O sistema maximiza a potência através da interação de formas com maior ou menor conteúdo energético e os produtos se organizam para amplificar o fluxo de energia (aumentar a potência). A aderência das propostas (b) e (c) com a auto-organização do sistema e Princípio da Máxima Potência deixam confusos os teoremas propostos.

Apesar de fugir da lista de Björklund (2000 apud LEI et al., 2014) a proposta da 6ª Lei da Termodinâmica segue aqui resumida para não deixar as reflexões sobre a obra do H.T. Odum, especialmente a de Tilley (2004) incompletas.

6.4 - Acoplamentos dos ciclos biogeoquímicos com as hierarquias de transformação de energia (6ª Lei da Termodinâmica).

Segundo Tilley (2004) o acoplamento entre matéria e hierarquias de transformação energética foram apenas sugeridos por H.T. Odum como uma sexta lei. Outra sugestão teria sido de considerá-la como o corolário da 5ª Lei.

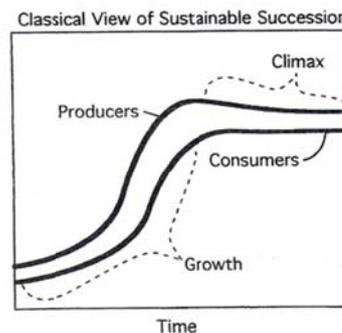
Para compreender essa proposta, basta imaginar que a matéria se comporta de maneira semelhante a energia. Dessa forma, ciclos materiais, representados por seus ciclos biogeoquímicos, são organizados hierarquicamente e podem ser medidos em energia por massa. O argumento principal é que quando a energia caminha por um sistema e se concentra em algum ponto, a matéria também se concentra:

When self-organization converges and concentrates high quality energy in centers, materials are also concentrated by the production functions. Because available energy has to be degraded to concentrate materials, the quantity of material flow also has to decrease in each successive step in a series of energy transformations (ODUM, 2000 apud TILLEY, 2004).

Essa proposição foi útil nos modelos criados por H.T. Odum porque permite trabalhar com redução de energia para produtos ou materiais que foram reciclados. Apesar do embasamento dessa proposta nos ciclos biogeoquímicos, ela geralmente se aplica a produtos reciclados pelo homem, e não a materiais como carbono, nitrogênio, água, que passaram por ciclos de longa duração.

6.5 - A teoria do sistema pulsante (*pulsing*):

De acordo com H.T. Odum (1994, 1996, ODUM & ODUM, 2001) a visão tradicional sobre os sistemas ecológicos e econômicos mostram crescimento do sistema, seguido de um estado de estabilidade dinâmica (*steady state*) onde as entradas são balanceadas pelas perdas do sistema (Figura 7).



(Figura 7): Visão dos sistemas ecológicos e econômicos sob o paradigma da estabilidade dinâmica.

Fonte: ODUM, 1996; ODUM & ODUM, 2001

A teoria do sistema pulsante (figura 8) propõe que todos os sistemas alternam períodos de produção e acúmulo lento e gradual, seguidos por um período curto de intenso consumo dos estoques e dispersão de materiais, preparando-se para outra fase de crescimento lento.

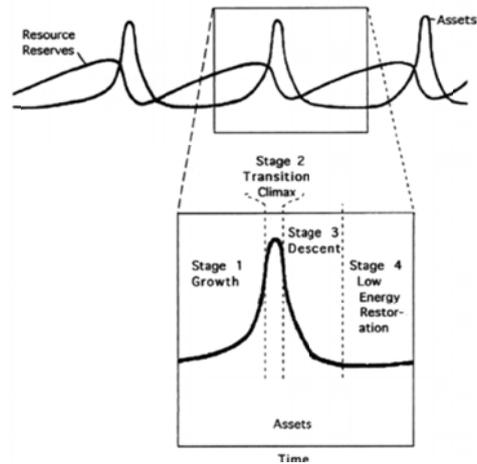


Figura 8: Comportamento dos sistemas ecológicos e econômicos sob o paradigma dos sistemas pulsantes.

Fonte: ODUM, 1996; ODUM & ODUM, 2001.

Os exemplos de pulsação nos sistemas são diversos. Odum & Odum (2001) citam:

- Fazendas gastam um bom tempo deixando os pastos crescerem e então colocando gado para pastar por um período curto e intensivo antes de mover o gado para outra porção do terreno, repetindo o ciclo. Essa técnica é muito utilizada no pastoreio Voisin (VOISIN, 1974) para aumentar a produtividade do pasto.

- Assembleia de peixes planctívoros se movem no oceano para se alimentar de *blooms* de algas que se alternam no tempo;

- Pulsação é a norma quando estamos analisando a bioquímica do corpo (batimento cardíaco, ciclo reprodutivo, etc.)

Os autores postulam que a pulsação prevalece porque os sistemas que pulsam transformam mais energia que aqueles em equilíbrio dinâmico: “apparently, an alternation of production and consumption provides a better long run coupling of energy intake for maximum empower than a steady state can provide” (ODUM & ODUM, 2001).

Para a formulação de políticas públicas e gerenciamento ambiental, o princípio dos sistemas pulsantes é importante pois, segundo os mesmos autores (*op. cit.*) o caminho para a sociedade beneficiar tanto o sistema econômico quanto o ecológico é se adequar ao *timing* das oscilações do ambiente, assim como ocorre com outras comunidades na natureza. Os ciclos anuais de crescimento das plantas é frequentemente sincronizado com os ciclos sazonais dos organismos que se alimentam dessas plantas. Em zonas do planeta com estações bem definidas, pássaros, ursos, lobos, etc, adaptam

seus períodos alimentares aos pulsos de comida disponíveis. Em regiões tropicais, essas adaptações são menos evidentes, mas ainda ocorrem como exemplificado pelo Palmito Juçara (*Euterpe edulis*) servindo como alimento para diversas espécies de aves, primatas e morcegos no inverno da Mata Atlântica (IPEF, 2007).

Para os sistemas socioeconômicos, a pulsação ocorre no seu uso do ambiente, como na rotação de culturas (agricultura), descanso do pasto (pecuária) e alguns exemplos remontam às cheias do rio Nilo, monções do rio Ganges e até a primavera Maia nas Américas (ODUM & ODUM, 2001).

Um aspecto descritivo das pulsações do sistema (Figura 7) é que ocorrem em quatro estágios (Odum, 1996):

- 1º estágio – crescimento
- 2º estágio – clímax e transição
- 3º estágio – descida
- 4º estágio – restauração de baixa energia

Odum & Odum (2001) indicam que as políticas públicas de um sistema socioeconômico adaptado aos ciclos pulsantes da natureza, devem ser focadas para ciclo:

1º estágio – crescimento: Durante o período de crescimento, as unidades do sistema competem por recursos e somente algumas irão persistir ao longo prazo. Permitir, portanto, a competição nesse estágio irá fazer com que o sistema socioeconômico cresça o mais rapidamente possível, ao mesmo tempo em que a diversidade de atores no sistema tende a diminuir e os recursos tendem a ficar escassos.

2º estágio – clímax e transição: esse estágio é o ápice do crescimento e a transição para o declínio do sistema. Ao se aproximar do ápice, o sistema adquire maturidade e os processos de crescimento rápido, antes privilegiados, agora darão lugar aos processos com maior eficiência. O crescimento rápido é substituído por manutenção do que já existem e o sistema se organiza para aumentar as retroalimentações ao processo produtivo. Aumenta a diversidade e complexidade do sistema.

3º estágio – descida: No período de descida aparentemente existem dois caminhos que podem ser percorridos. Uma descida gradual, reduzindo o tamanho do sistema e suas dependências de recursos naturais (*downsizing*) ou eventualmente irá ocorrer o segundo tipo de descida que é abrupto e mais desregulado (catastrófico, segundo ODUM, 1996). Os exemplos vão desde redução de metabolismo dos

organismos nas florestas subtropicais (*downsizing*) até o desaparecimento das civilizações que não souberam se adaptar às oscilações do entorno (Maias, Ilha de Páscoa, etc). Os sistemas naturais encontraram maneiras de atravessar os períodos de *downsizing* e talvez a principal característica seja a manutenção de “estruturas essenciais” que irão se beneficiar do próximo período de crescimento.

After repeated cycles of growing and decline, ecosystems develop means for carrying forward information, in seeds, eggs, and spores for the next growth cycle (ODUM & ODUM, 2001).

4º estágio – restauração de baixa energia: Após a descida do sistema e antes que haja um novo período de crescimento do consumo, deve haver um período onde as reservas de recursos (e combustíveis) são restauradas. H.T. Odum caracterizou esse período de por “a produção do meio ambiente deve exceder o consumo” (ODUM, 1996).

Pensando em termos globais, Odum & Odum (2001) alegam que a sociedade moderna pós-industrial está em algum ponto do clímax da curva. Seu crescimento e florescimento ocorreu devido ao uso de combustíveis fósseis que são recursos finitos, com tempo de regeneração em escala geológica, e, portanto o período de descida está logo a frente, assim que a utilização desse recurso se estabilizar e cair.

6.6 - Outras Críticas ao método

Algumas críticas vão no sentido de confrontar a escolha da energia como única fonte de medida dos sistemas. Essa posição critica o embasamento nos trabalhos do Georgescu-Roegen (ANDRADE, 2013) e em sua visão sobre a impossibilidade de reciclagem infinita da matéria, uma vez que cada processo é um processo entrópico, dentro de um sistema finito.

Quanto ao conceito de Transformidade as críticas vem apontar que esse conceito é tautológico com o de energia. Para saber a energia de um produto, calculamos as transformações necessárias para a criação de todos os seus elementos (medidas em sej) e então somamos. E para saber sua Transformidade, dividimos sua energia pela quantidade de energia gasta no processo. Ou seja, para sabermos da Transformidade, usamos a energia e para saber da energia usamos a Transformidade (SINISGALLI, 2005).

Sinisgalli (op. cit.) aponta que a saída desse impasse pode ser a utilização da energia livre de Gibbs como parâmetro (externo ao ciclo transformidade-energia) para cálculo das transformidades, fornecendo um ponto de partida não circular. Mas também deixa claro sua limitação porque o cálculo dessa energia ocorre em condições laboratoriais, certamente diferentes das condições ambientais requeridas na nos processos desempenhados pelas funções ecossistêmicas.

Outro problema, talvez mais contundente, seja a incerteza associada aos valores emergéticos e transformidades dos recursos e processos ambientais, decorrentes da impossibilidade de se conhecer todos os processos envolvidos na sua criação.

Sinisgalli (2005) argumenta:

Outro ponto levantado contra o modelo eMergético recai sobre a incerteza das medidas de transformação dos diversos recursos e serviços ambientais na forma de eMergia, pois não se conhece todos os processos envolvidos desde a formação inicial dos materiais, sendo questionável a memória energética de cada elemento.

Ao tomarmos o termo “valor” como sentido de importância de determinado atributo, iremos concordar que apesar das limitações, a valoração emergética busca apreender e mensurar as interdependências entre os processos ecossistêmicos e as complexas relações entre o meio abiótico, a biodiversidade e a sociedade, geralmente não reveladas por outros métodos de valoração (ANDRADE, 2013).

7 – AVALIAÇÃO EMERGÉTICA DA BAÍA DO ARAÇÁ

Parte-se do pressuposto que o objetivo final da avaliação emergética da Baía do Araçá é proporcionar subsídios para a gestão integrada do sistema socioecológico ali presente. Para tanto, é primordial conhecer quais são as relações entre os sistemas econômico e ecológico que ocorrem na área.

Dessa forma a análise emergética une os sistemas econômicos e ecológicos em uma análise integrada, onde os processos ecológicos e as atividades econômicas são contempladas no mesmo diagrama, e seus fluxos e intensidades são medidos e transformados à mesma unidade de medida (solar emjoule).

7.1 – Resultados da Análise Emergética da Região

Seguindo as recomendações de Odum (1996) foi realizada a análise emergética em escala maior que a de interesse (Araçá). Essa análise microrregional irá proporcionar uma visão relacional da baía em estudo com o ambiente na qual está inserida. A região modelada compreende as bacias hidrográficas de São Sebastião que contribuem diretamente no canal de São Sebastião somadas a uma área do próprio canal (figura 9).

Essa área foi escolhida primeiramente por compreender a Baía do Araçá e ser necessária ao processo de avaliação, conforme explicitado acima. Segundo por conter as drenagens da cidade de São Sebastião que deságuam no canal, e portanto, são as áreas terrestres com maior influência nessa região. Foi também delimitada uma região de água do canal, por ser responsável pela influencia na água da baía do Araçá.



Figura 9: Canal de São Sebastião. A Área em amarelo é a microrregião modelada. O Araçá está em roxo. Em vermelho estão algumas delimitações de bacias hidrográficas que deságuam no canal.
Fonte: Elaboração própria.

As áreas demonstradas na figura 8 acima estão descritas na tabela 3 incluídas também as medidas de comprimento das linhas de costa usadas.

Tabela de medidas	
Local	Medida
Área de São Sebastião (m2)	50.902.351,00
Área do Canal (m2)	46.180.213,00
Área do Araçá(m2)	517.525,00
Linha de costa de São Sebastião	29.159,00m
Linha de Costa do Araçá (sem o porto)	2.200,00m
Linha de Costa do Araçá (com o porto)	1.500,00m

Tabela 3: demonstrativo das áreas trabalhadas e dos comprimentos de linha de costa.
Fonte: Elaboração própria.

Após a delimitação das áreas foi construído o diagrama emergético para a região de São Sebastião e Baía do Araçá (Figura 10):

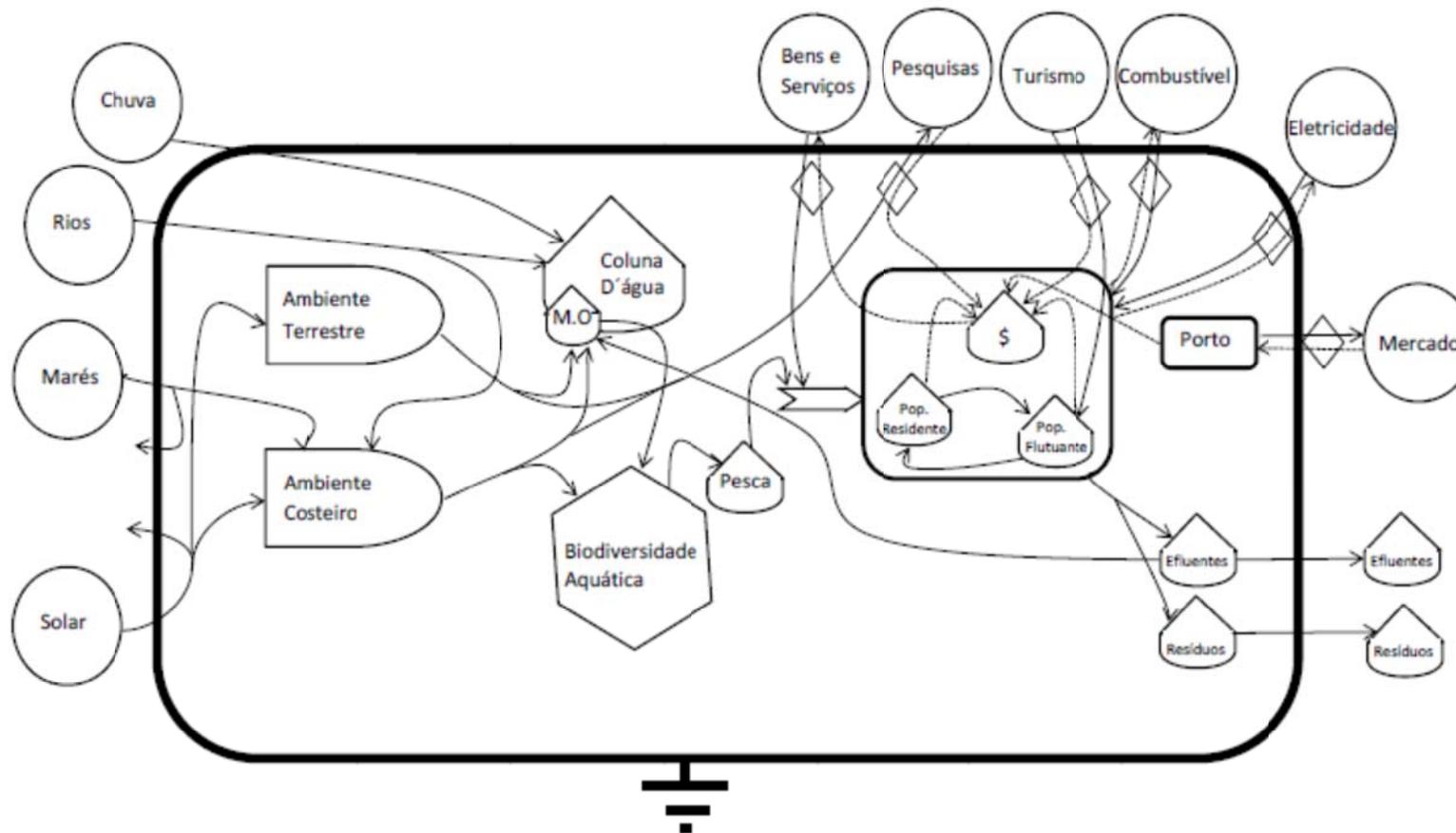


Figura 10: Diagrama emergético da região de São Sebastião e Araçá.
 Fonte: Elaboração própria

Com base no diagrama foi elaborada a Tabela Emergética para região proposta (tabela 4).

Número	Entrada (unidades)	Unidade	Valor da atividade (por ano)	Transformidade (sej/unidade)	Empower sej/y	Emdolar
1	solar	J	5,36E+17	1,00E+00	5,36E+17	4,47E+04
2	ondas	J	2,05E+13	5,10E+04	1,05E+18	8,71E+04
3	rios (geopotencial)	J	9,02E+12	4,7 E4	4,24E+17	3,53E+04
4	rios (química)	J	2,27E+14	8,1 E4	1,84E+19	1,53E+06
5	chuva (química)	J	1,73E+14	3,01E+04	5,22E+18	4,35E+05
6	produtividade terrestre	Cal/ha	2,25E+03	2,10E+17	4,73E+20	3,94E+07
7	produtividade aquática	J/m2	2,07E+10	7,87E+10	1,63E+21	1,36E+08
8	Matéria orgânica	g	1,11E+12	7,15E+03	3,96E+16	3,30E+03
9	Combustíveis	Variável	tabela 6	tabela 6	1,44E+17	1,20E+04
10	eletricidade	Watt	2,42E+11	1,70E+05	1,73E+17	1,44E+04
11	bens e serviços	Variável	5,74E+08	1,61E+12	9,25E+20	7,71E+07
12	pesquisadores	J/ano	tabela 7	tabela 7	2,33E+20	1,94E+07
13	turismo	J/turista	1,13E+07	2,21E+12	2,51E+19	2,09E+06
14	porto	Variável	tabela 8	tabela 8	7,41E+22	6,17E+09

Tabela 4: Tabela emergética para a região de estudo.
Fonte: Elaboração própria.

A elaboração da tabela emergética deve vir acompanhada de seu memorial de cálculo. Dessa forma, tem-se:

1 – Energia solar: calculada pela insolação anual multiplicada pela transformidade. Insolação anual 3850 kcal/m²/dia (Fonte: ODUM, ROMITELLI e TIGHE, 1998). 1 cal = 4,186J .Transformidade = 1sej/J

2 – Ondas: 1,68E8 kcal/m/ano. (Fonte: Odum et al., 2000). Linha de costa 29,159m. 1 cal = 4,186J

3 – Rios (Geopotencial): Volume em m³/ano x 1000kg/m³ x 9,8m/seg² x altitude média em relação ao nível do mar. (Fonte: Odum et al, 2000). O volume desaguado em cada rio foi estimado da seguinte forma. A vazão do córrego Mãe Izabel era conhecida em dois períodos (verão e inverno) e sua média é de 160l/s (Carrilho, 2016) e drena uma área de 5.585.208,00 m².

Usando esses dados, foi criada uma tabela (Tabela 5) de projeção de vazão para cada sub-bacia hidrográfica de São Sebastião, onde as vazões dos riachos foram então calculadas em função da sua área de drenagem.

Sub-bacias	área (m2)	vazão proporcional (l/s)
ss14	5.585.208,00	160
ss1	585.038,00	16,7
ss2	843.761,00	24,1
s3	152.340,00	4,3
ss4	209.269,00	5,9
ss5	126.542,00	3,6
ss6	1.417.303,00	40,6
ss7	904.449,00	25,9
ss8	3.381.774,00	96,8
ss9	2.877.663,00	82,4
ss10	1.186.832,00	33,9
ss11	320.455,00	9,1
ss12	4.251.455,00	121,7
ss13	2.180.746,00	62,4
ss15	10.026.845,00	287,2
ss16	2.970.290,00	85,0
ss17	3.909.449,00	111,9
ss18	771.250,00	22,0
ss19	2.891.124,00	82,8
ss20	4100979,00	117,4
ss21	1.229.690,00	35,2
ss22	442.047,00	12,6
ss23	318.128,00	9,1
ss24	219.714,00	6,2
TOTAL	50.902.351,00	1458,2

Tabela 5: cálculo das vazões proporcionais para as sub-bacias de São Sebastião voltadas para o canal. As duas primeiras (ss1 e ss14) drenam para o Araçá.

Fonte: elaboração própria.

Dessa forma a vazão total das bacias em litros por segundo (1.458,20) foi multiplicada pelo número de segundos em um ano ($3,154 \times 10^7$), dividida por 1000 (l para m³). Para a região de São Sebastião voltada para o canal e drenada por essas bacias, foi usado o valor de elevação média de 200m. Transformidade: (Fonte: Odum et al., 2000)

4 – Rios (química). Vazão anual em gramas multiplicada pela energia livre de Gibbs (4.94 J Gibbs/g) (Fonte: Odum et al., 2000). Transformidade: (Fonte: Odum et al., 2000)

5 – Chuva: A energia cinética das chuvas foi considerada como contemplada pela vazão média dos rios. A energia química foi calculada pela pluviosidade anual média da região (1900mm - IBGE), considerado um ano chuvoso, multiplicada pela energia livre de Gibbs. Transformidade: (Fonte: Odum et al., 2000).

6 – Produtividade Terrestre: Área por produtividade (Fonte: Odum, 1996) para uma área florestal madura. Área foi considerada 50% da área total terrestre do modelo. Produtividade: 2,25E+03 J/ha. Transformidade (Fonte: *ibid.*).

7 – Produtividade Aquática: área x produtividade x Transformidade. Área foi calculada e considerada área do Araçá somada com a área do Canal. Produtividade: 1,23g/m²/dia (Fonte: Brown, Tennembaum & Odum, 1991). Transformidade: Brown, Tennembaum & Odum (1991).

8 – Matéria orgânica: A entrada de matéria orgânica foi considerada importante por dois motivos: a existência de uma adutora de esgoto que atravessa o Araçá até a ponta sul e deságua no limite da enseada com o canal e também pela hipótese que esse esgoto sustenta boa parte da biodiversidade local, indicada pelo módulo 7 (Interações Tróficas) e pelo módulo 11 (Modelagem Ecológica). Dessa forma o cálculo da energia oriunda da matéria orgânica se baseou em dados de Gubitoso et al. (2008) relativos à construção da emissário. Segundo o mesmo autor (*op. cit.*) o emissário desagua 140 l/s de esgoto. Através de estimativas de outros trabalhos considerou-se que 30% desse volume era matéria orgânica e que cada litro de esgoto possuem 1 kcal. E dessa forma, os cálculos foram: volume de esgoto x 1kcal x 4,186 x 3,15E+07 (numero de segundos em um ano). Esses cálculos forneceram os dados da atividade da tabela 4. A transformidade vem de Dong et al. (2012).

9 – Combustíveis: Foi utilizado o anuário energético da secretaria de Saneamento e Energia que apontava os dados de consumo de combustíveis para o município de São Sebastião. As transformidades e a soma das energias dos combustíveis considerados estão na tabela 6.

Tipo	Dados da área	Transformidade	Fonte	Empower (sej/ano)
eletricidade (kcal)	242.498.999.000	1,70E+05	Odum, Romitelli e Tighe (1998)	1,73E+17

GLP (kg)	2.017.026	4,00E+04	Bastianoni et al. (2009)	2,82E+15
Etanol (l)	9.372.223	2,14E+05	Ortega et al. (2003)	5,42E+16
gasolina (l)	13.613.000	2,92E+09	Bastianoni et al. (2009)	2,86E+16
diesel (l)	11.135.165	1,21E+05	Ingwersen, 2010	5,79E+16
			Total	1,44E+17

Tabela 6: Consumo de combustíveis para a região. Fonte: Elaboração própria

10 – Eletricidade: O anuário energético da secretaria de Saneamento e Energia fornece o consumo de energia elétrica para a região medido em unidades kcal. Então foi feita a transformação para Joules (x4,186) e então aplicada a transformidade fornecida por Ortega et al. (2003) calculada para o Brasil.

11 – Bens e Serviços: PIB por habitante * número de habitantes* Relação dólar/emergia (Odum, 1996). População calculada de IBGE. Relação dólar/emergia calculada pelo PIB e Transformidade total do Brasil (Fonte: GIANNETI et al., 2013). Transformidade para bens e Serviços: Kang & Park (2002).

12 – Pesquisadores: Foi considerado que toda a produção científica para a região foi aquela elencada por Amaral et al. (2010) (tabela 7). As transformidades foram calculadas por Campbell & Lu (2009).

PRODUÇÃO CIENTÍFICA PARA O ARAÇÁ (segundo Amaral, 2010)					
N	TIPO	QUANTIDADE	EMERGIA/INDIVÍDUO/ANO* (sej/ind/ano)	TRANSFORMIDADE* (e+06 sej/J)	TOTAL
1	Iniciação científica	2	1,28E+18	335	2,56E+18
2	Mestrado	28	1,417E+18	371	1,1903E+20
3	Doutorado	17	1,574E+18	412,2	1,0703E+20
4	Pós-doutorado	3	1,574E+18	412,2**	4,722E+18
			Total		2,3334E+20

* segundo Campbell & Lu, 2009

** os valores de emergia e Transformidade foram considerados iguais aos de doutorado.

Tabela 7: Produção para o Araçá e Região considerada.

Fonte: Elaboração própria.

13 – Turismo: Número de turistas * gasto médio * transformidade. (CUADRA, & RYDBERG, 2000). Número de turistas (81000) fonte: EIA – Porto de São Sebastião. Gasto médio: US\$20 por dia (baseado em FIPE, 2009). Período de estadia considerado: 7 dias por pessoa. Transformidade: (CUADRA, & RYDBERG, 2000)

14 – Porto. A Transformidade do porto não pode ser calculada item por item (*bottow-up*) por diversos motivos. Primeiro não se sabe ao certo o que é transportado dentro de contêineres. Segundo para alguns itens não foi encontrado Transformidade

correspondente. Dessa forma, o cálculo foi feito considerando o balanço financeiro (publicado no DOE) onde foram considerados os gastos operacionais (ou seja, realizados na área). Esses gastos foram então multiplicados pela relação dólar energia (GIANNETTI et al., 2013). Para o Terminal marítimo da Petrobrás, foram consideradas as substâncias declaradas no EIA do Porto para as quais foram encontradas transformidades (Petróleo, gasolina e diesel). Para o Nafta, não foi encontrada transformidade específica. Óleo combustível não é específico o bastante para ter uma transformidade. Outros não foi considerado. Considerou-se que o TEBAR gasta 30% da energia transportada em função do transporte, ou seja, esses 30% foram considerados como consumidos dentro da área de estudo. Essa relação teve como parâmetro os gastos operacionais do porto em relação ao faturamento total. Essas informações estão resumidas na tabela 8.

BALANÇO EMERGÉTICO DO PORTO DE SÃO SEBASTIÃO						
Item	Valor em toneladas ***	Transformidade	Fonte	Movimentação financeira*	Emdolar Brasil **	Energia
Açúcar	2098000	96000 sej/J	Ortega 2003	R\$	1,20E+13	1,46857E+20
Etanol	2136000	2000000 sej/J	Lanzoni, Ortega e Guerra, 2000	12.238.120,00		
Fertilizante	364000	5,55E+09	Odum (1996)			
Barrilha (carbonato de sódio)	405000	não disponível				
Sulfato sódio	201000	não disponível				
Cevada	108000	não disponível				
Animais vivos	5800	não disponível				
Veículos	79315	não disponível				
Contêineres	242109	não disponível				
Item	Valor	Transformidade	Fonte		Energia	Energia considerada
Petróleo	41759874	5900000000 sej/g	Almeida, 2010		2,46383E+23	7,3915E+22
Gasolina	910307	2920000000 sej/g	Bastianoni, 2009		2,6581E+21	7,97429E+20
Diesel	2568946	121000 sej/J	Ingwersen, 2010		1,38939E+17	4,16816E+16
Nafta	413641	não disponível				
Outros	3154889	não disponível	Não incluído			
Óleo combustível	129301	não disponível				
TOTAL ENERGIA DO PORTO						7,40618E+22

* balanço do relatório de administração

** conforme Gianetti et al. (2013)

*** fonte EIA docas

Tabela 8: Cálculo da energia do porto de São Sebastião.

Fonte: Elaboração própria.

E com base nessas informações e memorial de cálculo, as linhas da tabela emergética foram classificadas em recursos renováveis (1-7), não renováveis (8-10) e oriundos da economia (11-14) (Figura 11).

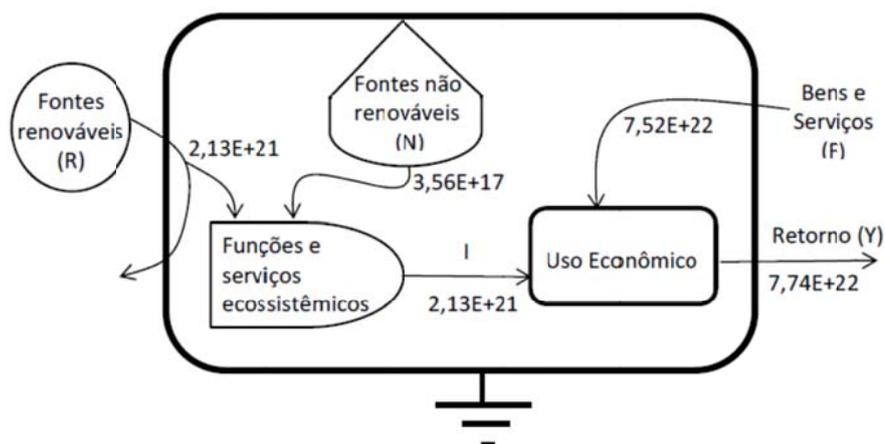


Figura 11: Diagrama das energias renováveis, não renováveis e econômicas.
 Fonte: elaboração própria.

Com os dados da figura 11 foram calculados os índices emergéticos para a região de estudo (tabela 9):

ÍNDICES PARA A REGIÃO		
Rendimento (Y)	$Y=N+R+F$	7,74E+22
Taxa de Rendimento Emergético (EYR):	$EYR= Y/F$	1,03
Taxa de Investimento de Energia (EIR)	$EIR=F/R+N$	35,3
Carga Ambiental (ELR)	$ELR= N+F/R$	35,3
Renovabilidade (%R)	$\%R=R/Y.100\%$	2,75%
Sustentabilidade (S)	$S=EYR/ELR$	0,03

Tabela 9: Índices emergéticos para a Região de estudo.
 Fonte: Elaboração própria.

Os índices de rendimento são adimensionais e fornecem uma ideia da grandeza do sistema modelado. Os outros índices serão discutidos em conjunto mais a frente.

7.2 - Análise Emergética da Baía do Araçá

Para a baía do Araçá as atividades modeladas foram simplificadas. Não há produtividade terrestre. Não foram consideradas atividades de turismo. Considerou-se que as atividades portuárias ocorrem fora da baía para poder contemplar a possibilidade de expansão do porto como cenário. Considerando-se a pequena área da baía do Araçá, a presença do porto iria fornecer valores muito grandes de energia e tornaria os outros valores desprezíveis (figura 12).

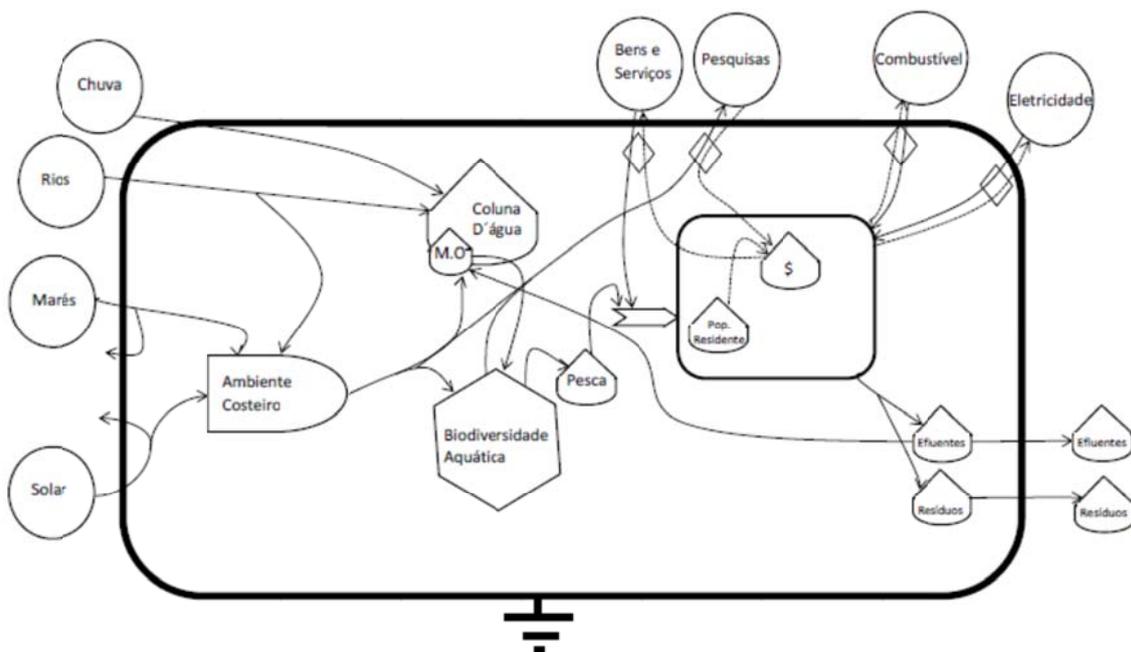


Figura 12: Diagrama emergético para a Baía do Araçá.
Fonte: elaboração própria.

As informações da figura 12 foram usadas para compor a tabela emergética para o Araçá (Tabela 10).

Número	Entrada (unidades)	Valor da atividade (por ano)	Transformidade (sej/unidade)	Empower sej/y	Emdolar
1	solar	6,08564E+13	1	6,08564E+13	5,07
2	ondas	1,54641E+12	5,10E+04	7,89E+16	6,57E+03
3	rios (geopotencial)	1,12568E+12	4,7 E4	5,29068E+16	4,41E+03
4	rios (química)	2,83716E+13	8,1 E4	2,2981E+18	1,92E+05
5	chuva (química)	9,83298E+11	3,01E+04	2,96E+16	2,47E+03
6	produtividade aquática	2,32E+08	7,87E+10	1,83E+19	1,52E+06
7	biodiversidade	tabela 8	tabela 8	5,27E+15	4,39E+02
8	Matéria orgânica	1,11E+12	7,15E+03	7,93E+15	6,61E+02
9	eletricidade	1,52E+08	1,70E+05	1,08E+14	8,99E+00
10	combustíveis	tabela 9	tabela 9	8,97E+13	7,48E+00
11	bens e serviços	3,59E+05	1,61E+12	5,78071E+17	4,82E+04
12	pesquisadores	tabela 7	tabela 7	2,33342E+20	1,94E+07

Tabela 10: Tabela emergética para a Baía do Araçá.
Fonte: Elaboração própria.

A elaboração da tabela emergética do Araçá usou os seguintes cálculos:

1 – Energia solar: calculada pela insolação anual multiplicada pela transformidade. Insolação anual 3850 kcal/m²/dia (Fonte: ODUM, ROMITELLI e TIGHE, 1998). 1 cal = 4,186J .Transformidade = 1sej/J

2 – Ondas: 1,68E8 kcal/m/ano. (Fonte: Odum et al., 2000). Linha de costa 2200m. 1 cal = 4,186J

3 – Rios (Geopotencial): Volume em m³/ano x 1000kg/m³ x 9,8m/seg² x altitude média em relação ao nível do mar. (Fonte: Odum et al., 2000). O volume seguiu o mesmo cálculo da tabela 5. Foram considerados apenas os rios que desaguam na baía.

4 – Rios (química). Vazão anual em gramas multiplicada pela energia livre de Gibbs (4.94 J Gibbs/g) (Fonte: Odum et al., 2000). Transformidade: (Fonte: Odum et al., 2000).

5 – Chuva: A energia cinética das chuvas foi considerada como contemplada pela vazão média dos rios. A energia química foi calculada pela pluviosidade anual média da região (1900mm - IBGE), considerado um ano chuvoso, multiplicada pela energia livre de Gibbs. Transformidade: (Fonte: Odum et al., 2000). A área considerada foi somente a baía do Araçá.

6 – Produtividade Aquática: área x produtividade x transformidade. Área foi calculada e considerada somente a área do Araçá. Produtividade: 1,23g/m²/dia (Fonte: Brown, Tennembaum & Odum, 1991). Transformidade: Brown, Tennembaum & Odum (1991).

7 – Biodiversidade: O projeto temático fez muitas coletas de campo e levantou grande informação sobre a biodiversidade encontrada no Araçá, especialmente de fauna bentônica. Dessa forma, essa biodiversidade foi incorporada nessa análise para medir sua participação, em termos emergéticos, no contexto do Araçá. Foram consideradas as espécies com maior abundancia em biomassa assim como algumas espécies bandeira (tartarugas). Os dados de biomassa estão representados na tabela 11.

	Biodiversidade considerada	Biomassa (g/m²)	Área araça (m²)	Biomassa total (g)	Transformidade (SEJ/J)	Empower sej/y
1	Phytobenthos*	0,109994686	517525	56925	7,87E+10	4,48E+15
2	Zooplankton	0,30931839	517525	160080	1,68E+05	2,69E+10
3	<i>Gastropoda</i>	13,84599778	517525	7165650	1,84E+06	1,32E+13

4	<i>Olivella minuta</i>	87,18245495	517525	45119100		8,30E+13
5	Bivalve	134,3935076	517525	69552000		1,28E+14
6	<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	166,9919328	517525	86422500		1,59E+14
7	<i>Polychaeta</i>	153,7925704	517525	79591500		1,46E+14
8	<i>Capitellidae</i>	53,79740109	517525	27841500		5,12E+13
9	Crustaceos	149,392783	517525	77314500		1,42E+14
10	Peixes	6,986329163	517525	3615600	1,63E+07	5,89E+13
11	Tartarugas	0,306651853	517525	158700		2,59E+12
12	Aves	0,366648954	517525	189750		3,09E+12
Total						5,27E+15

Transformidades: * Brown, Tennembaum & Odum, 1991; todos os demais: Brown & Ulgiatti, 2010

Tabela 11: Taxa considerados, biomassa e emergia. Fonte: Elaboração própria.

8 – Como havia a hipótese da matéria orgânica sustentar boa parte da cadeia alimentar presente na enseada, essa variável foi incorporada a análise para medir sua participação no contexto do Araçá em termos emergéticos. Foi considerado que 5% do esgoto lançado na borda do Araçá pela adutora retorna ao Araçá levado pelas correntes. A emergia contida nessa matéria orgânica é então incorporada pela biodiversidade ali presente. Os cálculos foram volume de esgoto x 1kcal x 4,186 x 3,15E+07 (numero de segundos em um ano). Esses cálculos forneceram os dados da atividade da tabela 10. A transformidade vem de Dong et al. (2012).

9 – O cálculo da eletricidade foi feito com base no anuário energético da Secretaria de Saneamento e energia ajustado para a população do Araçá (considerada 50 pessoas). A transformidade usada é de Ortega et al. (2003)

10 – Os combustíveis foram os mesmos considerados para a região, oriundos do anuário Energético da Secretaria de Saneamento e Energia ajustados para a população de 50 pessoas.

11 – Bens e Serviços: PIB por habitante * número de habitantes* Relação dólar/emergia (Odum, 1996). População considerada 50 pessoas. Relação dólar/emergia calculada pelo PIB e Transformidade total do Brasil (Fonte: GIANNETI et al., 2013). Transformidade para bens e Serviços: Kang & Park (2002).

12 – Pesquisadores: Foi considerado que toda a produção científica da região para o Araçá, conforme Amaral et al. (2010) (Tabela 7).

Com base nessas informações e memorial de cálculo, as linhas da tabela emergética do Araçá foram classificadas em recursos renováveis (1-7), não renováveis (8-10) e oriundos da economia (11-12) (Figura 13).

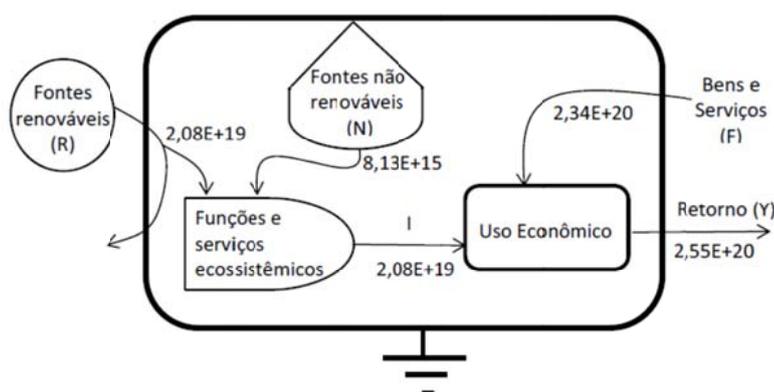


Figura 13: Diagrama das entradas renováveis, não renováveis e econômicas.
Fonte: Elaboração própria.

ÍNDICES EMERGÉTICOS PARA O ARAÇÁ		
Rendimento (Y)	$Y=N+R+F$	2,55E+20
Taxa de Rendimento Emergético (EYR):	$EYR= Y/F$	1,1
Taxa de Investimento de Energia (EIR)	$EIR=F/R+N$	11,3
Carga Ambiental (ELR)	$ELR= N+F/R$	11,3
Renovabilidade (%R)	$\%R=R/Y.100\%$	8,15%
Sustentabilidade (S)	$S=EYR/ELR$	0,10

Tabela 12: índices emergéticos para o Araçá
Fonte: Elaboração própria

O Rendimento para a baía do Araçá quando analisada sozinha mostra valores em escala 100 vezes menor que quando comparados à região (Tabela 8). As taxas de rendimento e investimento emergéticos também são bem menores e mostram que os recursos provenientes da economia ocupam menor porção do orçamento emergético da baía. Os índices de Renovabilidade é bem maior, mostrando que em relação ao orçamento emergético total, as fontes renováveis ocupam maior espaço e a Sustentabilidade (obtido pelo rendimento emergético dividido pela carga ambiental) é muito maior.

7.3 - O cenário do Porto

Como a possibilidade de expansão do porto de São Sebastião sobre a área da baía existe, apesar dos esforços da comunidade científica e do ministério público em propor melhor análise dos impactos ambientais associados a esta obra, foram realizados alguns cálculos para trabalhar com esse cenário e investigar quais as possíveis consequências para o Araçá.

O cálculo da emergia para o porto expandido considerou o cenário de movimentação de cargas traçado pelo EIA (DOCAS, 2011). Dessa forma, a movimentação financeira futura aumentaria, e assim aumentaria a emergia relacionada às atividades (Tabela 13).

Estimativa de emergia para o porto expandido		
	2013	2020
movimento em toneladas	3,00E+05	1,50E+06
emergia total do porto	7,41E+22	2,96E+23

Tabela 13: emergia do porto sobre a área do Araçá.
Fonte: Elaboração própria.

Como exercício, considerou-se que a expansão do porto iria reduzir a área do Araçá em um terço. Novos cálculos foram então realizados para a tabela emergética do Araçá, reduzindo sua área em um terço e contemplando a emergia adicional do porto (Tabela 14).

Número	Entrada (unidades)	valor da atividade (por ano)	Transformidade (sej/unidade)	Empower sej/y	Emdolar
1	solar	4,06E+13	1	4,06E+13	3,38E+00
2	ondas	1,05E+12	5,10E+04	5,38E+16	4,48E+03
3	rios (geopotencial)	1,13E+12	4,7 E4	5,29E+16	4,41E+03
4	rios (química)	2,84E+13	8,1 E4	2,30E+18	1,92E+05
5	chuva (química)	6,56E+11	3,01E+04	1,97E+16	1,64E+03
6	produtividade aquática	1,55E+08	7,87E+10	1,22E+19	1,02E+06
7	biodiversidade	tabela 11	tabela 11	5,27E+15	4,39E+02
8	Matéria orgânica	1,11E+12	7,15E+03	7,93E+15	6,61E+02
9	eletricidade	1,52E+08	1,70E+05	1,08E+14	8,99E+00
10	combustíveis	tabela 9	tabela 9	8,97E+13	7,48E+00
11	bens e serviços	3,59E+05	1,61E+12	5,78E+17	4,82E+04
12	pesquisadores	tabela 7	tabela 7	2,33E+20	1,94E+07
13	porto expandido	tabela 13	tabela 13	2,96E+23	2,47E+10

Tabela 14: Tabela emergética para o Araçá com o cenário do Porto sobre a área.
Fonte: Elaboração própria

Os cálculos de todos os itens da tabela 14 foram exatamente os mesmos realizados para o Araçá (tabela 10). Apenas os itens que dependem de área foram reduzidos em 30 % do valor (itens 1-6) e acrescidos do valor emergético do porto expandido.

Para os cálculos dos fluxos emergéticos na área do Araçá com o cenário do Porto foram mantidas constantes todas as informações utilizadas anteriormente exceto a área que foi então reduzida em um terço (tabela 15).

Redução de área para o cenário	
Tipo	m2
Área Araçá	517.525,0
Área Araçá com o cenário do Porto	345.016,7

Tabela 15: demonstrativo de áreas para o Araçá com Cenário de expansão do Porto.
Fonte: Elaboração própria.

Para calculo dos índices emergéticos para essa área (tabela 13) contabilizando os fluxos emergéticos da Baía do Araçá com os fluxos adicionais de expansão do Porto. O diagrama de entradas está representado pela figura 14 e os índices emergéticos estão dispostos na tabela 16.

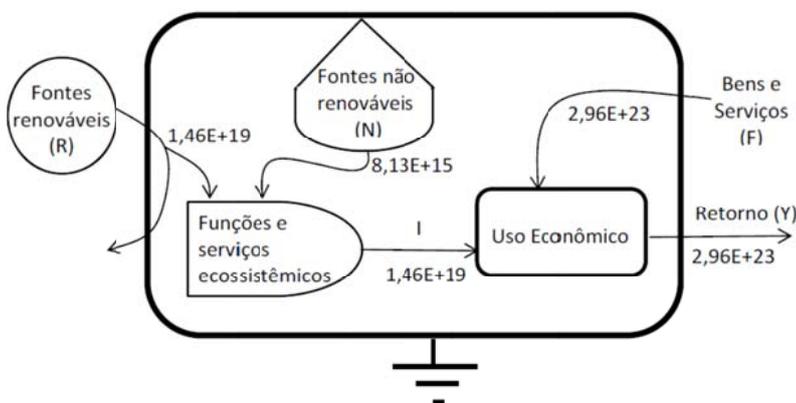


Figura 14: diagrama de entradas renováveis, não renováveis e econômicas para o cenário do porto expandido. Fonte: Elaboração própria.

INDICES PARA O CENARIO COM O PORTO		
Rendimento (Y)	$Y=N+R+F$	2,96E+23
Taxa de Rendimento Emergético (EYR):	$EYR= Y/F$	1,00E+00
Investimento de Energia (EIR)	$EIR= F/R+N$	2,03E+04
Carga Ambiental (ELR)	$ELR= N+F/R$	2,03E+04
Renovabilidade (%R)	$\%R=R/Y.100\%$	4,93E-05
Sustentabilidade (S)	$S=EYR/ELR$	4,93E-05

Tabela13: índices emergéticos para o Araçá com o cenário do Porto.
Fonte: Elaboração própria

O rendimento para o cenário de expansão do porto foi o maior obtido nessa análise. Isso mostra que o porto irá movimentar mais energia na região que o Araçá sozinho ou quando comparado à Região como um todo, sem o porto expandido. Os outros índices vamos discutir separadamente.

7.4 - Discussão sobre os resultados dos modelos

Um resumo dos índices obtidos para a região, para o Araçá e para o Araçá com a expansão do porto estão disponíveis na tabela 1.

RESUMO DOS INDICES CALCULADOS				
INDICES		REGIÃO	ARAÇÁ	ARAÇÁ + PORTO
Rendimento (Y)	$Y=N+R+F$	7,74E+22	2,55E+20	2,96E+23
Taxa de rendimento emergético(EYR):	$EYR= Y/F$	1,03	1,09	1,00
Taxa de Investimento de Energia (EIR)	$EIR=F/R+N$	35,3	11,3	20286,3
Carga Ambiental (ELR)	$ELR= N+F/R$	35,3	11,3	20286,3
Renovabilidade (%R)	$\%R=R/Y.100\%$	0,03	8,15%	0,005
Sustentabilidade (S)	$S=EYR/ELR$	0,03	0,10	4,93E-05

Tabela 14: arranjo dos três grupos de índices calculados.
Fonte: Elaboração própria

7.4.1 - Rendimento

O rendimento é uma medida de todos os fluxos energéticos medidos. Ele nos fornece uma ideia geral da intensidade energética do local onde estamos analisando e também serve de base para os cálculos seguintes. Raugéi et al. (2005) argumentam que o termo retorno não parece muito adequado, pois representa a somatória da energia que atravessa o sistema, mas “retorno” indica no senso comum, aquilo que é retirado do sistema: “[...]Yield as the total energy that converged into a system, despite the fact that the common English meaning of the word is rather what can be obtained from the system.”

7.4.2 - Taxa de Rendimento Emergético

Taxa de rendimento emergético (*Emergy Yield Ratio - EYR*) é uma medida da contribuição energética total frente aos recursos provenientes da economia (Ortega, 2003). Deve indicar a contribuição líquida do sistema para a economia, além das suas

fronteiras (Odum, 1996). Dessa forma, quanto maior o valor de EYR, maior a contribuição do sistema para economia (ODUM, ROMITELLI e TIGHE, 1998).

Já Raugei et al. (2005) advoga que o termo “retorno” é mal usado e que desinforma o analista sobre a quantidade de energia que foi disposta em determinado sistema:

Far from being a mere linguistic issue, this inconsistency can have, and in the opinion of the authors has had, important consequences for the way in which the common energy indicators Energy Yield Ratio (EYR) and Energy Investment Ratio (EIR) are employed and for the meanings that are attributed to them. In fact, attributing to what is essentially a cumulative requirement for input resources (something which is usually perceived as burdensome and hence somewhat negative) the name “Yield” (something which our dictionary and common sense tell us is advantageous and, hence, positive) can strongly alter the analyst’s perspective on the investigated system and its relationships with the environment and the economy

Ortega (2003) adota o termo eficiência energética, talvez para fugir dessa má interpretação.

Para o caso analisado aqui, a EYR mostrou que a maior contribuição é realizada quando consideramos a baía do Araçá no estado atual e sem a contribuição do Porto (EYR = 1,09). A segunda melhor opção é analisar o quadro regionalmente como está (EYR = 1,03) e a pior opção é o Araçá coberto pelo porto (EYR = 1,00).

7.4.3 - Taxa de Investimento de Energia (EIR)

A taxa de Investimento de Energia (*Emergy Investment Ratio – EIR*) é a razão entre a contribuição da economia ou Energia total dos recursos econômicos, que requerem dinheiro para sua aquisição, e a contribuição dos recursos naturais, quase sempre gratuitos. Também sofre de alguns problemas etimológicos como levantado anteriormente por Raugei et al. (2005). Porém, para esse índice, o menor valor é o desejado, mostrando que o investimento financeiro em uma região, obtém uma contrapartida natural à altura.

Para o caso do Araçá, obtivemos o melhor resultado quando consideramos a baía do Araçá no estado atual e sem a contribuição do Porto (EIR = 11,3). A segunda melhor opção é analisar o quadro regionalmente como está (EIR = 35,3) e a pior opção é o Araçá coberto pelo porto, com valores que ultrapassaram a escala dos anteriores (EIR = 20286,3).

7.4.4 - Carga Ambiental (ELR)

Carga Ambiental (*Environmental Loading Ratio – ELR*) é a proporção da Energia dos recursos não-renováveis e os da Economia em relação à Energia dos renováveis. Esse índice obteve valores iguais aos EIR porque os valores dos recursos não renováveis não foram corretamente incorporados aos cálculos. Isso ocorreu por dificuldades em escolha dos indicadores e mensuração para a área desejada. Dessa forma, sua habilidade de gerar resultados individualmente foi comprometida, porém em relação à taxa de rendimento emergético ele serviu para mostrar um resultado, que será tratado mais a frente.

7.4.5 - Renovabilidade (%R)

Renovabilidade indica a porcentagem de Energia utilizada no sistema que advém de recursos renováveis. Os sistemas com alto valor percentual de renovabilidade são menos dependentes da economia e de recursos não renováveis. Para o Araçá, tivemos o melhor resultado quando observamos o Araçá sozinho (%R = 8,15%). A segunda melhor opção é a análise da região (%R = 0,03) e por último temos o cenário com a expansão do porto (%R=0,005).

7.4.6 - Sustentabilidade (S):

Sustentabilidade expressa a eficiência emergética do processo analisado em relação à sua carga ambiental. A sustentabilidade do sistema é diretamente proporcional à eficiência emergética e indiretamente proporcional à carga ambiental. Dessa forma, os maiores valores serão os desejados.

Para o Araçá, O maior valor foi para a baía sem o porto (S=0,1) seguida da região como um todo (S=0,03) e finalmente com a expansão do porto que obteve índice em escala muito inferior (S=4,93E-05).

8 - CONCLUSÃO

Esse trabalho procurou fazer uma análise não econômica dos serviços ecossistêmicos da baía do Araçá usando a análise emergética de H. T. Odum. buscou-se ainda estudar as possíveis consequências para a área da expansão do porto.

Odum (1971, 1988, 1994, 1996) aponta sempre que o caminho para o estabelecimento de políticas públicas é maximizar o fluxo de energia no sistema: “choose alternatives that maximize empower intake and use” (ODUM & ODUM, 2001). Essa afirmação quando levada ao pé da letra iria nos apontar o caminho do porto expandido como sendo a melhor alternativa para a região, uma vez que seu orçamento emergético é maior (Tabela 14). Entretanto Odum & Odum (op.cit) reforçam que o princípio dos sistemas pulsantes é fundamental, pois mostra o caminho para o desenvolvimento da sociedade beneficiar tanto o sistema econômico quanto o ecológico e esse princípio diz que as atividades da sociedade devem se adequar ao *timing* das oscilações do ambiente (ciclos da natureza). Dessa forma observa-se que, como o porto expandido baseia suas atividades em fontes de energia não renováveis, e portanto desvinculadas dos ciclos naturais, não seria o caminho para sustentabilidade em longo prazo da região.

As taxas de Investimento Emergético e de Retorno Emergético para o Araçá são maiores que em qualquer análise que considere o porto. A taxa de Renovabilidade do Araçá é bem maior quando comparado à região e também é maior quando comparada à expansão do porto. A Sustentabilidade da baía é maior quando comparada a região hoje e muito maior quando comparada ao cenário do porto.

Essa comparação dos índices emergéticos e as disposições em desenvolver o local mostram que existem trade-offs importantes nos planos: a expansão do porto irá fornecer um fluxo maior de energia às custas da sustentabilidade local.

Em todos os índices analisados pela ecologia de sistemas (análise emergética) a expansão do porto é deletéria. Não há alternativa melhor para a baía do Araçá que deixar que continue sendo usada por seus pescadores artesanais e sua pequena comunidade caiçara. Isso fica claro quando analisamos seus índices emergéticos.

A baía do Araçá, quando vista isoladamente, possui maior índice de sustentabilidade quando comparados aos outros cenários onde o porto aparece, e portanto, se mostra como em melhores condições quando pensamos em cenários de sustentabilidade no longo prazo.

Este trabalho contribuiu para proporcionar uma outra abordagem ao projeto temático BIODIVERSIDADE E FUNCIONAMENTO DE UM ECOSISTEMA COSTEIRO SUBTROPICAL: SUBSIDIOS PARA A GESTÃO INTEGRADA e espera-se que suas contribuições possam ser incorporadas no plano de desenvolvimento integrado para a Região.

9 - REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. M. V. B. et al. Emergy as a tool for Ecodesign: evaluating materials selection for beverage packages in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 1, p. 32-43, 2010.
- AMARAL, Antonia Cecília Zacagnini; MIGOTTO, Alvaro Esteves; TURRA, Alexander e SCHAEFFER-NOVELLI, Yara. Araçá: biodiversidade, impactos e ameaças. **Biota Neotrop.** [online]. 2010, vol.10, n.1, pp. 219-264. ISSN 1676-0603.
- AMARAL. & JABLONSKI S. Conservation of marine and coastal biodiversity in Brazil. **Conservation Biology**. 2005. N°19, 625–631.
- ANDRADE, D. C. **Valoração Econômico Ecológica: Bases conceituais e metodológicas**. Annablume. 2013. 267p.
- ANDRADE, I. L. L. de & NASCIMENTO, F. B. S. Qual o valor do dano ambiental causado pela ampliação do Porto de São Sebastião? Trabalho de conclusão de curso, USP, São Paulo, 2011.
- BALVANERA, P., DAILY, G. C., EHRLICH, P. R., RICKETTS, T. H., BAILEY, S. A., KARK, S., ... & PEREIRA, H. (2001). Conserving biodiversity and ecosystem services. **Science**, 291(5511), 2047-2047.
- BASTIANONI, S., CAMPBELL, D. E., RIDOLFI, R., & PULSELLI, F. M. (2009). The solar transformity of petroleum fuels. **Ecological modelling**, 220(1), 40-50.
- BEAUMONT, N.J.; AUSTEN, M.C.; ATKINS, J.P.; BURDON, D.; DEGRAER, S.; DENTINHO, T.P.; DEROUS, S.; HOLM, P.; HORTON, T.; VAN IERLAND, E. Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity: implications for the ecosystem approach. **Marine Pollution Bulletin**, 54 (2007), pp. 253–265
- BOYD, James; BANZHAF, Spencer. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. **Ecological Economics**, v. 63, n. 2, p. 616-626, 2007.
- BOUMANS, ROELOF; ROMAN, JOE; ALTMANN, IRIT; KAUFMANN, LES. The Multiscale Integrated Model of Ecosystem Services (MIMES): Simulating the

interactions of coupled human and natural systems. **Ecosystem Services** 12 (2015), p.30-41.

BROWN, Lester R.; FLAVIN, Christopher. Uma nova economia para um novo século. **Lester R. Brown et al., Estado do Mundo**, p. 03, 1999.

BROWN, Mark T.; CAMPBELL, Elliott; NUMBER, Under Cooperative Agreement. **Evaluation of natural capital and environmental services of US national forests using emergy synthesis**. Gainesville, FL: Center for Environmental Policy, 2007.

BROWN, Mark T.; MCCLANAHAN, T. R. Emergy analysis perspectives of Thailand and Mekong River dam proposals. **Ecological Modelling**, v. 91, n. 1, p. 105-130, 1996.

BROWN, Mark T.; TENNENBAUM, Stephen; ODUM, H. T. **Emergy Analysis and Policy Perspectives for the Sea of Cortez, Mexico**. University of Florida, Center for Wetlands and Water Resources, 1991.

BROWN, MARK T., AND SERGIO ULGIATI. Energy quality, emergy, and transformity: HT Odum's contributions to quantifying and understanding systems. **Ecological Modelling** 178.1 (2004): 201-213.

BROWN, Mark T.; ULGIATI, Sergio. Emergy indices of biodiversity and ecosystem dynamics. **Handbook of Ecological indicators for Assessment of Ecosystem Health**. P89, 2010.

BROWN, Mark T. et al. Species diversity in the Florida Everglades, USA: A systems approach to calculating biodiversity. **Aquatic Sciences**, v. 68, n. 3, p. 254-277, 2006.

CAI, T. T.; MONTAGUE, C. L.; DAVIS, J. S. The maximum power principle: an empirical investigation. **Ecological modelling**, v. 190, n. 3, p. 317-335, 2006.

CAI, T. T.; OLSEN, T. W.; CAMPBELL, D. E. Maximum (em) power: a foundational principle linking man and nature. **Ecological Modelling**, v. 178, n. 1, p. 115-119, 2004.

- CAMPBELL, DANIEL E. Emergy analysis of human carrying capacity and regional sustainability: an example using the state of Maine. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 51, n. 1-2, p. 531-569, 1998.
- CAMPBELL, Daniel E.; LU, H. F. The emergy basis for formal education in the United States. **Emergy Synthesis 5, Theory and Applications of the Emergy Methodology**, 2009.
- CARRILHO, Cauê Dias. Identificação e valoração econômica e sociocultural dos serviços ecossistêmicos da Baía do Araçá, São Sebastião, SP, Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo.
- CAVALETT, Otávio; DE QUEIROZ, Julio Ferraz; ORTEGA, Enrique. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. **Ecological Modelling**, v. 193, n. 3, p. 205-224, 2006.
- CECHIN, Andrei Domingues. Georgescu-Roegen e o desenvolvimento sustentável: diálogo ou anátema? 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- COSTANZA, Robert. Economia ecológica: uma agenda de pesquisa. In: May, P. & Serôa da Motta, R. (orgs). **Valorando a natureza: análise econômica para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Campus, p. 111-144, 1994.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R. V., PARUELO, J., RASKINS, R. G., SUTTON, P. & VAN DEN BELT, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, vol. 387, 253-260.
- COSTANZA, R. (2007). **Maximum power principle**. Disponível em: <http://www.eoearth.org/view/article/154526>.
- COSTANZA, Robert et al. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, v. 26, p. 152-158, 2014.
- CUADRA, M.; RYDBERG, T. Emergy evaluation of the environment and economy of Nicaragua. In: **Proceedings of 1st Biennial Emergy Conference, Emergy Synthesis**. 2000.

- DAILY, G., ed. 1997. **Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems**. Washington, DC: Island Press.
- DALY, Herman; FARLEY, Joshua. Economia ecológica: princípios e aplicações. **Trad. Instituto Piaget**, 2004.
- DE GROOT, R.; WILSON, M.A.; BOUMANS, R.; 2002. A typology for the classification, description, and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics** 41, 393-408.
- DE GROOT, Rudolf et al. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. **Ecosystem services**, v. 1, n. 1, p. 50-61, 2012.
- DEMÉTRIO, Fernando JC et al. Emergy Accounting of Brazilian States and Regions. M. BROWN, et al. edits. **EMERGY SYNTHESIS**, v. 7, p. 414-418, 2013.
- DOCAS – COMPANHIA DOCAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto ao Meio Ambiente**. 2011.
- DONG, Xiaobin et al. The impact of human activities on natural capital and ecosystem services of natural pastures in North Xinjiang, China. **Ecological Modelling**, v. 225, p. 28-39, 2012.
- FISHER, B., TURNER, K.R., MORLING, P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. **Ecol. Econ.**, 68 (3) (2009), pp. 643–65.
- FIPE – Fundação Instituto de Pesquisas Economicas e Aplicadas. **Caracterização e dimensionamento do Turismo doméstico no Brasil (2007)**. São Paulo, 2009. 132p.
- GIANNANTONI, Corrado. The Maximum Ordinality Principle. **A Harmonious Dissonance**, 2010.
- GIANNETTI, B. F. et al. Emergy diagnosis and reflections towards Brazilian sustainable development. **Energy policy**, v. 63, p. 1002-1012, 2013.
- GRIGG, A., CULLEN, Z., FOXALL, J., CROSBIE, L., JAMISON, L. AND BRITO, R. (2009) **The Ecosystem Services Benchmark. A guidance document**. Fauna &

Flora International, United Nations Environment Programme Finance Initiative and Fundação Getulio Vargas.

GÓMEZ-BAGGETHUN, E. AND DE GROOT, R. (2010) Natural capital and ecosystem services: The ecological foundation of human society. In: Hester RE and Harrison RM (eds) **Ecosystem Services: Issues in Environmental Science and Technology**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 118–145.

GOULD, S.J., LLOYD, E.A., 1999. Individuality and adaptation across levels of selection: how shall we name and generalize the unit of Darwinism? **Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.** 96, 11904–119097

GUBITOSO, Silas et al. Estudo geoambiental da região circunjacente ao emissário submarino de esgoto do Araçá, São Sebastião (SP). **Rev. bras. geociênc.** [online]. 2008, vol.38, n.3, pp. 467-475. ISSN 0375-7536

INGWERSEN, Wesley W. Uncertainty characterization for emergy values. **Ecological Modelling**, v. 221, n. 3, p. 445-452, 2010.

IPEF – INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. 2007. Disponível em: <http://www.ipef.br/identificacao/euterpe.edulis.asp>. Acessado em 10/12/2015.

HOUDET, J., TROMMETTER, M., & WEBER, J. (2011). Understanding changes in business strategies regarding biodiversity and ecosystem services. **Ecological Economics**

HOSSAINI, Navid; HEWAGE, Kasun. Emergy accounting for regional studies: Case study of Canada and its provinces. **Journal of environmental management**, v. 118, p. 177-185, 2013.

JACOBI, PEDRO ROBERTO; SINISGALLI, PAULO ANTONIO DE ALMEIDA. **Governança ambiental e economia verde**. Ciência e Saúde Coletiva (Impresso), v. 17, p. 1469-1478, 2012.

JIANG, M. M. et al. Ecological evaluation of Beijing economy based on emergy indices. **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**, v. 14, n. 5, p. 2482-2494, 2009.

- KANG, Daeseok; PARK, Seok Soon. Emergy evaluation perspectives of a multipurpose dam proposal in Korea. **Journal of Environmental Management**, v. 66, n. 3, p. 293-306, 2002.
- LAMARQUE, P., QUETIER, F., LAVOREL, S. 2010. The diversity of the ecosystem services concept and its implications for their assessment and management. **Comptes Rendus Biologies**,
- LANZOTTI, C. R.; ORTEGA, E.; GUERRA, S. M. G. Emergy analysis and trends for ethanol production in Brazil. **Emergy Synthesis**, v. 1, 2000.
- LE CORRE, Olivier; TRUFFET, Laurent. Exact computation of emergy based on a mathematical reinterpretation of the rules of emergy algebra. **Ecological Modelling**, v. 230, p. 101-113, 2012.
- LEI, Kampeng; ZHOU, Shaoqi; WANG, Zhishi. **Ecological Emergy Accounting for a Limited System: General Principles and a Case Study of Macao**. Springer Science & Business Media, 2014.
- LIQUETE, C.; PIRODDI, C.; DRAKOU, E. G.; GURNEY, L.; KATSANEVAKIS, S.; CHAREF, A; EGOH. B. Current Status and Future Prospects for the Assessment of Marine and Coastal Ecosystem Services: A Systematic Review. **PLoS One**, 8 (2013), p. e67737
- LIU, Gengyuan; YANG, Zhifeng; CHEN, Bin. Emergy-based ecological economic evaluation of Beijing urban ecosystem. **Procedia Environmental Sciences**, v. 5, p. 18-24, 2011.
- MARTINEZ-ALIER, JOAN, GIUSEPPE MUNDA, AND JOHN O'NEILL. "Weak comparability of values as a foundation for ecological economics." **Ecological economics** 26.3 (1998): 277-286.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, BUSINESS AND INDUSTRY SYNTHESIS PANEL [MEA] (2005) **Ecosystems and Human Well-being: Opportunities and Challenges for Business and Industry**. *World Resources Institute, Washington, DC*.
- MATZDORF, Bettina et al. Paying for green. **Payments for Ecosystem Services in Practice. Successful examples of PES from Germany, the United Kingdom and the United States**. Available online: http://www.civilandzalf.org/download/PayingforGreen_PESinpractice.pdf (accessed on 2 October 2015), 2014.

MCLACHLAN-KARR, John; CAMPBELL, Daniel. **Emergy and Evaluating Ecosystem Services in a Sumatran Peat Swamp**, Indonesia. 2008. 16p

MURAWSKI, S., METHOT, R. AND TROMBLE, G. (2007) Biodiversity loss in the ocean: how bad is it? **Science** 316, 1281–1284.

NEUMAYER, ERIC. **Weak versus strong sustainability: exploring the limits of two opposing paradigms**. Massachusetts: Edward Elgar Publishing. 1999. p.95-139.

ODUM, H.T., 1971. **Environment, Power and Society**. John Wiley, NY, p. 336.

ODUM, H.T. **Energy, environment and public policy: A guide to the analysis of systems**. UNEP, United Nations Environmental Programme, Regional Seas Reports and Studies No. 95 (1988), p. 109

ODUM HT 1994 **Ecological and General Systems An Introduction to Systems Ecology** University Press of Colorado 644 pp.

ODUM, Howard T. **Environmental accounting**. Wiley, 1996.

ODUM, Howard Thomas. **Environment, power and society for the twenty-first century: the hierarchy of energy**. Columbia University Press, 2007.

ODUM, Howard T.; ARDING, Jan E. **Emergy analysis of shrimp mariculture in Ecuador**. The center, 1991.

ODUM, Howard T.; BROWN, M. T.; WILLIAMS, S. B. Handbook of emergy evaluation. **Center for environmental policy**, 2000.

ODUM, H. T.; COLLINS, Dennis. Transformities from ecosystem energy webs with the eigenvalue method. **Emergy Synthesis**, v. 2, p. 203-218, 2003.

ODUM, Howard Thomas; ROMITELLI, M. S.; TIGHE, Robert. Evaluation overview of the Cache River and black swamp in Arkansas. **Final report to Waterways Experiment Station, US Dept. of Army, Vicksburg, MS**, 1998.

- ODUM, H. T. & ODUM, E. C. **A Prosperous way down.** University Press of Colorado, Boulder. 2001. 326p.
- ORTEGA, E. et al. Energy comparison of ethanol production in Brazil: traditional versus small distillery with food and electricity production. Campinas (Brazil): **Universidade de Campinas**, 2003.
- PALUMBI SR, SANDIFER PA, ALLAN JD et al. 2009. Managing for ocean biodiversity: creating a national biodiversity conservation agenda to sustain marine ecosystem services. **Front Ecol Environ** 7: 204–11
- PEARCE, D.W., 1993. **Economic Values and the Natural World.** Earthscan, London.
- RAUGEI, M.; BARGIGLI, S.; ULGIATI, S. Emergy “Yield” Ratio. Problems and misapplications. **Emergy synthesis**, v. 3, p. 159e163, 2005.
- REEVE, H.K., KELLER, L., 1999. Levels of selection: burying the units-of-selection debate and unearthing the crucial new issues. In: Keller, L. (Ed.), **Levels of Selection in Evolution.** Princeton University Press, Princeton, NJ, pp. 3–14, 318 pp.
- ROCKSTRÖM, J., STEFFEN, W., NOONE, K., et al. 2009. A safe operating space for humanity. **Nature**, **461**, 472–475.
- SCIUBBA, Enrico. On the second-law inconsistency of emergy analysis. **Emergy**, v. 35, n. 9, p. 3696-3706, 2010.
- SCIUBBA, Enrico. What did Lotka really say? A critical reassessment of the “maximum power principle”. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 8, p. 1347-1353, 2011.
- SINISGALLI, P. A. de A. 2005. Valoração dos danos Ambientais de hidrelétricas: um estudo de caso. Tese de Doutorado. UNICAMP, Campinas, 213p.
- SINISGALLI, P. A. de A. 2006. A eMergia como indicador de valor para a análise econômica-ecológica. **Megadiversidade**, vol.2, N° 1/2, pag.18-23.
- SOBER, E., WILSON, D.S., 1998. **Unto Others: The Evolution and Psychology of Unselfish Behavior.** Harvard University Press, Cambridge, MA, 394 pp.

- SKYTTNER, Lars. **General systems theory: Problems, perspectives, practice**. World scientific, 2005.
- THE ECONOMICS OF ECOSYSTEMS AND BIODIVERSITY (TEEB). **Report for Business: Executive Summary** (2010). www.teebweb.org.
- THE INTERNACIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT/THE WORLD BANK. 2004. **How much is an ecosystem Worth? Assessing the Economic Value of Conservation**. 1818 H street NW, Washigton, DC.
- TILLEY, David Rogers. Howard T. Odum's contribution to the laws of energy. **Ecological modelling**, v. 178, n. 1, p. 121-125, 2004.
- VEIGA, José Eli da; CECHIN, Andrei D. **Economia socioambiental**. Ed. SENAC São Paulo, 2010.
- VOISIN, André. **Produtividade do Pasto**. Editora Mestre Jou, São Paulo. 1974, 520p.
- VON BERTALANFFY, Ludwig. The history and status of general systems theory. **Academy of Management Journal**, v. 15, n. 4, p. 407-426, 1972.
- WILLIAMS, G.C., 1992. **Natural Selection: Domains, Levels, and Challenges**. Oxford University Press, Oxford, 208 pp.
- WORM, B. (2006) Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. **Science**. 314:787-790
- WUNDER, S. (2005). **Payments for environmental services: some nuts and bolts** (No. CIFOR Occasional Paper no. 42, p. 24p).
- WUNDER, S., BORNER, J., TITO, M. R., & PEREIRA, L. S. **Pagamentos por serviços ambientais: perspectivas para a Amazônia Legal**. MMA. Brasília, 2009. 144p.