



**ABES** RBCiamb



EDIÇÃO 30

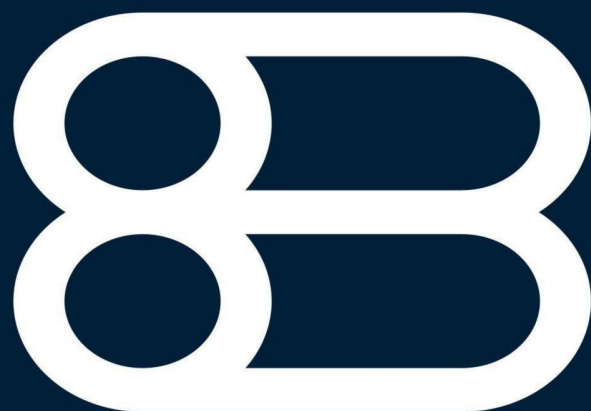
Dezembro/13



# Revista Brasileira de Ciências Ambientais

ISSN Impresso 1808-4524

ISSN Eletrônico 2176-9478



# ABES



# Revista Brasileira Ciências Ambientais



[www.ictr.org.br](http://www.ictr.org.br)

[www.fsp.usp.br/siades](http://www.fsp.usp.br/siades)

ISSN Impresso 1808-4524 / ISSN Eletrônico: 2176-9478

Dezembro de 2013 Nº 30

## Expediente

### Editores

- *Jorge Alberto Soares Tenório (USP)*  
*jtenorio@usp.br*
- *Denise Crocce Romano Espinosa (USP)*  
*espinosa@usp.br*
- *Valdir Fernandes (UP)*  
*vfernandes@up.edu.br*

### Secretaria Editorial

- *Soraia Fernandes*

### Editores

- *Soraia Fernandes*

### Comissão Editorial

- *Andrea Moura Bernardes (UFRGS)*
- *Arlindo Philippi Jr. (USP)*
- *Carlos Alberto Cioce Sampaio (PUC/PR)*
- *Celina Lopes Duarte (IPEN)*
- *Cláudio Augusto Oller do Nascimento (USP)*
- *Maria do Carmo Sobral (UFPE)*
- *Sérgio Martins (UFSC)*
- *Tadeu Fabrício Malheiros (USP)*

### **Submissão de artigos, dúvidas e sugestões:**

*rbciamb@gmail.com*

### **Instruções para autores**

*http://www.rbciamb.com.br/instrucoes.asp*

# Revista Brasileira Ciências Ambientais



[www.ictr.org.br](http://www.ictr.org.br)

[www.fsp.usp.br/siades](http://www.fsp.usp.br/siades)

ISSN Impresso 1808-4524 / ISSN Eletrônico: 2176-9478

Dezembro de 2013 Nº 30

## Expediente Edição Especial Indicadores

### Editores Convidados

*Tadeu Fabrício Malheiros (USP)*

*Sonia Maria Viggiani Coutinho (USP)*

*Arlindo Philippi Jr. (USP)*

### Secretaria Editorial

*Mayra Rodrigues Silva*

### Editoração

*Soraia Fernandes*

### Comissão Científica

Alberto Graciano Cabral  
Alcineu Lucchino  
Aldo Ometto  
Alejandro Dorado  
Alexandre de Oliveira e Aguiar  
Alexandre Hodja  
Amarilis Lucia Gallardo  
Ana Luiza Spinola  
Ana Paula Turetta  
Angélica Benatti Alvim  
Antonio Manuel Santos Oliveira  
Carla Grigoletto Duarte  
Carlos Alberto Cioce Sampaio  
Clauciana Schimdt  
Claudia Ruberg  
Cristiano Poleto  
Daniel Bertoli Gonçalves  
Daniel Caixeta Andrade  
Edson Pereira Tangerino  
Eugênio Batista Leite  
Fausto Miziara  
Flávio Luiz Cunha  
Frederico Yuri Hannai  
Glória Néspoli  
Jacqueline Bringhenti  
Janete Briganti  
José Cândido Stevaux  
José Paulo Pietrafesa

Juliana Pellegrini Cezare  
Katia Canil  
Laudemira Ribeiro  
Leandro Gonçalves Oliveira  
Leandro Luiz Giatti  
Lisete Celina Lange  
Marcelo Braga  
Márcio Rodrigues Lambais  
Maria Cristina Hayashi  
Maria Leonor Assad  
Maria Luiza Padilha  
Mario Alejandro Perez Rincón  
Martin Mundo Neto  
Nemésio Salvador  
Orencio Monje Vilar  
Paulino Barroso Medina Jr  
Rafaela Rosseto  
Roberta Signini  
Ruby Criollo  
Sebastião Neto Ribeiro Guedes  
Selma Castro  
Sérgio Roberto Martins  
Silvio Crestana  
Sonia Coutinho  
Taiane Darós  
Tatiane Veiga  
Tiago Cetrulo  
Valdir Schalch

# Revista Brasileira Ciências Ambientais



[www.ictr.org.br](http://www.ictr.org.br)

[www.fsp.usp.br/siades](http://www.fsp.usp.br/siades)

ISSN Impresso 1808-4524 / ISSN Eletrônico: 2176-9478

Dezembro de 2013 Nº 30

## Revista Brasileira de Ciências Ambientais Especial Indicadores WIPIS/SIADES

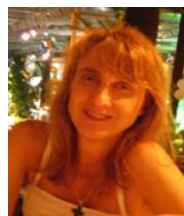
Observa-se significativa experiência acumulada nas últimas décadas na elaboração e no uso de indicadores para apoiar processos de tomada de decisão e divulgar informações à sociedade, e não há dúvidas que essa ferramenta é essencial na gestão para a sustentabilidade. No entanto, a sua operacionalização de forma continuada, nas diversas escalas e contextos ainda enfrenta grandes desafios. Esforços devem ser colocados para vencer obstáculos políticos, técnicos e tecnológicos, o que significa criar ambiente de diálogo e aprendizagem na sua aplicação. Permanente prioridade deve ser dada em processos de educação e capacitação para as diferentes partes interessadas, bem como investimento em pesquisa na elaboração e operacionalização de indicadores de sustentabilidade. Neste sentido, a REDE de Pesquisa SIADES - Sistema de Informações Ambientais para o Desenvolvimento Sustentável, criada em 2003, com apoio da CAPES, vem, desde então, ampliando parcerias e investindo em pesquisas. Para fortalecimento da Rede diversos eventos científicos foram realizados, destacando os encontros internacionais do WIPIS - Workshop Interdisciplinar de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade (2006, 2008 e 2011). A realização deste número da revista RBCiAmb, com foco nos indicadores de sustentabilidade, é resultado do compromisso da Rede SIADES em contribuir como fórum de diálogo no tema dos indicadores voltados à promoção do desenvolvimento sustentável. Assim, esta edição traz uma série de artigos que demonstram a diversidade de aplicações no tema. Há, nos diversos artigos, tanto abordagem de aspectos do processo de elaboração de indicadores, revelando avanços na questão da participação de atores sociais como peça importante no resgate de saberes da comunidade local conjuntamente com o conhecimento científico, quanto discussão de aspectos de conteúdo, revelando a possibilidade do uso de diferentes modelos, destacando suas potencialidades e desafios para

diferentes contextos e escalas de tomada de decisão. Outros artigos abordam o uso de indicadores em diferentes processos relacionados à formulação de políticas públicas, reforçando, portanto, um progressivo processo de maturidade na sua aplicação voltada ao desenvolvimento sustentável. Longe de ser um tema pronto e acabado, o campo de estudos e aplicações de indicadores de sustentabilidade permanece desafiante e extremamente estimulante.

Boa Leitura,



**Tadeu F. Malheiros**  
(Editor Convidado)



**Sonia Maria Viggiani Coutinho**  
(Editora Convidada)



**Arlindo Philippi Jr.**  
(Editor Convidado)

# Revista Brasileira Ciências Ambientais



[www.ictr.org.br](http://www.ictr.org.br)

[www.fsp.usp.br/siades](http://www.fsp.usp.br/siades)

ISSN Impresso 1808-4524 / ISSN Eletrônico 2176-9478

Dezembro de 2013 Nº 30

## Índice

**01 - Diagnóstico e construção de indicadores socioambientais participativos: experiências de um Programa de Extensão**

Cristiane Mansur de Moraes Souza  
Carlos Alberto Cioce Sampaio  
Christian Henrique Zuniga  
Adriana Dias Pasco  
Juarês José Aumond

**11 - Em busca do Graal do indicador ambiental sintético único: contribuições da Termodinâmica e da Teoria da Informação**

Paulo Mantey Domingues Caetano

**21 - Definição de indicadores de conservação de corpos de água para avaliação da sustentabilidade de fazendas pantaneiras**

Débora Fernandes Calheiros  
Márcia Divina de Oliveira  
Márcia Toffani Simão Soares  
Helano Póvoas de Lima  
Sandra Aparecida Santos

**33 - Indicadores de sustentabilidade: proposta de um barômetro de sustentabilidade estadual**

Tiago Balieiro Cetrulo  
Natália Sanchez Molina  
Tadeu Fabricio Malheiros

**46 - Considerações acerca da Política de Mudança do Clima no Município de São Paulo**

*Lei nº 14.933 de 5 de Junho de 2009*  
Safira De La Sala

**56 - Método baseado em indicadores de sustentabilidade para escolha de estações de tratamento de esgoto**

Alexandre Bevilacqua Leoneti  
Sonia Valle Walter Borges de Oliveira  
Eduardo Cleto Pires

**68 - Avaliação do nível de maturidade em sustentabilidade através do Modelo Hierárquico de Lowell**

Klayton Eduardo da Rocha  
Juliana Veiga Mendes  
Virgínia Aparecida da Silva Moris

**79 - Estudo de distintos níveis holárquicos para uma região metropolitana por meio da aplicação de Indicadores de sustentabilidade ambiental e de saúde**

Leandro Luiz Giatti  
Carlos Machado de Freitas  
Paulo Roberto do Nascimento  
Rubens Landin  
Juliane Gavioli  
Silvana Audrá Cutolo  
Natasha Ceretti Maria  
Amanda Silveira Carbone  
Renata Ferraz de Toledo

**89 - Uma análise do Projeto "Cenários Ambientais 2020" proposto pela Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo**

Ana Paula Maria Regra  
Carla Grigoletto Duarte  
Tadeu Fabrício Malheiros

**99 - Análise da compatibilidade de indicadores de desenvolvimento humano e sustentável do sistema das Nações Unidas com o BellagioSTAMP**

André Giovanini de Oliveira Sartori  
Ricardo da Silva Siloto

# Diagnóstico e construção de indicadores socioambientais participativos: experiências de um Programa de Extensão

## Diagnosis and construction of participatory socio-environmental indicators: experiences of an outreach program

### RESUMO

A experiência aqui relatada descreve o primeiro ano do projeto de pesquisa/extensão "Indicadores Socioambientais para a Gestão Territorial Participativa da Microbacia hidrográfica do Rio Sagrado", inserido no programa de extensão "Diagnóstico Socioambiental Participativo da Microbacia Hidrográfica do Rio Sagrado, Morretes (PR)", que teve por objetivo unir esforços de análise de vulnerabilidade à ocupação humana ao projeto de indicadores socioambientais participativos. O programa de extensão acontece no contexto de uma Zona de Educação para o Ecodesenvolvimento (ZEE). O processo de educação que se preconiza na ZEE trata de impulsionar diagnósticos participativos vistos como ponto de partida para estratégias de ecodesenvolvimento, onde a perspectiva da cultura local deixa de ser relegada ao nível de crenças infundadas e passa a ser considerada como fonte potencial de dados. Este artigo descreve a construção participativa de indicadores socioambientais. Caracteriza-se como pesquisa descritiva, para poder detalhar as etapas nos seus tempos diferentes e ação pedagógica. Após três anos de interações com a comunidade, o principal resultado foi a tomada de consciência da necessidade de preservar a biodiversidade local e as potencialidades na conservação do seu modo de vida. A experiência revelou-se como alternativa viável na proposição de políticas públicas que visam a sustentabilidade, a partir de uma perspectiva interdisciplinar rumo a transdisciplinaridade, privilegiando os saberes da comunidade local conjuntamente com o conhecimento científico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Participação social; Indicadores socioambientais participativos; Conhecimento científico; Sabedoria tradicional; Bacia Hidrográfica.

### ABSTRACT

The experience here reported describes the first year of a research / extension project named "Social and Environmental Indicators for Participatory Land Management of Rio Sagrado's Watershed Basin" in the context of the extension program "Participatory Environmental Diagnosis of Rio Sagrado's Watershed Basin in Morretes (PR)", which aimed to unite the efforts made to analyze the vulnerability to human occupation and the project for participatory environmental indicators. The extension program took place within the Education for Eco-Development Zone (EEZ). The process of education that is advocated in the EEZ aims to encourage the participatory diagnosis, seen as a starting point for the development of eco-strategies, in which the local culture's perspectives cease to be relegated to the level of unfounded beliefs, being recognized as a potential source for data. This article describes a participatory construction of social and environmental indicators. It is a descriptive study, so as to give details of each stage, their timing and pedagogic actions. After three years of community interactions, local people have become aware of the need to preserve the territory's biodiversity and the potential preservation of their own living way. This experience has proved to be a viable alternative in proposing public policies aimed at sustainability, from an interdisciplinary perspective towards transdisciplinarity, valuing community's knowledge and the scientific one.

**KEYWORDS:** *Social participation; socio-environmental participatory indicators; scientific knowledge; community's knowledge; hydrographic basin.*

**Cristiane Mansur de Moraes Souza**

Dr<sup>a</sup> Ciências Humanas, docente do Programa de Pós-Graduação em Des. Regional e do curso de Arquitetura e Urbanismo - FURB

Blumenau, SC, Brasil

arqcmansur@gmail.com

**Carlos Alberto Cioce Sampaio**

Dr. Engenharia de Produção, docente do Curso de Turismo e da Pós-Graduação em Gestão Urbana da PUC e Programa de Pós-Graduação em Des. Regional / FURB.

Curitiba, PR, Brasil

carlos.cioce@gmail.com

**Christian Henrique Zuniga**

Doutorando em Ciências Humanas, docente CEAM-PHAS e do Programa de Pós-Graduação em Des. à Escala Humana e Economia Ecológica UACH

Chile

christianhen@gmail.com

**Adriana Dias Pasco**

Mestre em Des. Regional, Assessora de Projetos da FURB

Blumenau, SC, Brasil

adriadiasp@gmail.com

**Juarês José Aumond**

Dr. Eng. Civil, docente do Programa de Pós-Graduação em Des. Regional e do PPG em Eng. Ambiental da FURB

Brusque, SC, Brasil

juares.aumond@gmail.com

## INTRODUÇÃO

No início do século XXI, a percepção das mudanças climáticas globais, aliada ao modelo vigente de uso e ocupação do solo, vem desencadeando desastres ambientais sem precedentes. As mudanças climáticas são compreendidas como alterações do clima decorrentes da variabilidade natural e da atividade humana ao longo do tempo (IPCC, 2007). Entre os dados de temperatura existentes, 11 dos 12 anos entre 1995 – 2006, data do último relatório do (IPCC, 2007) estão entre os mais quentes registrados, desde 1850. Por sua vez, a Estratégia Internacional para a Redução de Desastres, campanha mundial instituída em 2006/2007, definiu que a redução de desastres se inicia pela educação.

O projeto aqui descrito propõe uma ação educativa para a construção de indicadores socioambientais, a partir de um projeto de pesquisa/extensão que os identifica. Neste sentido, estratégias de gestão ambiental podem ser pautadas no respeito ao meio ambiente e participação do cidadão. A gestão ambiental é entendida como a articulação e a negociação de diferentes agentes sociais que visa à sustentabilidade socioambiental, sendo ainda um processo político apoiado em bases técnicas e científicas (FRANK, 1995). De modo simplificado, entende-se que o objetivo maior da gestão ambiental é o estabelecimento de um processo que possa levar a um desenvolvimento sustentável.

A experiência aqui relatada descreve o primeiro ano do projeto de pesquisa/extensão “Indicadores Socioambientais para a Gestão Territorial Participativa da Microbacia do Rio Sagrado”, inserido no programa de extensão “Diagnóstico Socioambiental Participativo da Microbacia Hidrográfica do Rio Sagrado, Morretes (PR)”, que teve por objetivo unir esforços de análise de vulnerabilidade à ocupação humana

ao projeto de indicadores socioambientais participativos, que procurou monitorar o indicador deslizamento de massa, ou seja, as áreas susceptíveis a deslizamentos. Além deste projeto, o “programa de extensão diagnóstico” incorpora outro, sob o título “Análise Socioambiental Participativa das localidades Candonga e Rio Sagrado de Cima”, convergindo para estabelecer redes de cooperação entre a sociedade civil organizada, poder público e pesquisadores em direção a um pacto territorial.

O projeto “Indicadores Socioambientais para a Gestão Territorial Participativa da Microbacia do Rio Sagrado” teve como objetivo construir, a partir da percepção comunitária dos problemas ambientais locais, uma metodologia de indicadores socioambientais para a gestão participativa do território. O objetivo do projeto de extensão “Análise Socioambiental Participativa das localidades Candonga e Rio Sagrado, Morretes (PR)”, vinculado ao mesmo programa de extensão, foi no primeiro ano levantar e analisar o sistema natural: ou seja, dados dos atributos do meio-físico natural como delimitação da Microbacia Hidrográfica do Rio Sagrado, geologia, transectos geoambientais, relevo, hipsometria, legislação ambiental; e para o segundo ano cruzar estas informações identificando áreas de vulnerabilidade à ocupação humana, ou seja, áreas susceptíveis a deslizamentos ou cheias periódicas.

O projeto Indicadores Socioambientais para a Gestão Territorial Participativa é o foco principal deste artigo. Tal projeto considera a metodologia de Wautiez e Reyes (2000), na qual foram selecionados alguns indicadores socioambientais que poderiam ser monitorados por diferentes atores da Microbacia Hidrográfica em referência. A seleção dos indicadores partiu de um diagnóstico dos problemas ambientais locais. O diagnóstico foi

chamado de intergeracional, porque envolveu crianças, jovens, adultos e idosos e pretendeu responder a questão norteadora: Qual seria a abordagem para os conflitos ambientais na tentativa de construção de um pacto territorial, entre sociedade civil organizada, poder público e pesquisadores?

O programa apresentou-se como um primeiro passo na construção deste pacto, no sentido de mediar conflitos ambientais locais. Neste sentido o “projeto indicadores” caracterizou-se como o estabelecimento de um diálogo de abordagem territorial útil para a construção de políticas públicas que possam começar a responder as necessidades locais, uma vez que o resultado do monitoramento dos indicadores estabelecidos poderia servir de subsídio para a formulação de políticas públicas que consideram estes indicadores locais como ferramentas para monitorar a realidade local e uma forma de prevenir a ocupação de áreas vulneráveis à ocupação humana na localidade.

O termo indicador tem sua origem no latim “*indicare*” que significa revelar e apontar (GARCIA e GUERRERO, 2006). Os indicadores podem ser definidos como variáveis dotadas de significados, derivados de uma configuração científica e que refletem de forma sintética, no caso da vertente socioambiental, um interesse social pelo ambiente, e que podem subsidiar processos de tomada de decisão. O uso de indicadores consiste na agregação e quantificação de informações de maneira que sua significância fique mais evidente. Os indicadores procuram simplificar as informações existentes sobre fenômenos, considerados complexos, tentando melhorar com isso o processo de tomada de decisão e, por sua vez, a comunicação (VAN BELLEN, 2006). Conseqüente, os indicadores para sustentabilidade são ferramentas capazes de avaliar progressos na direção do desenvolvimento sustentável.



A metodologia adotada se inspira na visão interdisciplinar, rumo a transdisciplinaridade, que reconhece a sabedoria tradicional como um modo de conhecimento, de fundamental importância, tal como o conhecimento científico e admite que ambos os conhecimentos são complementares. O estudo se inspira na metodologia de pesquisa, no entanto neste trabalho se adotou um enfoque descritivo para contar a experiência em questão, que buscou pacto territorial na interação entre lideranças comunitárias de instituições como associações de moradores do Rio Sagrado (AMORISA), Associação Comunitária Cadonga (Cozinha Comunitária) e o movimento Força Jovem, com pesquisadores da Universidade Regional de Blumenau, Universidade Federal do Paraná e Universidade Austral do Chile. Inclusive, como resultados desta interação, vieram a ser produzidas duas dissertações de mestrado, além de outras em temas convergentes. O envolvimento de diversos pesquisadores (nacionais e internacionais) acabou gerando instâncias propícias que influenciaram no aumento da autoestima e da autogestão na comunidade.

Para alcançar o objetivo de descrever a experiência de diagnóstico e construção participativa de indicadores socioambientais, partindo da Zona de Educação para o Ecodesenvolvimento da Microbacia Hidrográfica do Rio Sagrado, área rural do município de Morretes (PR) – Brasil, estrutura-se este trabalho nas seguintes partes: Introdução que contextualiza o presente trabalho; Breve caracterização da Microbacia Hidrográfica do Rio Sagrado; Metodologia e resultados da pesquisa; Fundamentação teórica que remete a superação da dicotomia entre conhecimento científico e sabedoria tradicional; Resultados do diagnóstico intergeracional: diálogos

participativos para o desenvolvimento territorial sustentável e Considerações finais.

### BREVE CARACTERIZAÇÃO DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SAGRADO

O território da Microbacia Hidrográfica do Rio Sagrado, assim como a APA de Guaratuba e parte do litoral brasileiro, está localizado no município de Morretes, estado do Paraná, e abriga entre outras comunidades, as que são foco do programa de diagnóstico socioambiental tratado neste artigo: Brejumirim, Candonga, Canhembora e Rio Sagrado de Cima. Este território hospeda a Floresta Atlântica Brasileira e segundo Alvarez (2008) em função da diversidade da Mata Atlântica, surge a denominação “Floresta ombrofila” (ombro= sombra; fila=amiga) densa.

Com relação aos aspectos socioculturais e socioétnicos, como se aponta na etnografia de Álvarez (2008), havia a presença de comunidades indígenas (Tupis, Guaranis e Carijós, entre outros), africanos e europeus (colonizadores alemães e italianos), conforme atesta o estudo de Alvarez (2008) que registra parte de uma entrevista: “(...) A raiz disto, o lugar

chamado Rio Sagrado, era a sede da nação indígena (...), aqui viviam de seis a oito mil índios carijós”. O mesmo estudo aponta ainda, o início da migração para o território:

“Estamos falando de 1938, aqui tudo era mato e o caminho estava totalmente fechado por ele, dificilmente havia moradores. Os moradores eram tão poucos que dava para contar com a mão (...) havia oitos habitantes desde aqui até a escola (...) quando a mãe veio para morar aqui, ela diz que havia índios no alto da serra (...) eles eram mansos.” ... “A gente chegou numa época em que chovia muito, oito meses: havia dois dias de sol e o resto da semana era só chuva...” (entrevista de Maria de Conceição), (ALVAREZ, 2008).

Em relação aos aspectos socioeconômicos, Keller Alves (2008) aponta que o local concentra 520 famílias, sendo que cerca de 270 são consideradas residentes e 250 não residentes (proprietários de chácaras ou sítios de lazer). Trata-se de uma comunidade que busca mecanismos de adaptação na



Figura 1 – a) exemplares de artesanato confeccionados pela artesã. e b) Artesã da comunidade do Rio Sagrado fazendo artesanato a partir do cipó imbé

tentativa de superação de crises econômicas, baseando-se principalmente na “pluriatividade” ou também chamado “polirubismo” da agricultura familiar, no artesanato com fibras naturais (FIGURA 1) e turismo de base comunitária.

## METODOLOGIA

Embora existam controvérsias quanto aos benefícios e malefícios da cientificidade, tem-se como ponto de partida que a pesquisa interdisciplinar rumo a transdisciplinaridade vem a corrigir muitas das distorções monodisciplinares, sobretudo quando esta releva formas de conhecimento, tratadas sob a designação de saberes locais. Para isso, a pesquisa-ação participativa tem como princípio o envolvimento da população diretamente beneficiada no *design* da pesquisa, na coleta de dados e no desenvolvimento do projeto, de maneira a relevar tais conhecimentos (SEIXAS, 2005).

A pesquisa-ação é uma técnica definida por Thiollent (1986, p. 14) como:

[...] um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

Denker (2003) salienta que a técnica de pesquisa-ação é útil para a solução de problemas comunitários e Thiollent (1986, p. 16) acredita que

[...] a ideia de pesquisa-ação encontra um contexto

favorável quando os pesquisadores não querem limitar suas investigações aos aspectos acadêmicos e burocráticos da maioria das pesquisas convencionais. Querem pesquisas nas quais as pessoas implicadas tenham algo a “dizer” e a “fazer”.

Ou seja, não se trata de simples levantamento de dados ou de relatórios a serem arquivados. A pesquisa-ação favorece que pesquisadores desempenhem um papel ativo na própria realidade dos fatos observados.

A pesquisa-ação participativa encontra-se interconectada com a ecopedagogia (GUTIÉRREZ e PRADO, 1999), onde de acordo com McArthur, citado por SEIXAS (2005) “os próprios membros comunitários podem ser compreendidos como educandos e educados em um processo de ensino-aprendizagem colaborativo, na identificação de problemas comuns que dizem respeito ao território” (p. 75). Segundo Chambers, citado por SEIXAS (2005) “não se poderia compreender os problemas e suas possíveis soluções sem participação ativa das comunidades envolvidas” (p. 75). Assim, teve-se como motivação o empoderamento das populações economicamente menos favorecidas, dando voz e valorizando o uso do conhecimento tradicional (SEIXAS, 2005; HENRIQUEZ *et al.*, 2009, HENRIQUEZ, 2009).

Os dados levantados foram definidos, na sua maioria, pela participação da comunidade local e não pelos pesquisadores envolvidos no processo. Estes assumiram o papel de facilitadores do processo de pesquisa, na construção de instrumentos para a coleta de dados, na própria coleta e em suas análises.

O caminho traçado para a identificação de indicadores socioambientais consistiu basicamente em duas vertentes: (a) conhecimento científico e (b)

sabedoria tradicional. A vertente do conhecimento científico envolveu a análise dos fatores físico naturais da Microbacia Hidrográfica e se desenvolveu a partir de uma equipe multidisciplinar formada por estudantes e professores de variadas áreas: geógrafo, geólogo, engenheiro florestal e arquiteto. A vertente da sabedoria tradicional envolveu, por sua vez, o diagnóstico intergeracional, realizado a partir da cartografia temática ambiental, com crianças, jovens, adultos e idosos das quatro comunidades antes citadas (Brejumirim, Canhembora, Candonga e Rio Sagrado de Cima).

O diagnóstico intergeracional realizado com crianças produziu um mapa mental e uma maquete do território em três dimensões. O diagnóstico que foi realizado com os jovens complementou a cartografia realizada anteriormente a partir do conhecimento científico (mapas) e inseriu objetos do cotidiano da comunidade, a partir da percepção deles, como por exemplo, mapas sobre problemas ambientais locais que a posteriori foram reafirmados no diagnóstico realizado com os adultos. Junto aos adultos também se completou a cartografia e, conseqüentemente, identificaram-se problemas ambientais similares. Na sequência foi desenvolvido um trabalho com os idosos, a partir de entrevistas semiestruturadas que produziram uma visualização da problemática territorial em uma perspectiva histórica. Para finalizar o diagnóstico intergeracional participativo, procedeu-se a realização de um transecto, a partir da estrada da Canavieiras, que possibilitou a priorização dos problemas socioambientais identificados por crianças, adolescentes, adultos e idosos (SEIXAS, 2005). A partir deste diagnóstico, construíram-se, participativamente, os indicadores socioambientais.



Figura 2 - Jovens elaborando o mapa de atividades produtivas, resultado da pesquisa/extensão

## RESULTADOS DO DIAGNÓSTICO INTERGERACIONAL: DIÁLOGOS PARTICIPATIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO TERRITORIAL SUSTENTÁVEL

Na etapa do diagnóstico realizada com crianças das escolas municipais rurais das comunidades Candonga e Canhembora (e que também abrigam crianças de Brejumirim e Rio Sagrado de Cima) foram desenvolvidas quatro oficinas, nas quais se obteve como resultado a identificação de elementos da natureza se sobrepondo aos elementos de origem antrópica. Por, exemplo, uma árvore quando desenhada próximo de uma casa, proporcionalmente era bem maior. Esta etapa está descrita e analisada em outro trabalho (SEPULVEDA, 2009). A mesma etapa foi realizada com os jovens ocorreu no âmbito do Programa de Honra em Estudos e Práticas em Ecosocioeconomia / Projeto Intervivência Universitária, financiado pelo CNPq. Foi um programa conectado com práticas de ecopedagogia, no qual filhos de agricultores e moradores das quatro comunidades citadas da Microbacia do Rio Sagrado alojaram-se por cerca de uma semana nas dependências das universidades (FURB e UFPR). Neste período, os jovens participaram de diversas oficinas com temas que estimulavam a discussão para a

solução de problemas do território do Rio Sagrado. Como ilustração desta etapa de diagnóstico, os jovens realizaram um mapeamento da identidade territorial e das principais atividades produtivas (FIGURA 2) e seus respectivos problemas ambientais. Foram ainda realizados exercícios de reconhecimento cartográfico da delimitação da Microbacia Hidrográfica do Rio Sagrado, além do mapeamento de localização das residências dos jovens, das famílias associadas, ou seja, do cotidiano vivencial. Pode-se constatar que muitos deles compartilhavam visões similares acerca dos problemas ambientais do território, discutindo e comprometendo-se com possíveis mudanças futuras.

Nesta etapa do diagnóstico, produziu-se paralelamente um mapa de identidade da Microbacia do Rio Sagrado, com objetivo de definir, a partir da visão dos jovens moradores do local, quais os elementos da paisagem natural ou construída se podia identificar no território. A síntese do mapa de identidade determinou elementos como bares, mercearias, bazares, lojas de materiais de construção; escolas; posto de saúde; pizzaria; casas; cozinha e biblioteca comunitária; igrejas; pousadas; viveiros; Associação de Moradores do Rio Sagrado (AMORISA) e as agroindústrias de banana seca. Aqui observou uma diferença significativa entre a etapa realizada com as

crianças, isto é, onde elementos de origem antrópica (casa, carro, etc.) sobressaíram em relação aos naturais. Incentivou-se a confecção de um mapa das atividades produtivas, a partir da perspectiva de pares de jovens envolvidos no Programa de Honra. A legenda proposta e acatada pelo grupo levantou as seguintes atividades produtivas: comércio, agricultura, turismo e artesanato. A agricultura foi posteriormente reclassificada em cultivo de condessa, mandioca, palmeira, pupunha, tomate, maracujá, chuchu, mexerica, milho, berinjela, flores, caqui, laranja e banana (FIGURA 3). Ministrou-se uma aula expositiva sobre bacias hidrográficas, vulnerabilidade ambiental deste ecossistema e sua importância como unidade de planejamento. Tomou-se contato com uma maquete (escala 1: 25.000) da Microbacia Hidrográfica do Rio Sagrado (FIGURAS 4) elaborada pelos estudantes universitários de iniciação científica do projeto "Análise dos fatores físico-naturais da Microbacia Hidrografia do Rio Sagrado". Como consequência, o projeto de pesquisa/extensão em foco possibilitou que os jovens moradores do Rio Sagrado colocassem bandeiras na maquete no local correspondente onde moram, despertando a percepção que a Microbacia representa um ecossistema. Em outro encontro, foram levantados os problemas ambientais e localizados no mapa da





Figura 3 - Mapa de Classes de agricultura

Fonte: resultado da etapa concepção de indicadores socioambientais, arquivo dos autores.

Microbacia para que possíveis diretrizes de ações pudessem ser apontadas.

Como fechamento da Oficina do Programa de Honra em Estudos e Práticas em Ecosocioeconomia ocorreu apresentação dos mapas, por cada par de jovens comunitários, aos estudantes universitários e professores. A ocasião foi ainda um espaço para ampliar o debate em

torno das causas e efeitos de padrões de modos de vida pouco comprometidos com a complexidade socioecossistêmica do território correspondente à Microbacia do Rio Sagrado, propondo uma continuidade dos conteúdos abordados nas próximas oficinas.

A oficina com adultos teve início, uma vez finalizadas as oficinas com os jovens, seguindo em alguns

casos o mesmo padrão das oficinas anteriores, trabalhando com base na cartografia (saber científico), nas quais foram identificadas as principais atividades produtivas e conseqüentemente os principais problemas ambientais decorrentes dessas atividades. Cabe ressaltar que no início do trabalho os adultos se mostraram um pouco distantes, pois apresentavam muita dificuldade de entender o território



representado a partir de um mapa. O trabalho com adultos possibilitou perceber que a cartografia realizada pelos pesquisadores apresentava alguns erros, o que dificultava a orientação no mapa. Foi assim, como resultado desta primeira fase de oficina com os adultos, que os mapas foram corrigidos nas questões de caminhos, pontes e estradas. Foi então que se pode compreender o quão importante foi trabalhar participativamente e misturando distintos tipos de conhecimentos.

O trabalho com os adultos foi desenvolvido em oficinas. Primeiramente explanou-se sobre a importância de considerar os mapas como ferramenta de compreensão do processo de desenvolvimento no território. Antes de entrar na discussão dos mapas, considerou-se levantar alguns dos dados apresentados por Keller Alves (2008), como por exemplo, 52% da comunidade queimam seu lixo e 15% os enterram. Destacou-se a origem dos problemas de lixo próprios daquela comunidade; depois foram apresentados vídeos sobre o trabalho realizado com jovens, mapeamentos das atividades produtivas e os principais problemas ambientais identificados pela própria comunidade.

O processo de mapeamento das atividades produtivas feito pelos adultos não apresentou grandes diferenças em relação ao mapeamento feito pelos jovens. As diferenças estiveram marcadas pela identificação dos problemas ambientais, pois para um grupo considerável de adultos, não se visualizava problemas ambientais locais. Eles consideravam que no local existe muita “mata”, água e bichos. O fato da natureza do local ser exuberante e ainda abundante faz com que os adultos não percebam problemas. Contudo, após a terceira oficina e demais atividades, eles mudaram sua opinião.

Entre as principais atividades produtivas identificadas



Figura 4 - elaboração da maquete (escala 1:25.000) da Microbacia Hidrográfica do Rio Sagrado, que teve por objetivo de subsidiar a pesquisa e extensão do programa diagnóstico socioambiental participativo;

Fonte: resultado do trabalho, arquivo dos autores.

pelos adultos constou-se: comércio, agricultura, turismo e artesanato. Alguns dos principais problemas ambientais identificados pelos adultos foram: desmatamentos, caça, uso de agrotóxicos na agricultura e diminuição da quantidade de água da microbacia hidrográfica do Rio Sagrado, sendo este último o problema destacado com maior consenso.

Por último, dando continuidade ao trabalho com o grupo da melhor idade realizaram-se entrevistas semiestruturadas e com perguntas abertas. Os diálogos mantidos com a melhor idade, como eles se denominam, trouxe aprendizados em relação a história do local e as mudanças na paisagem. Em algumas entrevistas os pesquisadores apresentaram o mapa corrigido na etapa anterior, contudo foram identificados ainda mais elementos que permitiram finalizar o mapa temático de localização das comunidades.

Por ocasião do debate em torno das causas e efeitos dos padrões de modos de vida identificados no território, assim como detectadas as principais atividades produtivas e os problemas ambientais, procedeu-se à fase denominada de priorização das atividades produtivas e dos problemas ambientais identificados pelos moradores locais e pelos pesquisadores em campo. A etapa

de priorização foi desenvolvida com base na metodologia proposta por Seixas (2005), denominada transecto. Para Seixas (2005, p. 92) a metodologia transecto “baseia-se na coleta de informações durante caminhadas de reconhecimento de uma dada área, mediante observações sistemáticas da topografia, dos recursos, e atividades humanas existentes”.

O produto final desta fase foi uma representação gráfica plana e sem escala, que cortou uma parte representativa da Microbacia e buscou priorizar, sistematizar e interpretar as informações obtidas nas etapas anteriores do diagnóstico. Além disso, esta metodologia propiciou o encontro de gerações, e também possibilitou que professores, pesquisadores e estudantes da graduação e pós-graduação pudessem trocar suas diferentes percepções com os moradores locais.

A fase seguinte do diagnóstico teve o objetivo de construir alguns indicadores locais para a sustentabilidade. A partir da metodologia proposta por Wautiez e Reyes (2000) foram escolhidos alguns indicadores socioambientais que chamaram a atenção dos diferentes atores da Microbacia, e segundo os autores citados acima, os critérios de seleção para os indicadores precisariam ser: quantificáveis; relevantes para a

sustentabilidade; vinculantes; compreensíveis, chamativos, interessantes, ressonantes; baseados em causas e não em sintomas; desenvolvidos pela comunidade; com validade para toda a comunidade; orientados para ação; comparáveis no tempo; credíveis e com custo e efeito.

Considerando os critérios acima, elaboraram-se alguns indicadores/ações socioambientais a partir dos problemas levantados pela própria comunidade, a saber: (1) Desmatamento: bioindicadores; (2) Ausência da mata ciliar: bioindicadores e placa de sinalização com depoimento sobre importância da mata ciliar; (3) Plantações em áreas de mata ciliar: quantidade de famílias que possuem plantações em áreas indevidas e bandeiras vermelhas para identificar plantações que não estão respeitando as leis; (4) Acúmulo de lixo: quantidade de lixo gerado por família/ mês e quantidade de material reciclado por família/mês, e placa de sinalização com o tempo de decomposição de alguns sólidos; (5) Água parada: bioindicadores e barquinhos coloridos em pontos de água parada; (6) Diminuição ou aumento do nível de água no rio; (7) Lixo na água: quantidade de lixo coletado em caminhadas semestrais pela Microbacia, quantidade de casas que possuem tratamento de esgoto; e (8) Espaços em desuso: taxa de desemprego na comunidade, número de residentes das comunidades que possui emprego no mesmo bairro e número de livros emprestados por semana na biblioteca.

Pensando na continuidade do diagnóstico, alguns indicadores foram sendo monitorados pela comunidade, a partir de instrumentos por ela confeccionados, como por exemplo: pluviômetros elaborados com garrafas de plástico e estacas colocadas em pontos estratégicos nas comunidades participantes do projeto. A continuidade desta proposta de indicadores

socioambientais partiu de uma segunda oficina do Programa de Honra em Estudos e Práticas em Ecosocioeconomia. Na oportunidade buscou-se iniciar um processo de monitoramento de indicadores ambientais com o objetivo de avaliar se existem mudanças de comportamento da população local, no contexto da pesquisa ação participante na Zona de Educação para o Ecodesenvolvimento e qualificar os jovens para a mensuração e monitoramento dos indicadores socioambientais participativos.

As atividades realizadas na oficina de indicadores, com os Jovens de Rio Sagrado, no âmbito da segunda oficina do Programa de Honra e Práticas em Ecosocioeconomia são compostas por: lixômetro: produção de lixo mensal/família; jogos e brincadeiras para entendimento da separação e reaproveitamento do lixo; palestra sobre movimento de massa e indicadores de densidade para prevenção de movimentos de massa; construção do pluviômetro; mata nativa: indicador de pressão – estado/resposta; estado e volume da água; bioindicadores: presença biótica para análise do estado da água; construção de estacas para monitoramento do nível de água do rio. Foram realizadas palestras como os temas acima relacionados para qualificar os membros comunitários no monitoramento de indicadores. A próxima etapa realizada foi a divulgação dos resultados dos trabalhos junto as autoridades locais para melhor qualificação na elaboração de políticas públicas e que considerariam esses indicadores socioambientais como ferramenta de acompanhamento da realidade local.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Explicitou-se, então, uma metodologia de diagnóstico socioambiental participativo, que pode servir de subsídio para a elaboração políticas públicas, que

possam vir a consolidar o pacto territorial almejado, entre comunidade e poder público, a partir do monitoramento comunitário de indicadores socioambientais.

Como resultado da experiência relatada, verificou-se que a transição para sustentabilidade, isto é, o caminho para um desenvolvimento sustentável implica estabelecer um contrato social amplo, no qual a complexidade do cotidiano é identificada por aqueles que ali vivem, ou melhor, nascem, crescem, amam, trabalham e morrem. Isto determina a importância de se considerar diferentes grupos etários, de gênero, classes sociais, escolarização, entre outros, na identificação dos problemas ecosocioeconômicos, bem como nas suas soluções, que, por sua vez, possam ser monitorados por indicadores socioambientais. Tal processo representa a construção participativa de políticas públicas territoriais.

Neste sentido, o projeto possibilitou o estabelecimento de um diálogo de abordagem territorial útil para a construção de políticas públicas que respondam efetivamente às necessidades locais, uma vez que cada território tem suas singularidades de acordo com a realidade que seus membros vivenciam. Finalmente, este trabalho tratou de uma abordagem que reconhece que cada território tem suas próprias dinâmicas, e que delas deve partir a elaboração e execução de políticas públicas para o desenvolvimento sustentável. Assim, o pacto territorial proposto (no caso das quatro comunidades de Rio Sagrado, representado por um arranjo socioproductivo de base territorial) apresenta-se como uma alternativa viável a ser considerada na elaboração de políticas públicas de gestão participativa no território da Microbacia do Rio Sagrado.

Acompanhando as discussões emergentes em torno da sustentabilidade, questiona-se

atualmente sobre a possibilidade de criação de indicadores mais abrangentes, capazes de contemplar variáveis econômicas, sociais e ambientais e, ao mesmo tempo, serem validados pelos grupos de influência. No entanto, com a crescente publicização da problemática socioambiental, ganha visibilidade a necessidade de se pensar alternativas ao que socialmente chama-se de desenvolvimento. Diante deste cenário, a construção participativa de diagnósticos e indicadores requerem abordagens que abandonem a perspectiva unidisciplinar e o raciocínio cartesiano. O ambiente complexo, incerto e instável, exige abordagens ecossociosistêmicas, isto é, que sejam integradas, inter-rumo a transdisciplinaridade, que reconheçam novos campos de pesquisa, capazes de indicar caminhos alternativos para os desafios que se apresentam.

Nesta direção, há que se revitalizar conceitos e construir novos constructos teórico-empíricos fazendo emergir, assim, o conceito de Ecosocioeconomia e de Zona de Educação para o Ecodesenvolvimento, conceitos estes que coadunam com a perspectiva inter/transdisciplinaridade, propondo bases filosóficas que repensem a ética e a epistemologia e que possam subsidiar um novo conceito de desenvolvimento. Para isso, está em curso a experimentação na Microbacia do Rio Sagrado, onde o diagnóstico, bem como ações propositivas territoriais – entendendo território como espaço biofísico apropriado por comunidades – são construídos participativamente, relevando o grau de complementaridade entre conhecimento científico e tradicional.

Os membros comunitários possibilitaram aos facilitadores, professores, pesquisadores e estudantes universitários uma troca entre sabedoria tradicional e

conhecimento científico. A avaliação realizada sobre os resultados das atividades foi positiva tanto para os jovens como aos facilitadores, no sentido de que a aprendizagem e vivência se inserem como parte do processo mais amplo da educação. Neste caso, entende-se que esta não pode ser unidirecional no sentido educador-educando, pois como tal seria domesticadora e não libertadora (FREIRE, 1976). Assim, sugere-se transitar em ambos os sentidos, dialeticamente, de tal maneira que o educador, além de ensinar, passa a aprender e o educando, além de aprender passa a ensinar (BECKER, 2010, p. 17).

Por último, que o trabalho sirva de inspiração para elaboração, implementação e avaliação de políticas públicas fomentadas no âmbito do município de Morretes e da APA de Guaratuba, assim com para o Litoral do Paraná. E que neste âmbito encontrem-se projetos políticos pedagógicos que privilegiam o protagonismo das comunidades, tendo como exemplo a atuação institucional da Universidade Federal do Paraná (UFPR) - setor do litoral e do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento, e o Programa de Honra de Estudos e Práticas em Ecosocioeconomia da Universidade Regional de Blumenau (FURB). Este conjunto de esforços tem diagnosticado demandas territoriais e ofertado ações propositivas que promovem o desenvolvimento territorial sustentável, fazendo parte do Sistema de Informações do Observatório de Educação, projeto coordenado pela FURB, financiado pelo Edital Observatório de Educação/CAPES/INEP/Ministério da Educação.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ, E. **Feria de trueque y agrosistemas tradicionales:** organización y generación de

antecedentes para un diagnóstico participativo de las comunidades de Rio Sagrado. Instituto Lagoa, 2008.

BECKER, F. **O caminho da aprendizagem em Jean Piaget e Paulo Freire:** da ação à operação. Petrópolis, RJ: Editora Vozes, 2010.

DENKER, A. F. M.. **Métodos e técnicas de pesquisa em turismo.** São Paulo: Futura, 2003.

FRANK, B. **Uma abordagem para o gerenciamento ambiental da bacia hidrográfica do Rio Itajaí, com ênfase no problema das enchentes.** 1995. 320p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia:** saberes necessários à prática educativa. 2 ed. Rio De Janeiro: Paz e terra, 1976.

GARCIA, S.; GUERRERO, M. Indicadores de sustentabilidad ambiental en la gestión de espacios verdes: Parque urbano Monte Calvário, Tandil, Argentina. **Revista geográfica. Norte Gd.**, jul. 2006, no.35, p.45-57.

GUTIERREZ, F.; PRADO, C. **Ecopedagogia e cidadania planetária.** São Paulo: Cortez. 1999.

HENRIQUEZ Z., C. **A construção participativa de indicadores territoriais socioambientais para o desenvolvimento regional sustentável: análise propositiva para as comunidades do Rio Sagrado, Morretes (PR): zona de educação para o ecodesenvolvimento.** 2009. 142p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional da

Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2009.

HENRIQUEZ, C., et al. Turismo y sus interacciones en las transformaciones del espacio rural. **Revista Austral ciências sociais**, 2010, no.18, p.21-31.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. IPCC - **Mudança do clima: impactos, adaptação e vulnerabilidade (GT II)**. Genebra: WMO, World Meteorological Organization/UNEP, United Nations Environmental Programme, 2007.

KELLER ALVES, F. **Arranjo socioproductivo de base comunitária: um projeto piloto na comunidade do entorno da micro-bacia do Rio Sagrado Morretes, Paraná**. 2008. 214p. Dissertação (Mestrado em Administração) Programa de Pós-graduação em Administração da Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2008.

SAMPAIO, C. A. C. **Gestão que privilegia uma outra economia: ecossocioeconomia das organizações**. Blumenau: EDUNISC, 2010.

SEIXAS, C. Abordagens e técnicas de pesquisa participativa em gestão de recursos naturais. In: FREIRE, P., FIKRET, B., SEIXAS, C. **Gestão integrada e participativa de recursos naturais: conceitos, métodos e experiências**. Florianópolis: Secco/APED, 2005. Cap. 2, p. 73-105.

SEPULVEDA, X. **Na busca de uma imagem territorial comunitária, revalorizando a sabedoria local: Microbacía Hidrográfica do Rio Sagrado, zona rural de Morretes, PR, Brasil**. Relatório de estagio do Curso de Arquitetura da Universidade Austral de Chile. 2009.

THIOLLENT, M. J. M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 1986.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. São Paulo: FGV, 2006.

WAUTIEZ, F; REYES, B. **Indicadores locais para la sustentabilidad**. Santiago. Instituto e Ecologia Politica, 2000.

Recebido em: nov/2011

Aprovado em: out/2013



# Em busca do Graal do indicador ambiental sintético único: contribuições da Termodinâmica e da Teoria da Informação

## In search of the Holy Grail of the single synthetic environmental indicator: contributions from thermodynamics and information theory

### RESUMO

A construção de qualquer indicador, especialmente os ambientais sintéticos, envolve um compromisso entre a complexidade da realidade a ser descrita e a necessária simplicidade na sua concepção. Além disso, os indicadores embutem aspectos éticos relacionados ao estado da realidade que se pretende alcançar. Apresentam-se aqui contribuições da Termodinâmica e da Teoria da Informação ao desafio de elaboração de regras de agregação voltadas à construção de indicadores ambientais sintéticos. Para tanto, conceituam-se entropia e exergia de forma a descrever e avaliar três indicadores sintéticos, um relacionado a entropia informacional (Zhang *et al.*), outro, que relaciona poluição a alta exergia (Huang *et al.*), e o último, que usa o conceito de exergia informacional para descrever o estado termodinâmico de um ecossistema (Jørgensen). São sugeridos aqui dois indicadores de avaliação de áreas verdes urbanas. Ao final conclui-se que o lastro teórico de tais indicadores permite-lhes superar algumas dificuldades relacionadas à agregação de indicadores ambientais, como a arbitrariedade embutida nas funções de agregação, a perda de informação no processo de agregação e o caráter compensatório de muitos indicadores ambientais sintéticos. Porém, tal se faz à custa da simplicidade e da facilidade de compreensão.

**PALAVRAS-CHAVE:** entropia, exergia, indicadores sintéticos, agregação

Paulo Mantey Domingues  
Caetano

Engenheiro civil,  
doutorando do Programa  
de Pós-Graduação da  
Faculdade de Saúde  
Pública da Universidade  
de São Paulo  
São Paulo, SP, Brasil  
paulo.mantey@gmail.com

### ABSTRACT

The design of any indicator, especially the synthetic and environmental indicators, involves a compromise between the complexity of the reality to be described and the needs for simplicity in its design. In addition, indicators embody ethical issues related to the state of reality to be achieved. Some contributions from Thermodynamics and Information Theory to the challenge of developing aggregation rules focused on the design of synthetic environmental indicators are here presented in order to describe and evaluate three synthetic indicators, one related to informational entropy (Zhang *et al.*), other relating pollution to high exergy (Huang *et al.*), and the last one, which uses the concept of informational exergy to describe the thermodynamic state of an ecosystem (Jørgensen). Two indicators destined to evaluate urban green areas are here suggested. At the end, it is concluded that the theoretical basement of such indicators allows them to overcome some of the difficulties related to the aggregation of environmental indicators, namely, the arbitrary aspects embedded in aggregate functions, the loss of information in the aggregation process, and the compensatory aspect of most synthetic indicators. However, this comes at the expense of simplicity and ease of understanding.

**KEYWORDS:** entropy, exergy, synthetic indicators, aggregation

## INTRODUÇÃO

A questão dos indicadores ambientais pode ser tratada em dois níveis de volição: descrever a realidade e alterá-la. Assim, há no esforço de construir e atualizar indicadores duas intenções: a) descrever; b) constatar até que ponto o descrito se submeteu aos desígnios do responsável pelos indicadores<sup>1</sup>. Ou seja, há uma questão epistemológica e uma questão ética. Ou, ainda, usando o jargão filosófico do final do século XVIII, uma questão no âmbito da razão pura e outra questão no âmbito da razão prática.

No tocante à *razão pura*, atribui-se ao indicador ambiental uma tarefa ingrata: ele tem que descrever uma realidade, complexa como todas as realidades, e ao mesmo tempo ser simples, de fácil manuseio e de fácil entendimento. Ele encerra, então, um conflito entre a simplicidade e a complexidade. Situa-se em uma superfície de *tradeoff*, sendo a proposição de qualquer indicador uma solução de compromisso (um quadro com dificuldades relacionadas a indicadores é apresentado por MALHEIROS e PHILIPPI JR., 2007).

Tarefa impossível a de propor indicadores ambientais considerados satisfatórios? Talvez não, porque muito do avanço da ciência e da técnica deveu-se à capacidade de enxergar a simplicidade na complexidade. Na ciência, esse avanço em grande parte correspondeu a identificar leis para a simplicidade (análise) e recompô-las para descrever a complexidade (síntese); trata-se de um método extremamente bem

sucedido nas ciências ditas físicas, e que ainda é considerado um paradigma. Na técnica, em grande parte correspondeu à tentativa de aplicar o ainda frequentemente insatisfatório arsenal disponível de conhecimento científico descritivo na tentativa de intervir na realidade.

Tarefa difícil? Sim, bastante, sendo que tal dificuldade não precisa ser ainda mais exacerbada ao atribuir aos indicadores uma tarefa a que eles não se prestam bem: tentar construir *teorias* descritivas a partir do próprio sistema de indicadores, inserindo-se, inclusive, causalidades. Tais tentativas, exceto em alguns casos muito triviais, parecem fadadas ao fracasso porque a realidade frequentemente se mostra complexa demais e rebelde à tentativa de trivializá-la através de modelos excessivamente simples, como necessariamente tem que ser um conjunto de indicadores. Daí decorre que um sistema de informações deveria incluir não apenas indicadores como também estudos mais aprofundados, a serem realizados periodicamente, que poderiam responder de maneira satisfatória a algumas questões específicas. No caso de sistemas de informações de desenvolvimento sustentável, uma excelente classificação de diferentes estudos nesse sentido disponíveis na literatura é apresentada por NESS *et al.* (2007).

No tocante à *razão prática*, temos que qualquer desejo e tentativa de intervir na realidade fazem-se embasados não só por técnicas e tecnologias (incapazes de fundamentar valores e deveres, necessariamente exógenos a elas, embora obrigatórios em suas avaliações e decisões) como também pela ética, ou seja, por valores (axiologia) e deveres (deontologia). Ora, valores e deveres são conceitos metacientíficos, e não deveriam, em princípio, ser objeto da ciência. Assim, por exemplo, o embasamento de sistemas de indicadores deveria se reportar aos

objetivos últimos das sociedades humanas, como ocorre explicitamente, por exemplo, no triângulo de Daly, base de discussão por parte de MEADOWS (1998) da moldura conceitual de indicadores de sustentabilidade ambiental. Porém, FLUSSER (1998), ao tratar do conceito de miséria, mostra ser muito distante da trivialidade a tarefa de explicitar objetivos últimos humanos. Ele vê a miséria como essencialmente ligada à alienação, e que se dá por carência e também por excesso. Ele visualiza três ordens de atitudes da humanidade frente à miséria: carregando muito nas costas, corresponderiam a atitudes ditas “primitiva”, “ocidental” e “oriental”. De cada uma delas decorreriam objetivos últimos das sociedades humanas bastante distintos.

MYRDAL (1962) não se cansa de alertar que comparações interpessoais de utilidade são essencialmente sem sentido, do que decorreria a impossibilidade de embasar funções de bem-estar social e, portanto, embasar cientificamente decisões. BRAYROOKE e LINDBLOM (1972) dissertam sobre a impossibilidade de embasar, a partir de princípios gerais, critérios para avaliar políticas sociais e a tomada de decisão. O teorema da impossibilidade de Arrow é frequentemente interpretado como uma demonstração da impossibilidade de encontrar preferências sociais a partir de preferências individuais (a formalização e a demonstração do teorema podem ser encontradas, por exemplo, em FISHBURN, 1970, e WIEDIJK, 2007; discussões sobre consequências do teorema são apresentadas, por exemplo, por MASKIN, 2009, e ULEN, 2004; uma contestação das interpretações usuais do teorema é feita por TULLOCK, 1967).

Sistemas de indicadores ambientais, pela própria definição bastante ampla de meio ambiente, usualmente envolvem uma quantidade grande de indicadores.

---

1 É óbvio que de tal classificação não se estaria autorizando derivar uma independência entre descrição e decisão. A descrição nunca é neutra e necessariamente embute em si uma visão de mundo e um viés de decisão. Isso é particularmente evidente no embasamento e na escolha de indicadores.

Isso torna difícil uma apreciação da situação e a tomada de decisões, sendo interessante, portanto, reduzir o número de indicadores, de forma a chegar, idealmente, a um indicador sintético único<sup>2</sup>. PINTÉR *et al.* (2005) observaram uma tendência de desenvolvimento de índices agregados de desenvolvimento sustentável. A redução do número de indicadores usualmente implica perda de informação, o que se constitui em enorme problema.

PELE (2009) informa haver dois métodos principais para reduzir o número de indicadores: seleção e agregação. A *seleção* reduz o número de indicadores usando métodos e técnicas estatísticas que eliminam informação redundante<sup>3</sup>. A seleção pode ser feita ainda por elementos da teoria da classificação. A agregação implica a construção de um indicador agregado que se constitui em uma função dos indicadores iniciais.

Pele informa ainda a respeito do teorema de impossibilidade de Paun. Tal teorema assevera que um indicador agregado sensível (ou seja, um aumento no valor de um indicador inicial não implica a diminuição do valor do indicador agregado) e não explosivo (ou seja, um pequeno aumento no valor de um indicador inicial não implica em um aumento grande no valor do indicador agregado) é necessariamente

compensatório (ou seja, para que o valor do indicador agregado permaneça constante com a variação do valor de um indicador inicial, é necessário que o valor de outro indicador inicial se altere, do que resulta que valores iguais do indicador agregado possam se referir a situações distintas).

O caráter compensatório de um indicador agregado corresponde a uma deficiência sua em descrever uma realidade. Coloca-se então a pergunta: haveria a possibilidade de desenvolver funções para a criação de indicadores agregados que minimizassem o seu caráter compensatório? Tais funções seriam aplicáveis apenas à descrição (razão pura) ou também se aplicariam à decisão (razão prática)?

O objetivo do presente é apresentar e discutir a aplicação de algumas funções de agregação de indicadores lastreadas em elementos da Termodinâmica e da Teoria da Informação. Para tanto, são apresentados resumidamente os conceitos termodinâmicos de entropia e exergia, ressaltando suas aplicações em outras teorias, em especial a Teoria da Informação e a Ecologia. São apresentados e discutidos três indicadores sintéticos ambientais: a) método de agregação de Zhang *et al.*, baseado na Teoria da Informação; b) indicador sintético de qualidade da água de Huang *et al.*, baseado em considerações de exergia das emissões; c) indicador ecológico de Jørgensen, destinado a descrever a saúde de um ecossistema com base em teoria segundo a qual o conteúdo de exergia de um componente de ecossistema corresponde à probabilidade de produzir o componente considerado em equilíbrio termodinâmico; assim, para os componentes biológicos de um ecossistema, a exergia consiste na probabilidade de produzir a matéria orgânica (termo clássico da exergia) e na probabilidade de encontrar o código genético dos seres vivos do ecossistema (termo da exergia informacional), sendo

obtida uma expressão relacionando ambos os termos; o referido indicador postula que a saúde do ecossistema é adequadamente descrita através de sua exergia e de sua exergia específica. São também sugeridos aqui dois indicadores ecológicos para áreas verdes urbanas. Finalmente, são apresentadas conclusões.

## Entropia

A entropia presta-se aos mais diversos usos, conceituações e aplicações. No âmbito da *Termodinâmica Clássica*, ela se relaciona à irreversibilidade, sendo descrita através da desigualdade de Clausius (v., p.ex., VAN WYLEN e SONNTAG, 1976, p.145-182). No âmbito da Mecânica Estatística, ela se relaciona à desordem (v., p.ex., EISBERG e LERNER, 1982, p.472-83, e CASTELLAN, 1983, p.205-17). A entropia presta-se, no âmbito da Teoria da Informação, à medida da quantidade média de informação por mensagem (SHANNON, 1948)<sup>4</sup>. No âmbito da modelagem urbana, regional e de transportes, WILSON (1970) utilizou as conceituações de entropia de JAYNES (1957) e LINDLEY (1965 apud WILSON, 1970, p.9-10). A estrutura de modelos entrópicos voltados à modelagem urbana e de transportes é apresentada por WILSON (1970) e por NOVAES (1981). Em um exemplo bastante didático da aplicação do princípio da maximização da entropia aplicado à modelagem de transportes (MASSER, 1972 apud ESMER, 2005, p.77-87), obtiveram-

4 MUGUR-SCHÄCHTER (2007) se insurge contra o uso do termo informação no âmbito da teoria de Shannon argumentando que, na realidade, a informação transmitida está na consciência do emissor de uma mensagem, e a informação recebida constitui-se na consciência do receptor da mensagem. Assim, o que circula é sempre uma mensagem, nunca uma informação. A fonte emite apenas sinais. Sendo desprovida de consciência, não pode conter nenhuma informação.

2 A rigor, um indicador sintético corresponderia a um índice. Prefere-se aqui não utilizar essa terminologia, que poderia dar margem a confusões desnecessárias. Um excelente apanhado de terminologias, definições, conceituações e classificações de indicadores de desenvolvimento sustentável é apresentado por GALLOPÍN (1997).

3 Uma técnica estatística para a diminuição do número de variáveis corresponde à análise fatorial. No entanto, nem sempre é possível que a redução de variáveis se faça de forma a manter a perda da quantidade de informação em um nível satisfatório.

se equivalentes soluções numéricas partir da aplicação da equação da Mecânica Estatística, da máxima entropia de Shannon e da maximização condicionada da entropia através de lagrangianos. No âmbito da Ecologia, diversas teorias trataram da termodinâmica da vida e dos ecossistemas, sendo a entropia um conceito fundamental nessa tarefa. Por exemplo, JØRGENSEN (1992, p.149), comentando uma hipótese de Kay segundo a qual os ecossistemas se desenvolvem de forma a degradar o trabalho disponível da maneira mais efetiva (v., p.ex., KAY, 2000), entendeu que essa hipótese implica que os ecossistemas sempre se auto-organizam de forma a que não só a soma da variação de entropia do sistema e do meio seja maior do que zero como também a que ocorra a maximização dessa variação. Alguns outros campos do uso do conceito de entropia são as teorias sociais, em especial a economia, as avaliações de impacto ambiental e a análise do ciclo de vida, sem falar, é claro, de suas aplicações em engenharia, em especial a mecânica e a química, aplicações essas voltadas, em especial, à otimização de energia. Verifica-se, portanto, que o conceito de entropia, pela variedade de suas aplicações em tão distintos ramos do saber e da técnica, mostra-se particularmente fértil e apto à interdisciplinaridade.

Uma prova adicional da fertilidade do conceito de entropia é o fato de ele se prestar como conceito articulador na demonstração da equivalência entre diversas teorias, modelos e métodos utilizados tradicionalmente na modelagem urbana e de transportes. Tais teorias, modelos e métodos são: método de maximização de utilidade condicionada por restrições orçamentárias; modelo de oportunidades intervenientes, desenvolvido por Stouffler e descrito, por exemplo, em NOVAES (1981, p.143-64) e BRUTON (1979,

p.99-102); modelo gravitacional aplicado a geração, atração e distribuição de viagens; e método da maximização condicionada de entropia. A equivalência entre essas teorias, modelos e métodos foi formalmente demonstrada por WILSON (1970, p.100-5, 151-5, 19). Além disso, é notável a similaridade formal entre o método da maximização condicionada de entropia e o modelo logit multinomial (descrito em NOVAES, 1986).

#### Indicador sintético de Zhang *et al.*

Como visto, a diminuição do número de indicadores usualmente implica a perda de informação. Seria interessante um processo de agregação de indicadores derivado da teoria da informação. ZHANG *et al.* (2006) propuseram que a agregação de indicadores em vista da obtenção de um indicador único se faça segundo a formulação seguinte, lastreada no conceito de entropia informacional.

O indicador referente a um determinado período baseado em entropia informacional pode ser expresso como:

$$\Delta S = -(1/\ln m) \sum_{i=1,n} (q_{ij}/q_i) \ln (q_{ij}/q_i)$$

sendo *i*: índice referente a um indicador de qualidade ambiental; *j*: índice referente a um período; *n*: número de indicadores; *m*: número de períodos; *x<sub>ij</sub>*: valor do indicador *i* no evento *j*; *q<sub>ij</sub>*: valor normalizado. É feita uma normalização de cada indicador de maneira a eliminar os efeitos dimensionais, transformando, dessa forma, os dados brutos em dados normalizados entre 0 e 1. Para indicadores de melhoria, o valor bruto é dividido pelo máximo valor para gerar o valor normalizado; para indicadores de piora, a menor perda é dividida pelo valor bruto para gerar o valor normalizado:

$$q_{ij} = x_{ij}/x_i^* \text{ sendo } x_i^* = \max(x_{ij})$$

$$q_{ij} = x_i^*/x_{ij} \text{ sendo } x_i^* = \max(x_{ij})$$

sendo *x<sub>ij</sub>* o valor do indicador *i* para o evento *j*, e *q<sub>ij</sub>* o valor normalizado, calculado a partir dos dados brutos

$$q_j = \sum_{i=1,n} q_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)^5$$

O peso de cada indicador é assim determinado:

$$Q_i = (1 - E_i)/(n - e_e) \quad (\sum_{i=1,n} Q_i = 1, 0 \leq Q_i \leq 1)$$

sendo:

$$E_i = -(1/\ln m) \sum_{j=1,m} (q_{ij}/q_i) \ln (q_{ij}/q_i)$$

sendo, por sua vez:

$$q_i = \sum_{j=1,m} q_{ij}$$

$$e_e = -\sum_{i=1,n} \sum_{j=1,m} (q_{ij}/q_i) \ln (q_{ij}/q_i) \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$$

Na opinião de FILCHAKOVA *et al.* (2007), esse indicador é calculável, mas não sucinto nem útil do ponto de vista de diagnóstico.

#### Exergia

A exergia é definida como “o máximo trabalho teórico útil obtido quando um sistema *S* é trazido ao equilíbrio termodinâmico com o ambiente por meio de processos nos quais *S* interage somente com seu ambiente” (SCIUBBA e WALL, 2007, p.3). Um sinônimo de exergia é a disponibilidade. O conceito de exergia ou disponibilidade encontra-se formalizado, por exemplo, em VAN WYLLEN e SONNTAG (1976), WALL e GONG (2001) e WALL (2009). DE WULF *et al.* (2008a e 2008b) apresentam uma síntese do conceito. A exergia *E* de um sistema pode ser assim expressa (WALL e GONG, 2001):

$$E = U + P_0V - T_0S - \sum_i \mu_{i0}n_i$$

5 Provavelmente há um erro no trabalho original, que apresenta  $q_{ij} = \sum_{i=1,n} 1_{ij}$ .



sendo  $U$  a energia interna do sistema;  $V$  o volume do sistema;  $S$  a entropia do sistema;  $n_i$  o número de moles das diferentes substâncias  $i$  no sistema;  $P_0$  a pressão do ambiente;  $T_0$  a temperatura absoluta do ambiente;  $\mu_{i0}$  o potencial químico generalizado da substância  $i$  no ambiente. Da expressão acima podem ser derivados, como casos especiais da exergia, todos os outros potenciais termodinâmicos, como a energia livre de Gibbs, a energia livre de Helmholtz e a entalpia (WALL e GONG, 2001).

WALL (2009, p.70-8) relaciona a exergia à teoria de informação, sendo obtida a seguinte expressão:

$$E = k \ln 2 T_0 I$$

sendo  $k$  a constante de Boltzmann ( $1,38054 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$ );  $T_0$  a temperatura absoluta do ambiente;  $I$  a informação ou capacidade de informação, expressa em *binary units* (bits). Assim, à temperatura ambiente, a quantidade de exergia relacionada a 1bit de informação é aproximadamente  $2,9 \cdot 10^{-21} \text{ J}$ .

LEDUC e VAN KANN (2010) e VAN KANN e DE ROO (2009) apresentaram propostas de aplicação do conceito de exergia ao planejamento regional para obter locações espaciais de atividades de forma tal a otimizar o fluxo exergético.

FILCHAKOVA *et al.* (2007) e PHDUNGSILP (2007) são um pouco pessimistas em relação à possibilidade de avaliação de sistemas urbanos através do conceito de exergia. Mesmo assim, BALOCCO *et al.* (2004) utilizaram o método denominado *Extended Exergy Accounting* (EEA) para avaliar a sustentabilidade de uma área urbana através do estudo do ciclo de vida de edificações. Para tanto, foram definidos dois índices termodinâmicos,  $\eta_I$  e  $\eta_{II}$ , que mostram a eficiência das edificações em relação à primeira e à segunda leis da Termodinâmica. Essa metodologia proporcionou um critério ambiental de ordem termodinâmica para a seleção de

alternativas, estratégias e projetos tecnológicos que produzam impactos ambientais menores correlacionados aos maiores índices  $\eta_{II}$  de exergia.

#### Indicador sintético de Huang et al.

HUANG et al. (2007) oferecem um interessante exemplo de uso do conceito de exergia para a definição de um indicador sintético de poluição da água. Eles asseveram que qualquer indicador sintético proposto seria arbitrário e não descreveria de forma adequada o nível de poluição do corpo d'água. Por outro lado, eles observam que, no caso de emissões, a exergia poderia ser considerada como o potencial de dano ao meio ambiente por conduzir a reações indesejáveis e incontroláveis com componentes do meio ambiente. Assim, a exergia incorporada nas emissões é uma medida efetiva do potencial de impacto no meio ambiente. Quanto mais exergia uma emissão carrega, mais ela se desvia do meio ambiente. Uma emissão de substâncias que são comuns no meio ambiente, como, por exemplo, vapor ou água, carrega menos exergia que emissões de substâncias que são menos comuns, como, por exemplo, metais pesados ou resíduos radioativos. Dessa forma, a quantidade de exergia contida na emissão constituir-se-ia em um excelente indicador sintético. GONG e WALL (2001) apresentam uma discussão mais aprofundada do uso do conceito de exergia na construção de indicadores de sustentabilidade, tendo concluído que a exergia é um indicador adequado e tendo recomendado mais pesquisa nessa área.

O cálculo da exergia de um curso d'água pode ser realizado segundo formulação apresentada por VALERO *et al.* (2010), GALLEGOS-MUÑOZ *et al.* (2003) e MARTINEZ *et al.* (2012). Assim, tem-se para uma seção do curso d'água:

$$B = q \cdot \rho_w \cdot b = m' \cdot b$$

sendo  $B$ : exergia absoluta (kW);  $q$ : vazão ( $\text{l.s}^{-1}$ );  $\rho_w$ : densidade da

solução ( $\text{kg.l}^{-1}$ );  $b$ : exergia específica ( $\text{kJ.kg}^{-1}$ );  $m'$ : fluxo de massa ( $\text{kg.s}^{-1}$ ).

A exergia específica  $b$  tem componentes térmico, mecânico, químico, de concentração, cinético e potencial. Aqui interessam apenas o componente químico  $q_{ch}$  e o componente de concentração  $q_c$ :

a) componente químico

$$q_{ch} = [\sum_i y_i (\Delta G_f + \sum_e n_e b_{che})]_p - [\sum_i y_i (\Delta G_f + \sum_e n_e b_{che})]_0$$

sendo  $y_i$ : molalidade relativa do parâmetro  $i$  ( $\text{kmol.kg}^{-1}$ );  $\Delta G_f$ : energia de formação de Gibbs ( $\text{kJ.kmol}^{-1}$ );  $n_e$ : quantidade em kmol de cada elemento  $e$  contido em um kmol da substância (kmol);  $b_{che}$ : exergia química padrão do elemento  $e$  ( $\text{kJ.mol}^{-1}$ ). O índice 0 refere-se às propriedades da água no ambiente de referência, enquanto o índice  $p$  refere-se ao corpo d'água em consideração. Sendo a exergia o máximo trabalho que um sistema é capaz de realizar quando trazido ao equilíbrio com o ambiente, torna-se necessário definir o ambiente de referência (v. SZARGUT *et al.* 2005). Um ambiente adequado a ser tomado como referência seria, por exemplo, a água do mar situada no estuário do corpo d'água. Assim, a água de um corpo d'água tem máxima exergia quando aparece como precipitação, e exergia nula no estuário. Considerando a importância dos nutrientes transportados pelo curso d'água para a manutenção da vida no estuário, o valor nulo da exergia química é atingido a alguns quilômetros da costa, quando o equilíbrio com a água do mar é atingido;

b) componente de concentração

$$q_c = RT_0 \sum_i x_i \ln (a_i/a_0)$$

sendo  $R$ : constante universal dos gases ( $\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ );  $x_i$ : concentração molar em 1kg de solvente ( $\text{kmol.kmol}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ );  $a_i$ : atividade da substância  $i$ .

A atividade deve ser calculada para: a) a água pura; b) substâncias inorgânicas dissolvidas; c) substâncias orgânicas dissolvidas.

No caso da água pura, a atividade pode ser estimada a partir de estimativa da pressão osmótica, realizada esta a partir de medidas da condutividade elétrica, o que se faz assumindo que a pressão osmótica é uma função da concentração de sais presentes na solução.

No caso de substâncias inorgânicas dissolvidas, a atividade é avaliada a partir de medidas diretas em amostras da concentração de cada eletrólito. A atividade de cada um deles pode ser obtida pela equação  $a_i = \gamma_i \cdot m_i$ , sendo  $\gamma_i$  o coeficiente de atividade e  $m_i$  a molalidade da substância  $i$ . O coeficiente de atividade pode ser estimado pela aplicação da equação de Debye-Hückel.

No caso de substâncias orgânicas dissolvidas, tem-se que quando medidas da DQO (demanda química de oxigênio) estiverem disponíveis, uma reação de combustão é suposta assumindo que a matéria orgânica é completamente biodegradável, sendo representada por uma fórmula genérica  $CH_2O$ . No entanto, o uso da DQO não é adequado quando a concentração orgânica é muito baixa, como no caso de rios, sendo nesse caso usualmente adotado o TOC (carbono orgânico total) para a obtenção de uma fórmula genérica.

### Exergia no âmbito da Ecologia

Jørgensen postulou uma lei para ecossistemas: “Se um sistema tiver um fluxo de exergia por suas fronteiras, ele procurará utilizar tal fluxo de forma a aumentar sua exergia, isto é, mover-se para uma posição distante do equilíbrio termodinâmico; se mais combinações e processos forem oferecidos para utilizar o fluxo de exergia, a organização que for capaz de dar ao sistema a mais alta exergia, sob as condições e perturbações preexistentes, será a selecionada” (JØRGENSEN, 1992, p. 186). O que essa lei informa é que os ecossistemas se mantêm fora do equilíbrio termodinâmico com o

meio, com um alto grau de organização e de informação em relação a esse meio, e que o fazem de tal forma que sua exergia seja máxima.

BENDORICCHIO e JØRGENSEN (1997 apud DEWULF *et al.*, 2008, p.2223-4) propuseram calcular o conteúdo de exergia de um componente de ecossistema como a probabilidade de produzir o componente considerado no equilíbrio termodinâmico. Para os componentes biológicos de um ecossistema, ela consiste na probabilidade de produzir a matéria orgânica (termo clássico da exergia) e na probabilidade de encontrar o código genético, isto é, a sequência correta de nucleotídeos do DNA (termo da exergia informacional), sendo obtida uma expressão relacionando ambos os termos<sup>6</sup>. DE WIT (2005) e SILOW *et al.* (2011) fornecem uma síntese do caminho para chegar a essa expressão. SVIREZHEV (2000) observou uma analogia entre essa expressão e a medida de Kullback; tal medida, situada no âmbito da Teoria da Informação, corresponde à medida da informação adicional a uma distribuição previamente conhecida. JØRGENSEN *et al.* (2005) aprimoraram os cálculos do conteúdo ecoexergético de seres vivos, apresentando tabelas com os resultados. JØRGENSEN (1992) relatou resultados promissores para a modelagem de ecossistemas utilizando essa lei. SCIUBBA e WALL (2004) e DE WIT (2005) apresentaram críticas a essa abordagem.

### Indicador ecológico de Jørgensen

O conteúdo ecoexergético de um ecossistema pode ser utilizado como critério para avaliar a “qualidade”, ou “saúde”, de um ecossistema. Um exemplo pode ser encontrado em JØRGENSEN (2000). CONSTANZA e MAGEAU (1999) conceituam saúde de um

6 Para a exergia assim conceituada, utiliza-se aqui o termo ecoexergia.

ecossistema como uma medida abrangente, multiescalar, dinâmica e hierárquica da resiliência, organização e vigor desse ecossistema. KAY (1991) usa a expressão “integridade ecossistêmica” para se referir à habilidade de um ecossistema em manter sua organização, devendo as medidas dessa integridade refletir os dois aspectos do estado organizacional de um ecossistema: funcional e estrutural. A *função* refere-se às interconexões entre os componentes do sistema; JØRGENSEN (2000) propõe que ela possa ser medida através da quantidade de ecoexergia. A *estrutura* indica o caminho pelo qual a energia se move no sistema; JØRGENSEN (2000) propõe que a ecoexergia armazenada no ecossistema poderia ser um indicador razoável da estrutura. SILOW *et al.* (2011) informam que a ecoexergia, especialmente a ecoexergia estrutural (ecoexergia específica), demonstraram ser bons indicadores da saúde de ecossistemas em muitos estudos de caso de modelagem, experimentais e de campo. Assim, a ecoexergia informaria sobre: a) a distância do equilíbrio termodinâmico, o que se constituiria em uma medida geral da complexidade total do ecossistema; b) estrutura (biomassa e tamanho da rede) e funções (informação disponível) do ecossistema; c) habilidade do ecossistema em sobreviver (expressa através da biomassa e da informação do sistema). A ecoexergia estrutural, ou ecoexergia específica, por seu lado, informaria sobre: a) eficiência no uso de energia pelos organismos; b) conteúdo relativo de informação do ecossistema; c) conseqüentemente, a habilidade do ecossistema em regular interações entre organismos ou grupos de organismos.

JØRGENSEN (2000) avaliou a ecoexergia e a ecoexergia específica de doze ecossistemas costeiros, juntamente com nove outros atributos ecológicos, sendo feitas correlações entre todos esses

atributos. Ele concluiu que os dois conceitos cobrem uma grande gama de importantes propriedades dos ecossistemas, mas que outros indicadores são necessários também para proporcionar uma avaliação suficientemente abrangente da saúde ecossistêmica.

SALAS *et al.* (2005) testaram a capacidade de a exergia (tanto a ecoexergia como a ecoexergia específica) bem como de índices de diversidade (índices de Shannon e Mergalef) distinguir áreas enriquecidas organicamente em uma dada área costeira mediterrânea (El Mar Menor, Espanha). Os resultados mostraram que os índices de ecoexergia e de ecoexergia específica foram capazes de fornecer informação útil a respeito da estrutura da comunidade, mas não foram capazes de distinguir áreas alta e baixamente enriquecidas organicamente, ou afetadas por qualquer outro tipo de poluição, mostrando-se os índices de biodiversidade mais sensíveis à poluição orgânica. Os autores concluíram que a ecoexergia e a ecoexergia específica não são ainda aplicáveis como os únicos indicadores ecológicos de um modo generalizado no campo da gestão ambiental. Portanto, eles ainda requerem aplicações adicionais em diferentes locais e em diferentes condições de forma a estudar mais acuradamente as propriedades da exergia como um indicador ecológico. Eles informaram ainda que os índices de diversidade e o índice de exergia mostraram uma correlação positiva significativa na descrição do estado nas comunidades do fundo. No entanto, os índices de diversidade pareceram ser mais sensíveis à influência do conteúdo de matéria orgânica nos sedimentos do que o índice de exergia. Por outro lado, nenhum dos índices de diversidade respondeu à concentração de metais pesados, embora ambos pareçam ter sido influenciados pela granulometria e pelo intervalo de salinidade.

MUYS e QUIJANO (2002) estruturaram um sistema de indicadores ecológicos destinados à avaliação de impactos do uso da terra em bases teóricas absolutamente análogas. A partir de considerações de maximização de ecoexergia, os autores lançaram a hipótese segundo a qual, para qualquer local, a vegetação potencial natural, isto é, o clímax, constitui-se no ecossistema com o mais alto controle energético possível para o local, sendo por isso considerada no método proposto pelos autores como referencial. Dessa forma, eles definiram 19 indicadores, agrupados em 4 temas (solo, água, vegetação e biodiversidade).

Com base em todas as considerações acima, são sugeridos aqui dois indicadores para a qualidade ecológica de uma determinada área verde urbana. O primeiro corresponde à relação entre o conteúdo ecoenergético da biomassa dessa área e o conteúdo ecoenergético da biomassa relativo à maturidade (clímax, conforme ODUM, 1983, p.469-73) do local em que a área em questão se localiza. O segundo indicador corresponde à relação entre a ecoexergia específica da biomassa dessa área e a ecoexergia relativa à maturidade do local em que a área em questão se localiza. Tal proposta supõe ser desprezível a informação contida na rede de relações ecológicas entre os organismos perante a informação contida na biomassa dos organismos e em seus genes.

Para o cálculo desses indicadores aqui propostos, tem-se que a ecoexergia e a ecoexergia específica podem ser estimadas segundo formulação e parâmetros apresentados, p.ex., em SILOW *et al.* (2011). Quando tais cálculos se referirem a áreas verdes, são necessários ainda alguns parâmetros adicionais, que podem ser estimados, por exemplo, a partir de dados apresentados nas seguintes fontes: a) biomassa de gramíneas e leguminosas (PEREIRA, 2008); b)

biomassa aérea de árvores (SILVEIRA *et al.*, 2008, e LIMA, 2010); c) relação entre biomassa total e biomassa aérea (FORSTER e MELLO, 2007). Para o cálculo da ecoexergia da maturidade, os parâmetros seguintes podem ser adaptados de dados constantes, por exemplo, das seguintes fontes: a) exergia da maturidade armazenada em diversos ecossistemas (FATH *et al.*, 2004); b) biomassa da maturidade em diversos ecossistemas (LIMA, 2010).

## CONCLUSÕES

Com frequência a agregação de indicadores ambientais se mostra necessária e útil. Porém, usualmente apresenta algumas dificuldades:

- ocorre perda de informação na agregação;
- a função de agregação é arbitrária;
- a função de agregação é compensatória, com isso atribuindo um mesmo valor numérico a situações distintas.

No presente foram apresentadas algumas funções de agregação lastreadas na Termodinâmica e na Teoria da Informação, apresentando elas, portanto, algum respaldo teórico. Desse respaldo teórico decorre que as dificuldades elencadas acima como usualmente associadas à agregação desaparecem.

Isso se faz, porém, ao custo de sacrificar a simplicidade e a facilidade de compreensão necessárias a indicadores ambientais.

Na introdução, destacou-se o caráter duplo dos indicadores ambientais, associados à descrição e à decisão. O lastro teórico das funções de agregação aqui apresentadas trabalha a favor da descrição. Ele o faz também a favor da decisão?

Uma vez que a decisão se faz respaldada não apenas em conhecimentos científicos e técnicos, mas também em aspectos

éticos, não se pode pretender que alguma teoria científica garanta a qualidade das decisões. Tal é traduzido em termos econômicos por Myrdal ao asseverar não ter sentido a construção de funções de utilidade interpessoais.

Isso poderia ser contornado apelando a aspirações da humanidade tão consensuais que poderiam ser tomadas por proposições necessárias? Flusser nos mostra que elencar tais aspirações universais não se constitui em tarefa trivial; na realidade, nenhuma dessas aspirações seria universal. Porém, mesmo que tais proposições sejam elencadas, Braybrooke e Lindblom mostram que não se pode extrair dedutivamente, a partir de tal elenco de proposições, um caminho seguro para a avaliação de decisões.

Poder-se-ia contornar todas essas dificuldades apelando às pessoas que votassem em suas preferências? O teorema da impossibilidade de Arrow opõe a tais dificuldades sérias. Porém, mesmo essas dificuldades poderiam ser superadas se relaxassem algumas condições presentes no enunciado desse teorema. No entanto, isso esvaziaria a sua interpretação.

Diante de todas essas negações, há algum vislumbre de esperança do ponto de vista teórico? Poder-se-ia parafrasear o filósofo afirmando que o escândalo teórico não está em não se encontrar uma solução a essas dificuldades, mas persistir em procurá-las?

A resposta é pessimista, o que não quer dizer que nada se possa fazer. MUNDA (2012), por exemplo, aplicou à teoria de agregação alguns elementos da teoria da votação e da análise de decisão multicritério, obtendo resultados que poderiam servir de ponto de partida a algumas reflexões pertinentes à questão.

## REFERÊNCIAS

- BALOCCO, C. et al. Using exergy to analyze the sustainability of an urban area. **Ecological Economics**, n.48, p.231-44, 2004.
- BRAYBROOKE, D.; LINDBLOM, C.E. **Uma estratégia de decisão social: escolha de políticas alternativas como processo social**. Rio de Janeiro: Zahar, 1972. (Biblioteca de Ciências Sociais).
- BRUTON, M.J. **Introdução ao planejamento dos transportes**. Rio de Janeiro: Interciência; São Paulo: Edusp, 1979.
- CASTELAN, G.W. **Físico-Química**. Rio de Janeiro: LTC, 1983. v.1.
- CONSTANZA, R.; MAGEAU, M. What is healthy ecosystem? **Aquatic Ecology**, n.33, p.105-15, 1999.
- DE WIT, R. Do all ecosystems maximize their distance with respect to thermodynamic equilibrium? A comment on the "Ecological Law of Thermodynamics" (ELT) proposed by Sven Erik Jørgensen. **Scientia Marina**, v.69, n.3, p.427-34, 2005.
- DEWULF, J. et al. Exergy: its potential and limitations in environmental science and technology. **Environmental Science Techn.**, v.42, n.7, p. 2221-32, Feb. 2008a.
- \_\_\_\_\_. **Illustration of the confusion on the informational exergy concept and on the difference between informational storage and information entropy**, 2008b. Disponível em: <pubs.acs.org>. Acesso em: 11 abr. 2011.
- EISBERG, R.M.; LERNER, L.S. **Física: fundamentos e aplicações**. São Paulo: McGraw-Hill, 1982. v.2.
- ESMER, Ö. **Information theory, entropy and urban spatial structure**. 2005. 248p. Thesis (Doctorate) – The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Middle-East Technical University, Ankara.
- FATH, B.D. et al. Ecosystem growth and development. **BioSystems**, n.77, p.213-28, 2004.
- FILCHAKOVA, N. et al. Quo vadis thermodynamics and the city: a critical review of applications of thermodynamics methods to urban systems. **International Journal of Ecodynamics**, v.2, n.4, p.222-30, 2007.
- FISHBURN, P.C. Arrow's impossibility theorem: concise proof and infinite voters. **Journal of Economic Theory**, n.2, p.103-6, 1970.
- FLUSSER, W. **Fenomenologia do brasileiro: em busca de um novo homem**. Rio de Janeiro: Eduerj, 1998.
- FORSTER, H.W.; MELO, A.C.G. Biomassa aérea e de raízes em árvores de reflorestamentos heterogêneos no vale do Parapanema. **IF Sér. Reg.**, n.31, p.153-7, jul. 2007.
- GALLEGOS-MUÑOZ, A. et al. On an exergy efficiency definition of a wastewater treatment plant. **Int. J. Thermodynamics**, v.6, n.4, p.169-76, Dec. 2003.
- GALLOPÍN, G.C. Indicators and their use: information for decision-making. In: MOLDAN, B.; BILHARZ, S. (eds.). **Sustainability indicators: a report on the project on indicators of sustainable development**. Chichester: Wiley, 1997. (Scientific Committee on Problems of the Environment, SCOPE, 58). p.13-27.
- GONG, M.; WALL, G. On exergy and sustainable development: indicators and methods. **Exergy Int. J.**, v.1, n.4, pt.2, p.217-33, 2001.
- HUANG, L.Q. et al. Exergy as a unified measure of water quality.



**Nonlinear Science and Numerical Simulation**, n.12, p.663-72, 2007.

JAYNES, E.T. Information Theory and Statistical Mechanics. **The Physical Review**, v.106, n.4, pt.1, p.620-30, May 1957.

JØRGENSEN, S.E. **Integration of ecosystem theories: a pattern**. Dordrecht: Kluwer, 1992. (Ecology & Environment Volume 1).

\_\_\_\_\_. Application of exergy and specific exergy as ecological indicators of coastal areas. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, n.3, p.419-30, 2000.

\_\_\_\_\_ et al. Calculations of exergy for organisms. **Ecological Modelling**, n.185, p.165-75, 2005.

KAY, J.J. A nonequilibrium thermodynamic framework for discussing ecosystem integrity. **Environmental Management**, v.15, n.4, p.483-95, 1991.

\_\_\_\_\_. Ecosystems as self-organizing holarchic open systems: narratives and the Second Law of Thermodynamics. In: JØRGENSEN, S.E.; MÜLLER, F. (eds.). **Handbook of ecosystems theories and management**. [S.I.]: CRC, 2000. p.135-60.

LEDUC, W.R.W.A.; VAN KANN, F.M.G. **Urban Harvesting as planning approach towards productive urban regions**. [Delft]: SREX, 2010.

LIMA, J.A.S. **Estimativas da biomassa acima do solo de florestas secundárias da área de proteção ambiental rio Macacu (RJ)**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

MALHEIROS, T.F.; PHILIPPI JR., A. Resultados e perspectivas do I Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, São Paulo, n.11, p.7-15, dez. 2007.

MARTINEZ, A. et al. The hidden value of water flows: the chemical exergy of rivers. **International Journal of Thermodynamics**, v.15, n.1, p.17-25, 2012.

MASKIN, E. The Arrow impossibility theorem: where do we go from here? In: ARROW LECTURES, 2., 2009, New York. **Proceedings...forthcoming**.

MEADOWS, D. **Indicators and information systems for sustainable development: a report to the Balaton Group**. Hartland: The Sustainability Institute, 1998.

MUGUR-SCHÄCHTER, M. Representação e medidas das complexidades sem amputação do sentido. In: MORIN, E.; LE MOIGNE, J.-L. (org.). **Inteligência da complexidade: epistemologia e pragmática**. Lisboa: Instituto Piaget, 2007. (Coleção Epistemologia e Sociedade). p.102-55.

MUNDA, G. Choosing aggregation rules for composite indicators. **Soc. Indic. Res.**, n.109, p.337-54, 2012.

MUYS, B.; QUIJANO, J.G. **A new method for Land Use Impact Assessment in LCA based on the ecosystem exergy concept: internal report**. [Leuven]: Laboratory for Forest, Nature and Landscape Research – KULeuven, 2002.

MYRDAL, G. **Aspectos políticos da teoria econômica**. Rio de Janeiro: Zahar, 1962.

NESS, B. et al. Categorizing tools for sustainability assessment. **Ecological Economics**, n.60, p.498-508, 2007.

NOVAES, A.G. **Modelos em planejamento urbano, regional e de transportes**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

\_\_\_\_\_. **Sistemas de transportes: análise da demanda**. São Paulo: Edgard Blücher, 1986. v.1.

ODUM, E.P. **Basic Ecology**. Philadelphia: Holt-Saunders, 1983.

PELE, D.T. About the impossibility theorem for indicators aggregation. **Journal of Applied Quantitative Methods**, v.4, n.1, Spring 2009.

PEREIRA, A.R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. 2.ed. Belo Horizonte: FAPI, 2008.

PHDUNGSILP, A. A thermodynamic framework for urban energetic metabolism. CONFERENCE ON ENERGY NETWORK OF THAILAND, 3., 2007, Bangkok.

PINTÉR, L. et al. **Sustainable development indicators: Proposals for a way forward: Prepared for the United Nations Division for Sustainable Development**. [S.I.]: IISD, 2005.

SALAS, F. et al. Application of the exergy index as ecological indicator of organically enrichment areas in the Mar Menor lagoon (south-eastern Spain). **Energy**, n.30, p.2505-22, 2005.

SCIUBBA, E.; WALL, G. A brief commented history of exergy from the beginnings to 2004. **International Journal of Thermodynamics**, v.10, n.1, p.1-26, Mar. 2007.

SHANNON, C.E. A mathematical theory of communication. **The Bell System Technical Journal**, v.27, n.3, p.379-423, Jul. 1948.

SILOW, E.A. et al. Eco-exergy use for ecosystem health assessment. In: INTERNATIONAL JOURNEY OF EXERGY, 2011, Paris.

SILVEIRA, P. et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v.38, n.1, jan./mar. 2008.

SVIREZHEV, Y.M. Thermodynamics and ecology. **Ecological Modelling**, n.132, p.11-22, 2000.

SZARGUT, J. et al.. **Towards an international Reference Environment of chemical exergy**. [S.l.]: [s.n.], 2005.

TULLOCK, G. The general irrelevance of the general impossibility theorem. **The Quarterly Journal of Economics**, v.81, n.2, p.256-70, May 1967.

ULEN, T.S. The Arrow impossibility theorem. **Law and Economics**, Fall 2004.

VALERO, A. et al. Physical Hydromonics: application of the exergy analysis to the assessment of environmental costs of water bodies: the case of the Inland Basins of Catalonia. **Energy**, v.34, n.12, p.2101-7, Dec. 2009.

VAN KANN, F.M.G.; DE ROO, G. Scaling of multi-functional structures as a spatial argument for low exergy planning. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART AND SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENTS, 3., 2009, [S.I.].

VAN WYLEN, G.J.; SONNTAG, R.E. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

WALL, G. **Exergetics**. Bucaramanga: [s.n.], 2009. Disponível em: <<http://www.exergy.se/ftp/exergetics.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2011.

WALL, G.; GONG, M. On exergy and sustainable development: conditions and concepts. **Exergy Int. J.**, v.1, n.3, pt.1, p.128-45, 2001.

WIEDIJK, F. Arrow's impossibility theorem. **Formalized Mathematics**, v.15, n.4, p.171-74, 2007.

WILSON, A.G. **Entropy in urban and regional modelling**. London: Pion, 1970.

ZHANG, Y. et al. Analyses of urban ecosystem based on information entropy. **Ecological Modelling**, n.197, p.1-12, 2006.

Recebido em: nov/2011

Aprovado em: out/2013

# Definição de indicadores de conservação de corpos de água para avaliação da sustentabilidade de fazendas pantaneiras

## Building water conservation indicators to assess sustainability for farms in Pantanal - Brazil

### RESUMO

A definição de indicadores de sustentabilidade constitui importante ferramenta para avaliar conservação ambiental e facilitar a tomada de decisão. As pressões econômicas para aumento da produtividade dos sistemas de produção de gado de corte no Pantanal tem aumentado e levado à adoção de formas de manejo inapropriadas para a região. O objetivo deste trabalho foi definir indicadores de conservação de ambientes aquáticos para fazendas do Pantanal e os critérios para sua avaliação, como parte de um índice de sustentabilidade mais amplo. O Índice de Conservação de Corpos de Água Naturais (ICA), aqui proposto preliminarmente, é composto por cinco indicadores previamente validados por especialistas, com valores variando de 0-100%: 1. Grau de deposição de excretas de bovinos – FEZ; 2. Grau de compactação por pisoteio – PIS; 3. Grau de alteração no fluxo de água natural – FLUXO; 4. Grau de assoreamento dos corpos d'água – ASSO e 5. Grau de alteração da vegetação na borda dos corpos d'água – VEG, utilizando-se a Lógica Fuzzy como sistema de suporte à decisão. Por exemplo, simulando dois cenários extremos, obteve-se um ICA= 7,7724 para uma fazenda que apresenta grau elevado de conservação de seus recursos hídricos e um ICA= 2,3811 para uma com impactos expressivos. Embora com base apenas em simulações teóricas, as variáveis utilizadas mostraram-se promissoras como indicadoras da qualidade dos ambientes aquáticos para fins de avaliação da influência da atividade pecuária nos recursos hídricos da planície pantaneira.

**PALAVRAS-CHAVE:** indicadores, recursos hídricos, sustentabilidade, pecuária, Pantanal

### ABSTRACT

The definition of sustainability indicators is an important tool for assessing environmental conservation and facilitate decision making. Economic pressures to increase productivity of production of cattle ranching systems in the Pantanal has increased and enforced the adoption of inappropriate management for the region. The objective of this study was to define indicators for conservation of aquatic environments in Pantanal farms and the criteria for their evaluation, as part of a broader sustainability index. The Natural Water Bodies Conservation Index (WCI or ICA in Portuguese), preliminarily proposed here, consists of five indicators previously validated by experts, ranging from 0-100%: 1. Degree of bovine excreta disposal – FEZ; 2. Degree of soil compactness by trampling – PIS; 3. Degree of change in the natural water flow – FLOW; 4. Degree of sedimentation of water bodies - ASSO and 5. Degree of change in the riparian vegetation at the edge of water bodies – VEG; as the decision support system was applied Fuzzy Logic. For example, simulating two extreme scenarios, gave an ICA = 7.7724 for a farm that has high degree of conservation of water resources and a value of 2.3811 for an ICA related to a farm with significant impacts. Although based only on theoretical simulations, the variables used showed to be promising as indicators of the quality of aquatic environments for evaluation of the influence of cattle ranching in the Pantanal floodplain.

**KEYWORDS:** indicators, water resources, sustainability, livestock, Pantanal

**Débora Fernandes Calheiros**  
Dr<sup>a</sup> em Ciências - Ecologia Isotópica em Áreas Úmidas pelo CENA-USP, Pesquisadora da área de Limnologia da Embrapa Pantanal  
Corumbá, MS, Brasil  
debora.calheiros@embrapa.br

**Márcia Divina de Oliveira**  
Dr<sup>a</sup> em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre pela UFMG, Pesquisadora da área de Limnologia da Embrapa Pantanal  
Corumbá, MS, Brasil  
marcia.divina@embrapa.br

**Márcia Toffani Simão Soares**  
Dr<sup>a</sup> em Solos e Nutrição de Plantas pela ESALQ-USP, Pesquisadora da área de Uso Sustentável dos Recursos Naturais em Agroecossistemas da Embrapa Pantanal  
Corumbá, MS, Brasil  
marcia.toffani@embrapa.br

**Helano Póvoas de Lima**  
Bacharel em Ciência da Computação e Especialista em Bancos de Dados pela UFPA, Analista da área de Inteligência Artificial da Embrapa Informática Agropecuária.  
Corumbá, MS, Brasil  
helano.lima@embrapa.br

**Sandra Aparecida Santos**  
Dr<sup>a</sup> em Zootecnia - Produção e Nutrição Animal pela UNESP/Botucatu, Pesquisadora da área de Produção Animal Sustentável da Embrapa Pantanal  
Corumbá, MS, Brasil  
sandra.santos@embrapa.br

## INTRODUÇÃO

O Pantanal é declarado como Patrimônio Nacional pela Constituição Federal do país (BRASIL, 1988). Em 2000, o bioma foi considerado pela comissão internacional do Programa “O Homem e a Biosfera” da UNESCO como Reserva da Biosfera, tornando-se a terceira maior reserva do mundo no gênero; apresenta ainda o complexo de unidades de conservação do Parque Nacional do Pantanal Mato-Grossense considerado como Patrimônio Natural da Humanidade (UNESCO, 2000 a,b). Assim, a responsabilidade de promover a gestão da região sob o prisma de seu relevante interesse aumenta significativamente para os governantes e a sociedade, e demanda a implantação de políticas públicas adequadas às peculiaridades regionais.

O bioma é uma imensa planície periodicamente inundável de aproximadamente 140.000 km<sup>2</sup>, com mais de 90% da área constituída por propriedades particulares com grandes extensões de terra. A região é caracterizada pela presença de extensas áreas de campos naturais, favorecendo a atividade pastoril que é influenciada pelo regime hidrológico anual de cheias e secas, razão pela qual a principal atividade econômica é a exploração extensiva da pecuária de corte há mais de dois séculos. O manejo tradicional dos rebanhos bovinos pela comunidade pantaneira e as limitações hidrológicas tem contribuído para a conservação dessa região única no mundo (SANTOS *et al.*, 2008)

Segundo levantamentos recentes, em torno de 12% do bioma Pantanal teve sua cobertura vegetal natural alterada (SILVA *et al.*, 2011; MONITORAMENTO, 2010). Entretanto nas áreas do planalto circundante à planície pantaneira as taxas de desmatamento são muito elevadas (entre 60 e 80%), com alta incidência de pastagens degradadas e voçorocas em decorrência de

processos erosivos pelo mau uso do solo e falta de manejo adequado da agricultura e pecuária (GALDINO *et al.*, 2005; MONITORAMENTO, 2010).

A expansão da atividade agropecuária na parte alta da bacia do Alto Paraguai (BAP) se deu a partir da década de 70 e resultou, em geral, em aumento de desmatamento sem a adoção de boas práticas agrícolas e sem seguir a legislação, em especial quanto à necessidade de conservação das Áreas de Preservação Permanente (APPs), como encostas íngremes, matas ciliares e nascentes, com consequente aumento dos processos erosivos e assoreamento dos rios (OLIVEIRA e CALHEIROS, 2005; PADOVANI *et al.*, 2005), além de contaminação por pesticidas (MIRANDA *et al.*, 2008; DORES e CALHEIROS, 2008). Tais impactos nas áreas de planalto tem afetado também a hidrodinâmica e a quantidade de água dos rios formadores do Pantanal, atingindo fazendas a jusante, localizadas na planície (PADOVANI *et al.* op. cit.). Outro problema que pode alterar a hidrodinâmica de água, nutrientes e material em suspensão nos corpos de água que abastecem as fazendas na planície é a implantação de mais de uma centena de hidrelétricas (135 empreendimentos, entre atuais e previstos) na área de transição planalto-planície, com potencial de alterar o pulso de inundação de cada rio formador do Pantanal, em especial na região do Pantanal Norte, no Estado de Mato Grosso, onde se encontram cerca de 70% dos empreendimentos planejados (CALHEIROS *et al.*, 2009; CALHEIROS e OLIVEIRA, 2010; CALHEIROS *et al.*, 2012).

Em face da globalização da economia, criação de mercados competitivos e a crise da pecuária, as pressões por aumento de produtividade em todas as regiões do país que criam bovinos exclusivamente a pasto, tem-se intensificado também no Pantanal. Além disso, a constante divisão das terras das propriedades, seja por

venda ou herança, está reduzindo a capacidade produtiva das fazendas pantaneiras. Estes fatores tem ameaçado a sustentabilidade do sistema, devido à introdução de tecnologias com impactos negativos, principalmente a substituição de espécies forrageiras nativas por espécies exóticas de maneira inadequada (SANTOS *et al.*, 2008), levando ao desmatamento de áreas de cobertura vegetal arbórea, as cordilheiras de matas (cerradões), para ampliar a área de pastagens exóticas, colocando em risco a conservação da região. Segundo Silva *et al.* (2011), os percentuais atuais apontam, que se não houver ações de controle efetivas, a vegetação natural da região poderá ser suprimida até o ano de 2050. Cabe lembrar que tanto pela legislação anterior quanto pela atual, o Código Florestal (BRASIL, 1965; BRASIL, 2012), propriedades em áreas de cerrado (exceto nas áreas pertencentes à Amazônia Legal) podem ser desmatadas legalmente em até 80%, excluindo as Áreas de Proteção Permanente (APPs) como matas ciliares e nascentes, além dos 20% de Reserva Legal. Caso esta tendência de expansão de áreas de pastagens plantadas continue, avançando tanto em áreas de pastagens nativas como em áreas de vegetação arbórea a conservação dos processos ecológicos do bioma, como determina a Constituição Federal (BRASIL, 1988 - Artigo 225), bem como sua biodiversidade, serão afetados.

A criação extensiva de gado de corte é uma das atividades econômicas historicamente mais adaptadas ao Pantanal por meio do manejo tradicional, em que a capacidade de suporte é, em geral, respeitada, garantindo um elevado nível de conservação quando comparado com outros biomas. Por ser região considerada área agrícola marginal, devido às limitações para a agricultura como inundações periódicas, solos de baixa fertilidade, dificuldades de acesso, aliadas às

grandes extensões da planície com pastagens nativas, a pecuária caracterizou-se como opção econômica relevante. Contudo, por ser uma planície de inundação, o Pantanal não suporta tecnologias muito intensificadas, sem que ocorram alterações impactantes (SANTOS *et al.*, 2008). Segundo Euclides Filho (2004), para que o rebanho de cria do Pantanal seja competitivo, os criadores devem investir em animais adaptados à região, usar uma taxa de lotação adequada e implantar alternativas tecnológicas, além de otimizar o uso dos recursos forrageiros naturais para assegurar a produção sustentável. Uma produção ótima não significa necessariamente a obtenção de altos índices e sim produzir dentro das limitações bióticas e abióticas do meio ambiente (WRIGHT, 1998). De acordo com Santos (2000), há a necessidade de desenvolver tecnologias/práticas de manejo específicas para as diferentes condições ambientais do Brasil que apresentem o mínimo impacto ambiental. Somente com o conhecimento dos processos ambientais e a real capacidade de suporte dos sistemas (produção sustentável máxima) no tempo e no espaço, será possível tomar decisões adequadas.

Uma vez que a maior parte da planície pantaneira é constituída por propriedades particulares, é irreal pensar em desenvolver planos de conservação sem considerar a escala de fazenda e a atividade pecuária (SANTOS *et al.*, 2008), com um rebanho de cerca de 3,8 milhões de cabeças (ROSA *et al.*, 2006). Desta forma, qualquer plano de conservação e de desenvolvimento sustentável para a região deve levar em consideração o sistema de produção de gado de corte, cujos proprietários são os principais tomadores de decisão em nível de cada fazenda, ou agroecossistema, quanto ao uso do solo na planície pantaneira (SANTOS *et al.*, 2008). Faz-se premente, então, criar

mecanismos para valorizar, estimular e promover as práticas de manejo da pecuária tradicionais na região, atualizando-as com uma maior base científica.

Do ponto de vista ecológico, o conceito de Manejo de Ecossistemas (GRUMBINE, 1994) fundamenta a necessidade de adoção de práticas de uso mais sustentável dos recursos naturais com base no conhecimento dos processos (ciclos hidrológicos e biogeoquímicos, por exemplo) e relações ecológicas que regem os ecossistemas para garantir a conservação ambiental em longo prazo. Nesta mesma linha, o enfoque Agroecológico (CAPORAL e COSTABEBER, 2002) corresponde à aplicação de conceitos e princípios multidisciplinares (ecologia, agronomia, sociologia, antropologia, economia ecológica, etc.) no redesenho e no manejo de agroecossistemas mais sustentáveis através do tempo. Portanto, incorpora dimensões mais amplas e complexas, que incluem mais do que meramente aspectos relacionados à produtividade agropecuária, mas também sociais, ecológicos, além de variáveis culturais, políticas e éticas, proporcionando as bases científicas para apoiar o processo de transição do modelo de agricultura convencional para estilos de agriculturas de base ecológica ou sustentáveis, assim como do modelo convencional de desenvolvimento a processos de desenvolvimento rural sustentável. O grande desafio dos técnicos, produtores e sociedade em geral é desenvolver sistemas de produção vegetal e animal que compatibilizem aumento de produtividade e conservação ambiental, ou seja, que alcancem maior sustentabilidade.

A definição de indicadores de sustentabilidade (qualitativos e quantitativos) de sistemas produtivos no Pantanal constitui importante ferramenta para avaliar e monitorar a conservação dos recursos naturais, visto que sintetiza um conjunto de informações que

permite caracterizar a situação atual, alertar para situações de risco e prever situações futuras, de forma a facilitar a tomada de decisão por parte de proprietários e órgãos gestores (RIGBY *et al.*, 2001; OLIVEIRA e CALHEIROS, 2011).

Esta pesquisa é parte do projeto “Desenvolvimento de sistemas de suporte a decisão para produção animal sustentável no Pantanal”, coordenado pela Embrapa Pantanal, em que cada agroecossistema pode ser caracterizado em relação ao seu sistema de produção pecuária por meio de parâmetros ambientais (água, solo, ar, clima, biodiversidade, pastagem), sociais (perfil da população, nível educacional, saúde, trabalho, etc.) e econômicos (conservação da pastagem e do solo, índices zootécnicos, etc.), que tem um caráter agroecológico.

## OBJETIVO

O objetivo deste artigo consiste na definição de indicadores de conservação de ambientes aquáticos para fazendas do Pantanal e seus critérios de avaliação, a fim de compor um Índice de Sustentabilidade (composto por outros indicadores ambientais, além de sociais e econômicos) para avaliar e monitorar o impacto da atividade pecuária na região.

## O PANTANAL MATO-GROSSENSE

A região denominada Pantanal ou planície pantaneira, que compreende as áreas abaixo de 200 metros de altitude, depende sobremaneira das interações com a região do planalto, localizada no entorno do Pantanal, com altitudes acima de 200 metros, compreendendo as nascentes e os divisores da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai - BAP (Figura 1). A BAP é formada por outras bacias menores que drenam para o rio



Paraguai, seu principal canal de drenagem. Cada bacia é proveniente de diferentes regiões geológicas e com regimes pluviométricos/hidrológicos distintos, que lhe conferem características físicas, químicas, biológicas e ecológicas, ou seja, limnológicas, também distintas. Os principais rios são Jauru, Cuiabá, São Lourenço, Taquari, Negro, Miranda, Aquidauana e Apa.

Além dos rios, a planície de inundação caracteriza-se por apresentar lagoas (“baías”) marginais com conexão perene ou intermitente com os rios principais, caracterizando uma drenagem complexa. Segundo Carvalho (1986), ela é constituída, além dos rios, por pequenos cursos d’água (córregos); linhas de drenagem de moderada declividade, mas sem canal bem desenvolvido (vazantes); vazantes com seção definida (corixos ou corixões), lagos e lagoas (baías) e lagoas ou antigos meandros marginais. No período de águas baixas, na área de inundação dos rios, os lagos, lagoas e meandros abandonados tornam-se independentes, mas algumas vezes canais recobertos por vegetação herbácea, auxiliados pela permeabilidade do solo, mantêm esta conexão. Em especial, a região da Nhecolândia apresenta como característica geomorfológica milhares de lagoas predominantemente circulares, que, de acordo com as características químicas diferenciadas, em especial condutividade e pH, são denominadas regionalmente como “baías”, “salitradas” e “salinas”.

Na BAP, a concentração de chuvas no verão, associada à uniformidade topográfica e aos fracos desníveis do relevo, além da predominância de litologias sedimentares recentes, faz com que a onda de cheia, formada no trimestre janeiro-fevereiro-março na região de Cáceres (MT), se desloque lentamente pelo rio Paraguai, rumo ao sul, demorando até seis meses para sair do território brasileiro

(CARVALHO, 1986). A onda de cheia atinge Corumbá (MS) em abril-maio-junho, após o cessar das chuvas, devido à lenta drenagem do Pantanal. Mais ao sul, o rio Paraguai apresenta um primeiro pico de enchente em fevereiro-março, originado das descargas dos rios do sul da bacia (Miranda, Aquidauana, Negro e Taquari). Em maio-junho acontece a maior inundação, devido à chegada das águas originadas do norte da bacia. Além do comportamento sazonal, o fenômeno das enchentes apresenta uma periodicidade plurianual, com alternância de períodos de anos mais secos com anos de cheias expressivas (CARVALHO, 1986; MOURÃO *et al.*, 2002).

O clima é quente e úmido no verão, e frio e seco no inverno, com temperatura média anual de 25°C, sendo que, nos meses de setembro a dezembro, as temperaturas máximas absolutas ultrapassam 40°C. Entre maio e julho, a temperatura manifesta declínio significativo, causado pela entrada de massas de ar frio. A média das temperaturas mínimas fica abaixo de 20°C, e as mínimas absolutas, próximas de 0°C (MINISTÉRIO DO INTERIOR, 1979). Segundo Köppen, o clima predominante é Aw – clima de Savana – com temperaturas médias anuais variando entre 22,5 e 26,5°C. A precipitação média anual é de 1.398mm, variando entre 800 e 1.600mm, sendo os maiores valores observados nas áreas de planalto ao norte (MT) e a leste, na região de Coxim (MS). O período chuvoso ocorre entre outubro e abril (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006). O balanço hídrico simplificado, com a finalidade de estimar a evapotranspiração real média, demonstra que a Região Hidrográfica do Paraguai é a que apresenta maiores valores de evapotranspiração, totalizando 1.193mm (85% da precipitação), superando a média do país, que é de 80% da precipitação média. A presença do Pantanal, com grandes

superfícies úmidas associadas a elevadas temperaturas, favorece a evaporação (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006).

Essas características geológicas, geomorfológicas e climáticas, associadas a variações sazonais das condições hidrológicas, formam planícies distintas quanto à duração e altura das inundações. Desta forma, em nível de fazenda, a oferta de água e a frequência e nível das inundações dependerá de sua localização geográfica na planície, que condicionará a frequência e intensidade de chuvas, e em relação à presença de corpos d’água e canais de drenagem (Figura 1).

O sistema BAP/Pantanal oferece serviços ecossistêmicos que sustentam as atividades econômicas da região. No planalto, oferece o benefício da disponibilidade de solo e água para as atividades agroindustriais, por exemplo. Na planície, as atividades tradicionais da sociedade pantaneira como a pesca, a pesca turística, o manejo natural das pastagens nativas e o enriquecimento nutricional do solo para a pecuária, bem como a conservação da biodiversidade para o turismo, dependem profundamente da conservação da saúde ambiental, em especial do funcionamento hidro-ecológico natural do sistema, o ciclo de cheias e secas. Como visto, nas últimas quatro décadas as atividades agropecuárias causaram alterações expressivas na cobertura vegetal, cursos de água e aquíferos, em especial no planalto circundante à planície pantaneira, contribuindo para a degradação dos ecossistemas e comprometendo os serviços ecossistêmicos prestados pelo bioma. Não obstante, as pressões econômicas para se implantar projetos de desenvolvimento convencional na região, incluindo as pressões para o aumento da produtividade dos sistemas de produção de gado de corte no Pantanal tem aumentado, representando uma ameaça à sustentabilidade dos ecossistemas

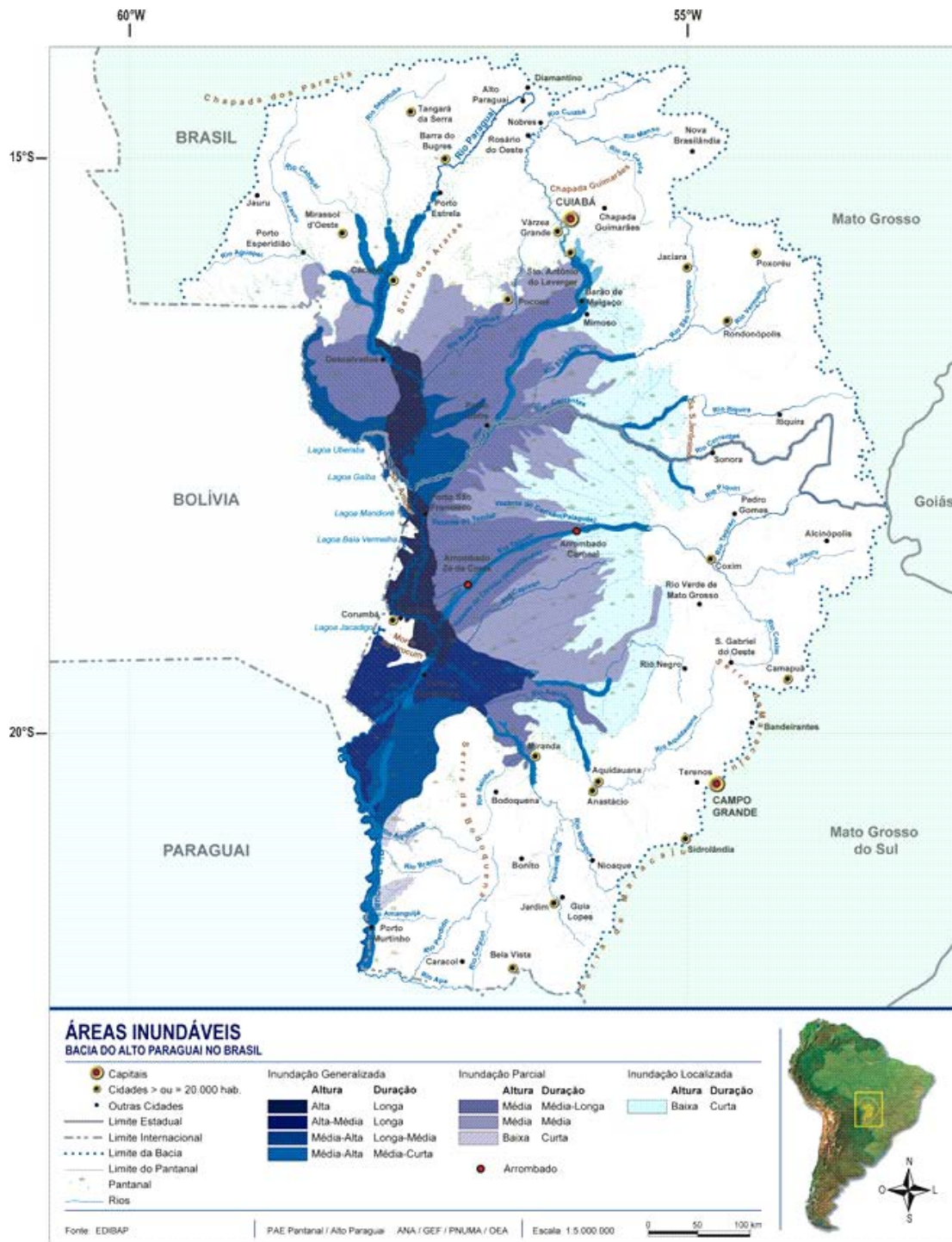


Figura 1 – Mapa da bacia do Alto Paraguai no Brasil, com a localização da planície pantaneira, identificada pelos vários tons de azul (vide legenda) e os seus principais rios formadores, e da parte alta do planalto circundante (branco), região das cabeceiras do divisor de águas, bem como as principais cidades pantaneiras e peri-pantaneiras. Fonte: ANA/GEF/PNUMA/OEA.

se forem utilizadas formas de manejo inapropriadas para a região (SANTOS *et al.*, 2008; CALHEIROS e OLIVEIRA, 2010; SILVA *et al.*, 2011). Essas alterações afetam negativamente o funcionamento

ecológico desses ambientes e os seus respectivos serviços ambientais (FALKENMARK *et al.*, 2007).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A proposição de indicadores de avaliação do impacto ambiental da atividade de pecuária extensiva no Pantanal, em nível de fazenda, tem como objetivo final

certificar fazendas sustentáveis do Pantanal, a partir do Índice FPS – Fazenda Pantaneira Sustentável, um sistema de suporte à decisão para avaliação e monitoramento das fazendas pantaneiras, com base na definição de critérios de sustentabilidade em três dimensões: econômica, social e ambiental. Para a determinação dos indicadores, foram definidos os principais parâmetros relacionados com a produção de gado de corte nas fazendas da região: 1. conservação e produtividade das pastagens; 2. gestão da paisagem e biodiversidade; 3. gestão de recursos hídricos; 4. manejo do rebanho e bem-estar animal; 5. viabilidade econômica e 6. aspectos socioculturais. Com base na categorização em Classes de Sustentabilidade de um determinado agroecossistema, em Crítica, Regular e Boa, poder-se-á sugerir estratégias de manejo e ajustes para atingir gradativamente um patamar desejado de sustentabilidade, por meio de processo de certificação anual, na forma de um “Selo FPS”.

Os indicadores foram definidos de forma participativa por meio de seis workshops com participação de cerca de 20 especialistas da comunidade científica da região, em geral com mais de 20 anos de experiência, e com enfoque multidisciplinar, em áreas como ecologia de ambientes aquáticos, fauna, flora, solos, produção pecuária, socioeconomia rural, pastagens, ecologia da paisagem, bem estar animal e inteligência artificial. De uma lista extensa de possíveis indicadores elencados pelos especialistas, solicitou-se que até cinco fossem priorizados, tendo como critério de escolha o fato de serem simples, de fácil mensuração e, em especial, representativos de processos importantes para a sustentabilidade do bioma. Para cada indicador, foi solicitado que se informassem as seguintes questões: O que ele indica? Como pode ser medido?

Como pode ser usado para monitoramento? Qual a escala de tempo necessária?, além de informações sobre as possíveis limitações e os atores envolvidos no monitoramento.

O conjunto de indicadores propostos para compor o índice de conservação dos corpos de água naturais (ICA) foi também avaliado previamente por meio de simulações teóricas vislumbrando cenários diferenciados para cada um de seus indicadores, utilizando um sistema de suporte à decisão (*WebFuzzy*) especialmente desenvolvido pela Embrapa Informática Agropecuária (LIMA *et al.*, 2011). Este sistema é baseado na análise computacional denominada “Lógica Nebulosa” (ou “Lógica Fuzzy”), inserida em um ambiente amigável de simples acesso por meio da rede mundial de computadores e que facilita a interação com o usuário, desde técnicos de órgãos gestores até usuários leigos, como proprietários de fazendas, uma vez habilitados (EMBRAPA, 2010). A análise computacional “Lógica Nebulosa” adotada para o cálculo do índice (ICA) proposto, bem como o FPS geral para cada agroecossistema, é baseada na teoria dos “conjuntos nebulosos” formulada por Zadeh (1965) e no mecanismo de inferência proposto por Mamdani (1976), o qual propôs um controlador para sintetizar o processo de tomada de decisão adotando um processo baseado em regras do tipo “SE A então B”, onde tanto o antecedente quanto o conseqüente são valores de variáveis linguísticas, expressos por meio de “conjuntos nebulosos”, possibilitando, de maneira relativamente fácil a incorporação do conhecimento de especialistas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No âmbito da gestão de recursos hídricos, os cinco indicadores, com suas respectivas faixas gradação de impacto, selecionados e validados pelo grupo

de especialistas, para compor o Índice de Conservação de Corpos de Água Naturais – ICA, para ambientes naturais, foram: 1. Grau de deposição de excretas de bovinos (0-100%) – FEZ; 2. Grau de compactação por pisoteio (0-100%) – PIS; 3. Grau de alteração no fluxo de água natural (0-100%) – FLUXO; 4. Grau de assoreamento dos corpos d’ água (0-100%) – ASSO e 5. Grau de alteração da vegetação na borda dos corpos d’ água (0 a 100%) – VEG.

Para se avaliar o nível de alteração desses indicadores em uma dada fazenda, análises prévias de mapas e imagens de satélite (se possível de alta definição), tanto na fase de seca de um ano considerado seco como na fase de cheia de um ano considerado úmido, dentro da variação plurianual, serão necessárias. Serão associadas ainda informações fornecidas pelos proprietários e funcionários, bem como informações técnicas relacionadas aos tipos de corpos d’ água (riachos, rios, corixos, vazantes, baías, lagoas marginais, salinas, etc) e se são ambientes perenes ou não, além de informações quanto à conservação de matas ciliares, nascentes e encostas (áreas de proteção permanente – APPs) e quanto aos tipos de solo, presença de áreas de pastagem cultivada, etc., levando-se em consideração também a experiência dos técnicos avaliadores. As amostragens/avaliações serão realizadas ainda com base no tipo de fitofisionomias, ou paisagens, existentes no agroecossistema.

### Indicadores componentes do ICA

1. Grau de deposição de excretas de bovinos – FEZ

Para a determinação do indicador, avaliar-se-á, por meio de estimativa visual, a área com deposição de fezes na borda dos corpos d’ água, sendo adotadas as classificações de nível de impacto: Crítico (mais que 70% da área considerada com presença de

deposição de fezes), Regular (entre 50-70% da área), Bom (entre 20 e 50% da área) e Ótimo (menos que 20% da área).

## 2. Grau de compactação do solo por pisoteio – PIS

Estimativa visual do grau de alteração da borda dos corpos d'água pelo pisoteio ou uso como dormitório por bovinos, bem como por meio de penetrômetro. As categorias relacionadas ao nível de pisoteio serão: Crítico (presente em mais que 70% das bordas dos corpos d'água), Regular (presente em 50-70%), Bom (presente em 20-50%), e Ótimo (presente em menos que 20% das bordas).

## 3. Grau de alteração no fluxo natural de água – FLUXO

Será avaliada a existência de alteração no fluxo (vazão) de água natural em cursos d'água superficiais, devido a interferências antrópicas (construção de canais, diques, aterros, etc). A alteração poderá ser detectada visualmente, por imagens de satélite e, quando possível, poderá ser avaliada medindo-se o fluxo (por meio de flutuantes ou fluxômetro) antes e depois da área alterada. As classificações do nível de impacto serão: Crítico (elevado- entre 70-100% de alteração do fluxo natural, e com pouca possibilidade de reversão), Regular (moderado- entre 50-70% de alteração do fluxo e com boa possibilidade de reversão), Bom (mínimo- entre 20-50% de alteração do fluxo e com possibilidade total de reversão), Ótimo (muito baixo- alteração do fluxo entre 0-20%).

## 4. Grau de assoreamento dos corpos d' água – ASSO

Estimativa visual do grau de erosão em estradas e áreas utilizadas para agricultura e pecuária, dentro da propriedade e/ou em áreas adjacentes a esta, além do grau de assoreamento nas margens dos cursos d'água devido à entrada de sedimentos, o desmatamento de áreas próximas e

abertura de novas estradas. Imagens de satélite devem ser usadas para esta avaliação. As categorias relacionadas ao assoreamento serão: Crítico (elevado- áreas com evidências de erosão entre 70-100%), Regular (médio- entre 50-70% da área considerada), Bom (baixo- entre 20-50% da área) e Ótimo (muito baixo- entre 0-20% da área).

## 5. Grau de alteração da vegetação na borda dos corpos d'água – VEG

A estimativa será visual bem como por meio de análise temporal de imagens de satélite ou fotografias aéreas do grau de modificação da vegetação na borda de corixos, baías, salinas e demais cursos d'água naturais, além da presença de plantas exóticas e invasoras, ou remoção de mata ciliar no caso de ambientes lóticos (rios), comparando-se com as métricas determinadas pela legislação vigente e/ou sabidamente características da região. As classificações do nível de alteração da cobertura vegetal natural serão: Crítico (alteração elevada- entre 50-100% da área considerada), Regular (alteração moderada- entre 30-50% da área), Bom (alteração mínima- entre 10-30%) e Ótimo (ausente- entre 0-10% da área).

Todas as combinações de regras possíveis entre as variáveis de entrada, ou seja, os indicadores, foram geradas e os especialistas, através de seu conhecimento sobre o tema, determinaram qual deveria ser a saída esperada do modelo, desta maneira seus conhecimentos foram incorporados. Por exemplo, para determinar a regra para se considerar um agroecossistema como "Crítico", os especialistas foram convidados a afirmar quais seriam os valores dos cinco indicadores, entre ótimo, bom, regular e crítico e quais eram os decisivos para esta classificação.

Assim, um agroecossistema pode ser considerado como "Crítico" em termos de conservação de qualidade de água, apenas se o grau

de alteração no fluxo natural de água estiver em estado crítico, mesmo se os demais indicadores estiverem com classificação melhor; o mesmo pode ocorrer se o grau de alteração da vegetação na borda dos corpos d'água for crítico.

O sistema de suporte à decisão fornece resultados para cada parâmetro em gráfico visual na forma de radar, onde é possível visualizar os indicadores que estão abaixo do nível desejado ou sustentável. Além da avaliação individual de cada Índice, a ferramenta também fornece a análise integrada de todos os demais Índices, considerando os aspectos relacionados com as práticas de manejo da fazenda, como também a avaliação do potencial produtivo. Na Figura 2 podem ser observados exemplos de simulações para o cálculo do ICA com base em dois cenários extremos: uma fazenda que apresenta grau elevado de conservação de seus recursos hídricos (FLUXO= 0%; VEG= 10%; ASSO= 10%; PIS= 20%; FEZ= 20%, sendo o resultado do ICA= 7,7724) e outra que sofre impactos expressivos (FLUXO= 40%; VEG= 80%; ASSO= 30%; PIS= 450%; FEZ= 50%, sendo o resultado do ICA= 2,3811). Quanto mais externo está o indicador avaliado, como, por exemplo, o grau de compactação do solo por pisoteio ou de alteração da vegetação na borda dos corpos de água, melhor ele foi avaliado, sendo pontos fortes da fazenda, e quanto mais próximo do centro pior é a avaliação, ou pontos fracos quanto à sustentabilidade, mas que dependendo do indicador pode ser melhorado. Desta forma, será possível avaliar o grau de sustentabilidade do sistema produtivo de cada agroecossistema, apontando os fatores responsáveis para garantir a sustentabilidade das fazendas pantaneiras.

Como exemplos das recomendações possíveis para reversão dos impactos da atividade pecuária nos corpos de água

## COMPARATIVO NORMALIZADO

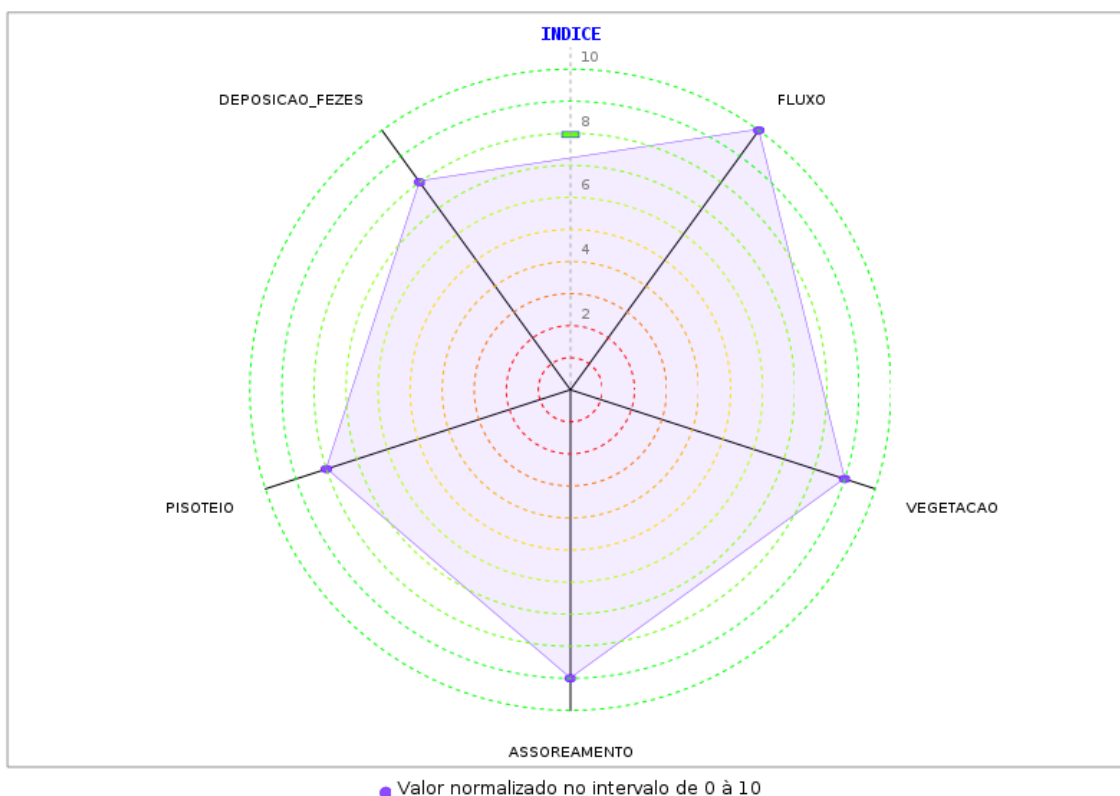


Figura 2 - Exemplos de gráficos gerados pelo sistema de suporte à decisão WebFuzzy para o ICA, componente da ferramenta FPS. Acima exemplo, resultante de simulação teórica, de uma fazenda considerada sustentável (ICA = 7,7724) e abaixo exemplo de uma fazenda altamente impactada (ICA= 2,3811)

naturais, ajustes no manejo da propriedade devem ser sugeridos, apontando os fatores responsáveis para garantir a sustentabilidade das fazendas pantaneiras. Por exemplo, avaliar a possibilidade de deixar ambientes aquáticos sem acesso ao gado, como em áreas de reserva legal e de APP ou até estimulando a criação de unidade de conservação do tipo Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN). Contudo, pela dificuldade de se cercar áreas impedindo o acesso do gado em grandes extensões, alternativamente, poder-se-ia promover um maior rodízio de invernadas, modificando o manejo do rebanho. Alternativamente, poder-se-ia aumentar a oferta de água, aumentando o número de pilhetas ou poços artificiais e planejando sua localização e distribuição, uma vez que esses

poços auxiliariam a evitar o impacto nos ambientes aquáticos naturais, bem como a oferta de água para as espécies nativas, contribuindo para a conservação da biodiversidade.

Para facilitar a interpretação e a tomada de decisão o resultado final, deste e dos demais índices considerados (ambientais, sociais e econômicos), tem como resultado de saída apenas três Classes de Sustentabilidade: Crítica (0-3); Regular (3-6) e Boa (6-10), sendo o valor final de cada Índice e do FPS geral expressos entre 0 (pouco sustentável) a 10 (sustentável).

## DISCUSSÃO

Na literatura constam diversas definições filosóficas de sustentabilidade, porém, definições

operacionais e metodologias que permitam a sua aplicação nas tomadas de decisões e planejamento da agricultura são mais difíceis (SMITH e MCDONALD, 1998). A definição é muito ampla e varia conforme os interesses locais e pessoais, sendo às vezes usada apenas na forma unidimensional, principalmente econômica. Sendo assim, um dos pré-requisitos na sua aplicação é defini-la adequadamente conforme os objetivos a serem alcançados seguindo os princípios da sustentabilidade que é multidimensional (econômica, ecológica e sociocultural), numa perspectiva de longo prazo, envolvendo as distintas percepções dos atores envolvidos. RIGBY *et al.* (2001) construíram indicadores para avaliar a sustentabilidade em nível de fazendas a partir do uso de “inputs” ao invés de avaliar os

impactos. Porém, a avaliação dos impactos nos parece mais desejável, desde que sua utilização se baseie em ferramentas de monitoramento, nem sempre disponíveis, mas que se justificam como aperfeiçoamento do processo.

As organizações internacionais de certificação como a Fundação Internacional para a Agricultura Orgânica (International Foundation for Organic Agriculture - IFOAM) estabeleceram protocolos que focam a permissão ou não do uso de insumos e práticas de manejo. Porém, a própria IFOAM (<http://www.ifoam.org/>) considera que há a necessidade de estabelecer um modelo de gestão e manejo para produtores de modo que eles tenham um guia para garantir o cumprimento de determinadas normas e práticas pré-estabelecidas. Tais modelos necessitam ser simples e robustos, internacionalmente aceitos e compatíveis com outros modelos internacionais de modo que permitam integração como no caso das ISOs 9001 e 14001, e à normas do Codex Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (Codex Hazard Analysis and Critical Control Point – HACCP) da mesma IFOAM.

Este trabalho objetivou definir indicadores de conservação de ambientes aquáticos para fazendas de pecuária extensiva de gado de corte no Pantanal e seus critérios de avaliação, visando justamente a proposição de um índice de sustentabilidade para avaliar e monitorar o impacto da atividade. A alteração da qualidade da água é consequência da alteração de outros indicadores, como alteração da cobertura da vegetação ciliar, sobrepastejo, não se respeitando a capacidade de suporte (número de cabeças/ha) do ambiente, levando a uma maior incidência de processos de erosão, assoreamento e pisoteio, além da quantidade de fezes em uma determinada inverno, podendo sofrer ainda influências de alterações ocorridas fora dos limites do agroecossistema avaliado

(desmatamentos, interferências no fluxo).

A pecuária é praticada há mais de 200 anos no Pantanal, sendo difícil encontrar corpos d'água sem o impacto da presença de bovinos, estando estes ambientes restritos apenas a parques e reservas naturais. Dados históricos de qualidade e quantidade de água, que permitam conhecer as características naturais dos ambientes para se diferenciar alterações sazonais naturais, relacionadas ao funcionamento hidro-ecológico da planície, daquelas relacionadas às atividades antrópicas são escassos ou inexistentes, mas fundamentais para embasar a interpretação dos dados em um ambiente ainda saudável e altamente dinâmico. Desta forma, a utilização de outro tipo de variáveis indicadoras, em função da praticidade em representar e simplificar fenômenos complexos e sistêmicos, foi decisiva para sua inclusão no ICA.

O ideal numa avaliação sobre alterações de qualidade de água seria medir parâmetros que expressem analiticamente e quantitativamente, como condutividade, nutrientes, teor de clorofila, coliformes termotolerantes, sólidos em suspensão, etc. No entanto, esses parâmetros são difíceis de medir porque exigem equipamentos específicos para sua medição, protocolos para coleta, armazenamento, e análise que muitas vezes são impossíveis de serem cumpridos no caso do Pantanal, onde o acesso é difícil sob longas distâncias, como por exemplo, no caso dos coliformes, cuja análise tem que ser feita em 24h entre coleta e análise. Outro fator importante é o conhecimento prévio das características do corpo d'água que está sendo analisado. No Pantanal, as variações dentro do ano, entre as fases de seca e cheia, são expressivas, por isso análises baseadas em séries temporais são necessárias. Em anos de secas mais

drásticas, muitos corpos d'água apresentam lâmina d'água reduzida ou secam completamente, e em anos mais úmidos há um expressivo aumento da área alagada/inundada, com conexão entre eles. OLIVEIRA e CALHEIROS (2011) observaram que a variabilidade química das águas da região do Pantanal da Nhecolândia torna difícil definir intervalos de parâmetros físicos e químicos que possam ser usados como indicadores de qualidade da água em relação ao uso pela pecuária, considerando as variações sazonais das características naturais dos ambientes. As autoras consideram este entendimento como fundamental para a utilização de indicadores no Pantanal.

A Lógica Nebulosa ou “Lógica Fuzzy” foi adotada como técnica para agregação e visualização dos indicadores, por ter como princípio a inexistência de intervalos rígidos entre as classes de um conjunto, fundamentais devido à complexidade dos fatores envolvidos na avaliação da sustentabilidade. Para cada indicador foram implementados sistemas de inferência “Fuzzy”, resultando em um índice integrado que considerou as regras definidas pelos cientistas com base em seus estudos e vivência da/na região. Através desta abordagem, é possível adicionar “inteligência” aos indicadores, tornando-os ferramentas de apoio a decisões mais robustas. Tal abordagem tem sido cada vez mais utilizada na área de qualidade da água, como visto em Içaga (2007) e Lermontov *et al.* (2009).

O aproveitamento do conhecimento especializado na conservação e gestão de recursos naturais está crescendo, sendo usado como uma ferramenta para a tomada de decisões onde há incerteza e escassez de dados empíricos. No caso de se considerar a opinião de vários especialistas, métodos capazes de sintetizar as respostas, gerando a incerteza em torno da estimativa, são necessários.



Uma validação preliminar do ICA foi realizada em campo, com a obtenção de dados reais em duas fazendas na região da Nhecolândia, uma com maior conservação e boas práticas de manejo e outra com elevada alteração da paisagem, com implantação de pastagem exótica e maior carga de animais, demonstrando praticidade e viabilidade. Também uma validação preliminar participativa ocorreu em julho/2012 apenas com pecuaristas da região, ainda prevendo-se realizar outra(s) com a participação dos demais atores (instituições governamentais e não governamentais, de ensino e pesquisa, certificadoras, e tomadores de decisão). O Índice foi bem aceito pelos produtores, sugerindo-se apenas a inclusão de mais um indicador, o de "Disponibilidade de Água" para o rebanho, visando diminuir a pressão nos corpos de água naturais, ao oferecer opções de dessedentação artificiais. Estas etapas de validação apontaram ajustes para o aperfeiçoamento do ICA ainda em fase de elaboração.

Esta proposta de avaliação da qualidade dos corpos de água naturais em nível de agroecossistemas deverá ainda ser validada a partir de visitas de avaliação em mais fazendas, inclusive em outras sub-regiões do Pantanal e também por meio de mais consultas participativas com proprietários e funcionários de fazendas, técnicos de órgãos gestores, tomadores de decisão, etc. No entanto, as simulações teóricas para o cálculo do ICA aqui apresentadas, as variáveis utilizadas mostraram-se promissoras, como indicadoras da qualidade dos ambientes aquáticos para fins de avaliação da influência da atividade pecuária nos recursos hídricos da planície pantaneira. Tais simulações, bem como validações prévias, de campo e participativa indicam que a ferramenta é apropriada como índice de qualidade e sustentabilidade ambiental dos

corpos d'água nos agroecossistemas do Pantanal.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a toda equipe de apoio técnico e de campo da Embrapa Pantanal e aos demais pesquisadores membros dos Projetos "Monitoramento da Sustentabilidade de Sistemas de Produção de Pecuária de Corte do Pantanal" e "Desenvolvimento de Sistemas de Suporte a Decisão para Produção Animal Sustentável no Pantanal", financiados pela Embrapa. Agradecemos ainda a Dra. Sílvia M. F. S. Massruhá - Embrapa Informática Agropecuária, pela contribuição fundamental na escolha da ferramenta de suporte à decisão.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Código Florestal. Lei No. 4771 de 15 de setembro de 1965.

BRASIL. Novo Código Florestal. LEI Nº 12.727, de 17 de outubro de 2012.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. 1988.

CALHEIROS, D. F.; ARNDT, E.; RODRIGUEZ, E. O.; SILVA, M. C. A. **Influências de usinas hidrelétricas no funcionamento hidro-ecológico do Pantanal Mato-Grossense: Recomendações.** Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2009. 21p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 102). Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/DOC102.pdf> Acesso em 28 de fevereiro de 2011.

CALHEIROS, D. F.; OLIVEIRA, M. D. O rio Paraguai e sua planície de inundação - O Pantanal Mato-Grossense. **Ciência & Ambiente**, v. 41, p. 113-130, 2010.

CALHEIROS, D. F.; OLIVEIRA, M. D.; PADOVANI, C. R. Hydro-ecological

Processes and Anthropogenic Impacts on the Ecosystem Services of the Pantanal Wetland. In: IORIS, A. A. R. (Org.). **Tropical Wetland Management: The South-American Pantanal and the International Experience.** Farnham, England: Ashgate Publishing Ltd, 2012, p. 29-57.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Agroecologia: Enfoque científico e estratégico. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 3, n. 2, p. 13-16, 2002.

CARVALHO, N. O. Hidrologia da Bacia do Alto Paraguai. In: **Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal**, 1. 1984, Corumbá. Anais. Brasília, DF: EMBRAPA-DDT, (EMBRAPA-CPAP. Série Documentos, 5), p.43-49. 1986. Disponível em:

<http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/DOC05.pdf> Acesso em 13 de agosto de 2011.

DORES, E. F. G. C.; CALHEIROS, D. F. Contaminação por agrotóxicos na bacia do rio Miranda, Pantanal (MS). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 3, n. 2, 4p. 2008.

EMBRAPA. 2010. **Sistema de suporte à decisão para avaliação e monitoramento das fazendas pantaneiras** - Fazenda Pantaneira Sustentável (FSP). Disponível em: <http://www.webfuzzy.cnptia.embrapa.br/webfuzzy/controlador> Acesso RESTRITO em 28 de outubro de 2011.

EUCLIDES FILHO, K. O enfoque de cadeia produtiva como estratégia para a produção sustentável de cadeia bovina. In: **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 41, Campo Grande-MS. Anais. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2004, p.205-212.

FALKENMARK, M.; FINLAYSON, C. M.; GORDON, L. J. Agriculture,

water, and ecosystems: avoiding the costs of going too far. In: MOLDEN, D. (Ed.) **Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture**. London: Earthscan; Colombo: International Water Management Institute, 2007. p. 233-277.

GALDINO, S., VIEIRA, L. M.; PELLEGRIN, L. A. **Impactos ambientais e socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari – Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2005. Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/Livro025.pdf> Acesso em 13 de novembro de 2010.

GRUMBINE, R. E. What is Ecosystem Management? **Conservation Biology**, v. 8, n. 1, p. 27-38, 1994.

ICAGA, Y. Fuzzy evaluation of water quality classification. **Ecological Indicators**, v. 7, n. 3, p. 710-718, 2007.

LERMONTOV, A.; YOKOYAMA, L. D.; LERMONTOV, M.; MACHADO, M. A. S. River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape River watershed. **Ecological Indicators**, v. 9, n. 6, p. 1188-1197, 2009.

LIMA, H. P. de; MASSRUHÁ, S. M. F. S.; ABREU, U. G. P.; SANTOS, S. A. Webfuzzy e fuzzygen- ferramentas para modelagem fuzzy: aplicação na sustentabilidade das fazendas do Pantanal. In: **Congresso Brasileiro de Agroinformática - SBIAgro, 8**, Bento Gonçalves-RS, 2011, CD.Rom. Anais...

MAMDANI, E. H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. In: **International Symposium on Multiple-valued Logic**, 6. p.196-202, May 25-28, 1976, Logan-Utah, USA. Proceedings...

MINISTÉRIO DO INTERIOR. **Estudo de desenvolvimento integrado da Bacia do Alto Paraguai – EDIBAP**.

Relatório da Primeira Fase: Descrição Física e Recursos Naturais, t. 2. Brasília, DF: SUDECO/PNUD/OEA, 1979.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caderno da Região Hidrográfica do Paraguai**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília, DF: MMA, 2006. 140 p. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/161/\\_publicacao/161\\_publicacao03032011023853.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao03032011023853.pdf) Acesso em 2 de setembro de 2009.

MIRANDA, K.; CUNHA, M. L. F.; DORES, E. G. G. C.; CALHEIROS, D. F. Pesticide residues in river sediments from the Pantanal Wetland, Brasil. **Journal of Environmental Science and Health**, Part B., v. 43, p. 717-722, 2008.

MONITORAMENTO. **Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do solo na Bacia do Alto Paraguai - Período de Análise: 2002 to 2008**. Brasília: CI – Conservação Internacional, ECOA - Ecologia e Ação, Fundação AVINA, Instituto SOS Pantanal, WWF - Brasil. Relatório Técnico. 2010. 58p. Disponível em: [http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/mapacoberturabaciaaltoparaguai\\_estudocompleto.pdf](http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/mapacoberturabaciaaltoparaguai_estudocompleto.pdf) Acesso em 22 de abril de 2010.

MOURÃO, G. M.; OLIVEIRA, M. D.; CALHEIROS, D. F.; PADOVANI, C. R.; MARQUES, E. J.; UETANABARO, M. O. Pantanal Mato-Grossense. In: SEELIGER, U.; CORDAZZO, C.; BARBOSA, F. (Ed.). **Os sites e o programa brasileiro de pesquisas ecológicas de longa duração**. Belo Horizonte, MG: Ed. UFMG, 2002. 184 p.

OLIVEIRA, M. D.; CALHEIROS, D. F. **Qualidade da água em agroecossistemas do Pantanal: Sub-regiões da Nhecolândia e Poconé**. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2011. 21p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa 109). Disponível em:

<http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/BP109.pdf> Acesso em 19 de dezembro de 2011.

OLIVEIRA, M. D.; CALHEIROS, D. F. Características e alterações limnológicas na bacia do rio Taquari. In: GALDINO, S.; VIEIRA, L. M.; PELLEGRIN, L. A. (Ed.). **Impactos Ambientais e Socioeconômicos na bacia do rio Taquari - Pantanal**. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2005. p. 199-206. Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/Livro025.pdf> Acesso em 13 de novembro de 2010.

PADOVANI, C. R.; ASSINE, M. L.; VIEIRA, L. M. Inundações no leque aluvial do rio Taquari. In: GALDINO, S.; VIEIRA, L. M.; PELLEGRIN, L. A. (Ed.). **Impactos ambientais e socioeconômicos na bacia do rio Taquari - Pantanal**. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2005. p. 183-196. Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/Livro025.pdf> Acesso em 13 de novembro de 2010.

RIGBY, D.; WOODHOUSE, P.; YOUNG, T.; BURTON, M. Constructing a farm level indicator of sustainable agricultural practice. **Ecological Economics**, v. 39, p. 463-478, 2001.

ROSA, A.N.; ABREU, U.G.P.; SERENO, J.R.B.; ALMEIDA, I.L.; SCHENK, J.A.P.; COMASTRI FILHO, J.A. **Núcleos de seleção e estratégias para a introdução e produção de touros nelore no Pantanal**. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2006. 45p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa, 69). Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/BP69.pdf> Acesso em 12 de dezembro de 2012.

SANTOS, R. **Nelore: a vitória brasileira**. Uberaba, MG: Editora Agropecuária Tropical, 2000. 560p.

SANTOS, S. A.; ABREU, U. G. P.; COMASTRI FILHO, J. A.; CRISPIM, S. M. A., PELLEGRIN, A. O.; TOMICH, T.

**R. Desafios e soluções tecnológicas para a produção sustentável de gado de corte no Pantanal.**

Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2008. 33p. (Embrapa Pantanal. Serie Documentos, 99). Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/DOC99.pdf> Acesso em 05 de outubro de 2011.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M.; SILVA, S. M. A.; MORAES, J. A. Evolution of deforestation in the Brazilian Pantanal and surroundings in the timeframe 1976 – 2008. **Geografia**, v. 36, Número Especial, p. 35-55, jun. 2011.

SMITH, C.S.; MCDONALD, G.T. Assessing the sustainability of agriculture at the planning stage. **Journal of Environmental Management**, v. 52, p. 15–37. 1998.

UNESCO. Biosphere Reserve Information - **The Pantanal Biosphere Reserve**. MAB – Man and Biosphere Programme. Biosphere Reserves Directory. 2000a. Disponível em: <http://www.unesco.org/mabdb/br/brdir/directory/biores.asp?code=BR A+03&mode=all> Acesso em 22 de fevereiro de 2011.

UNESCO. World Heritage by United Nations - **Pantanal Conservation Complex on the World Heritage List**. 2000b. Disponível em: <http://whc.unesco.org/en/decisions/2428> Acesso em 22 de fevereiro de 2011.

WRIGHT, I. A. Identifying biological constraints acting on livestock systems in marginal areas. In: **Livestock Systems in European Rural Development**, 1, 1997, Nafplio. Proceedings. Scotland: LSIRD, 1998. p. 11-18.

YING, H. **Fuzzy Control and Modeling: Analytical Foundations and Applications**. New York: IEEE Press, 2000. 342 p.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, p. 338–353, 1965.

Recebido em: nov/2011  
Aprovado em: out/2013

# Indicadores de sustentabilidade: proposta de um barômetro de sustentabilidade estadual

## Sustainability indicators: proposal for a state level sustainability barometer

### RESUMO

O presente trabalho apresenta uma proposta de metodologia de Barômetro de Sustentabilidade para aplicação em Estados Brasileiros (BSE), garantindo robustez, utilização de bases de dados disponíveis e construção de parâmetros de sustentabilidade acessíveis. Para validação da metodologia utilizou-se o modelo BSE para o Estado de Rondônia. Os resultados demonstram que o Rondônia se encontra no setor intermediário, quando comparado com os parâmetros estabelecidos, porém muito próximo ao setor de baixo desempenho. Por meio desta aplicação, foi possível validar a proposta do Barômetro de Sustentabilidade Estadual.

**PALAVRAS-CHAVE:** indicadores ambientais, avaliação de sustentabilidade, gestão ambiental

### ABSTRACT

The present study presented a proposal of methodology of Barometer of Sustainability for Brazilian States (BSE), ensuring robustness, and use of available databases and construction of affordable sustainability parameters. In addition, we performed an application of BSE in the State of Rondônia, in order to validate this methodology. This application demonstrated that the state of Rondônia is positioned in the "intermediate" sector, but closer to "low performance sector". Through this application, it was possible to validate the proposed Barometer of State Sustainability.

**KEYWORDS:** environmental indicators, sustainability assessment, environmental management

#### **Tiago Balieiro Cetrulo**

Mestre Ciências Eng.  
Ambiental, Professor  
Instituto Federal do  
Amazonas, Grupo SIADES  
Parintins, AM, Brasil

#### **Natália Sanchez Molina**

Mestre Ciências Eng.  
Ambiental, Professora  
Universidade Federal do  
Amazonas, Grupo SIADES  
Parintins, AM, Brasil

#### **Tadeu Fabricio Malheiros**

Professor do Departamento  
de Hidráulica e Saneamento  
da Escola de Engenharia de  
São Carlos – USP  
São Carlos, SP, Brasil  
tmalheiros@usp.br

## INTRODUÇÃO

Um dos principais desafios em torno da temática da sustentabilidade está relacionado à dificuldade de mensurá-la e uma das formas mais indicada é a utilização de indicadores. Os indicadores atuam de forma a comparar fatos selecionados e observados na realidade com parâmetros ou metas de sustentabilidade pré-estabelecidas, desde que garantam que o processo de avaliação pondere, de forma significativa, as dimensões econômica, social e ambiental (MALHEIROS *et al.*, 2008).

Porém, os sistemas de indicadores existentes para mensuração de sustentabilidade apresentam, de forma geral, dificuldades em relação à complexidade dos sistemas monitorados, fragilidade quanto à carência de base de dados disponíveis, dificuldade de interpretação dos resultados obtidos, faltam parâmetros e metas de sustentabilidade para apoiar processos de comparação.

É neste contexto, que a ferramenta Barômetro da sustentabilidade (BS) tem como característica a capacidade de combinar, de forma bastante acessível, um grande número de indicadores em duas dimensões principais, bem-estar ecológico e bem-estar social, sendo que o resultado é apresentado em forma gráfica de fácil interpretação (PRESCOTT-ALLEN, 2001; VAN BELLEN, 2006).

Portanto, o BS transpõe parte das dificuldades de complexidade e interpretação, mas como não há exigências metodológicas quanto ao número de indicadores utilizados, o barômetro corre o risco de ficar fragilizado (VAN BELLEN, 2004). Outro problema que pode ser associado ao BS é a ausência de bases de dados disponíveis para cálculo das dimensões, assim como, de parâmetros e metas de sustentabilidade.

Para contribuir com esta discussão, o presente trabalho propõe uma metodologia de BS para Estados Brasileiros (BSE) de forma a garantir robustez na utilização de bases de dados disponíveis e construção de parâmetros de sustentabilidade acessíveis. Também é realizada uma aplicação empírica do BSE ao Estado de Rondônia.

## Indicadores de sustentabilidade

As primeiras discussões sobre indicadores de sustentabilidade podem ser observadas no trabalho de NORDHAUS e TOBIN (1972), entretanto foi na Conferência Mundial sobre Meio Ambiente, em 1992, que se consolidou a necessidade de desenvolver indicadores capazes de fornecer parâmetros de sustentabilidade para embasar a tomada de decisão (UNITED NATIONS, 1992).

A complexidade do desenvolvimento sustentável requer um sistema elaborado de informações de forma a transformar o conceito abstrato em uma realidade operacional para a tomada de decisão e os indicadores de sustentabilidade são ferramentas fundamentais nesse processo (DAHL, 1997; BOSSEL, 1999). Segundo MEADOWS (1998), os indicadores são elementos importantes para o monitoramento e controle de sistemas complexos e devem subsidiar a forma como a sociedade planeja suas ações, avalia suas estratégias, além de incorporar o processo de aprendizagem e tomada de decisão.

Embora representem ferramentas fundamentais para a avaliação de um dado sistema, os indicadores de sustentabilidade apresentam fragilidades referentes ao seu processo de escolha e utilização. Para constituírem alternativas válidas para descrever a sustentabilidade de uma sociedade, é necessário atentar para o real

alcance e significado do indicador (SICHE *et al.*, 2007). E ainda, a seleção de indicadores inadequados conduz a um sistema com problemas, uma vez que representa ferramenta central do processo decisório (MEADOWS, 1998).

Nesse sentido, VEIGA (2010) recomenda que a avaliação, mensuração e monitoramento da sustentabilidade sejam embasados em conjuntos bem elaborados de indicadores, uma vez que, fica muito difícil fundir as dimensões do desenvolvimento sustentável em um índice sintético.

## Barômetro de sustentabilidade

O *Barômetro de Sustentabilidade* é uma ferramenta desenvolvida por especialistas canadenses ligados às instituições *International Union for Conservation of Nature – IUCN* e *International Development Research Centre – IDRC* para avaliação de sustentabilidade, que através de um conjunto de indicadores integrados, busca analisar os padrões de interação das pessoas e do meio ambiente, por meio de informações acerca da qualidade de vida e taxa de progresso de uma sociedade rumo à sustentabilidade (PRESCOTT-ALLEN, 1999; VAN BELLEN, 2006).

Para PRESCOTT-ALLEN (1997), trata-se de uma ferramenta direcionada a gestores públicos, agências governamentais e não governamentais, tomadores de decisão e pessoas envolvidas com questões relacionadas ao desenvolvimento sustentável, podendo ser aplicada tanto em escala macro, ou nível de sistema global, como em escala local.

A principal característica do barômetro de sustentabilidade é a combinação de diferentes indicadores com medidas específicas, utilizados de forma conjunta e integrada, por meio de escalas de desempenho (KRONEMBERGER *et al.*, 2008;

PRESCOTT-ALLEN, 2001, 1999). Um potencial benefício do BS é representar as características que revelem mais sobre o estado geral do sistema a partir da escolha de indicadores que retratem, de forma adequada, o estado do meio ambiente e da sociedade. Para isso, o conceito geral de desenvolvimento sustentável deve ser representado no que se refere ao bem-estar e progresso de condições humanas e ecológicas, em indicadores que possam ser definidos em termos numéricos (BOSSSEL, 1999; PRESCOTT-ALLEN, 2001).

O desempenho de cada um dos indicadores que compõem as dimensões de bem-estar humano e ecológico emite um sinal, que sozinho não possibilita uma análise da situação como um todo, mas, quando combinados, demonstram seus resultados por meio de indicadores agregados. A representação gráfica desses valores agregados possibilita a visão do quadro geral do estado do meio ambiente e da sociedade e facilita a análise da inter-relação entre ambas as dimensões através da intersecção desses dois pontos (PRESCOTT-ALLEN, 1999; LUCENA; CAVALCANTE; CÂNDIDO, 2001; VAN BELLEN, 2004).

A escala utilizada no barômetro de sustentabilidade está dividida em cinco setores, que variam do sustentável ao insustentável e representam o progresso, ou não, de uma determinada cidade, estado ou nação (PRESCOTT-ALLEN, 1997; VAN BELLEN, 2004).

## Proposta do Barômetro de Sustentabilidade Estadual

O Barômetro de Sustentabilidade Estadual é aqui proposto como uma ferramenta de comunicação governamental, alinhada com o conceito de avaliação da sustentabilidade. A avaliação de sustentabilidade pode ser entendida como uma abordagem

ou como um instrumento para suporte a decisões direcionadas à promoção da sustentabilidade (DUARTE *et al.*, 2013; BOND & MORRISON-SAUNDERS, 2012; GIBSON *et al.*, 2005). DUARTE *et al.* (2013) destaca que diversos autores definem avaliação de sustentabilidade como uma iniciativa que adota a sustentabilidade em seu objetivo.

A proposta é que a ferramenta Barômetro de Sustentabilidade Estadual sirva para comparar a situação de um Estado em relação a um padrão estabelecido e com os demais estados para fim de *benchmarking*, estratégia pouco explorada pelos indicadores ambientais, como ressaltam CETRULO, MOLINA E MALHEIROS (2012).

Nesta primeira etapa, o padrão foi desenvolvido com base nos melhores desempenhos alcançados por estados brasileiros. Posteriormente novos valores de referência poderão ser utilizados, principalmente a partir de estudos e metas políticas de referência em sustentabilidade. Desta forma, a ferramenta também se alinha à ideia de que a sustentabilidade é um processo em construção, e que ferramentas devem dar suporte a processos continuados de aprendizagem. O BSE proposto, ao comparar indicadores estaduais, potencializa criação de ambiente propício para aprendizagem em aspectos integrados e conectados ao conceito de sustentabilidade.

O princípio é integrar um conjunto de indicadores de qualidade social e ambiental baseados no conceito de desenvolvimento sustentável, numa única representação gráfica. Dessa forma o BSE possibilita uma visão do quadro geral da interação sociedade e meio ambiente de cada federação.

Essa visão geral, baseada no padrão estabelecido, direciona a ferramenta de comunicação governamental a todos os atores relacionados ao desenvolvimento da sociedade brasileira. O conjunto de

indicadores incluídos nesta ferramenta, em termos de diversidade de dimensões e temas, bem como a base de coleta de dados fazem do BSE uma ferramenta de apoio para os processos de gestão e tomada de decisão de médio e longo prazo.

O processo de construção da ferramenta Barômetro de Sustentabilidade Estadual teve início com a definição da visão de desenvolvimento sustentável a ser seguida como linha norteadora. Segundo PRESCOTT-ALLEN (1999), trata-se de um caminho lógico de transformação do embasamento conceitual acerca da sustentabilidade em medidas concretas de bem-estar humano e ecológico, representadas por metas e mensuradas pelos indicadores.

Assim, para o presente estudo, o desenvolvimento sustentável fundamenta-se na expansão das liberdades humanas que, conforme SEN (2000), implica na provisão dos instrumentos e das oportunidades para que as pessoas satisfaçam suas necessidades. Mas, para que as gerações futuras tenham, no mínimo, o mesmo potencial de bem-estar e possibilidade de expansão das liberdades é fundamental respeitar a capacidade de suporte do sistema considerando o potencial de fornecimento de recursos e absorção de resíduos gerados pela sociedade.

Dessa maneira, os próximos passos lógicos foram a escolha de indicadores para mensurar tais conceitos e a delimitação dos valores de referência que foram utilizados para definir os padrões de sustentabilidade.

## Seleção dos Indicadores para o Barômetro da Sustentabilidade Estadual

Por se tratar de uma ferramenta governamental de comunicação houve uma priorização



Tabela 1 - Dimensões, Indicadores e Fontes

BEM-ESTAR HUMANO		BEM-ESTAR ECOLÓGICO	
<b>Indicadores demográficos</b>		<b>Indicadores sanitários</b>	
Esperança de vida ao nascer (anos)	IDS, 2010	% de domicílios com esgotamento sanitário por redes de esgotos	SIS, 2010
Mortalidade Geral (número de óbitos por mil hab/ano)	IDB, 2009	% de casas sem serviços de abastecimento de água	SIS, 2010
Grau de urbanização (%)	IDB, 2009	Domicílios com coleta de lixo (%)	SIS, 2010
Taxa de crescimento populacional (1991/2000) (%)	IDS, 2010	<b>Indicadores de saúde ambiental</b>	
<b>Indicadores de educação</b>		Número de doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (p/ 100.000 hab)	SIS, 2010
Taxa de Analfabetismo das pessoas de 15 anos ou mais de idade (%)	IDB, 2009	<b>Indicadores de cobertura vegetal</b>	
Porcentagem de pessoas com 25 anos ou mais de idade com 11 anos ou mais de estudo (%)	SIS, 2010	Número de focos de calor (focos por 1000 hectares)	IDS, 2010
Índice de desenvolvimento da educação básica	SIS, 2010	RPPN (% em área)	IDS, 2010
<b>Indicadores econômicos</b>		Unidades de Conservação (% em área)	IDS, 2010
Rendimento mensal (R\$)	IDS, 2010	<b>Indicadores de poluição do solo</b>	
PIB per capita (R\$)	IDS, 2010	Taxa de fertilizantes (Kg/ha)	IDS, 2010
Índice de Gini da distribuição do rendimento mensal	IDS, 2010	Taxa de agrotóxicos (Kg/ha)	IDS, 2010
Relação de rendimento 10% mais ricos / 10% mais pobres	SIS, 2010	<b>Indicadores institucionais</b>	
<b>Indicadores de justiça social</b>		Municípios que possuem conselho municipal de meio ambiente ativo (%)	IDS, 2010
Famílias com quantidade suficiente de alimentos (%)	SIS, 2010		
Taxa de ocupação de jovens de 10 a 15 anos (%)	SIS, 2010		
Relação entre rendimento de pessoas de cor preta ou pardo/branco (%)	SIS, 2010		
Relação entre rendimento de mulheres/homens (%)	SIS, 2010		
<b>Indicadores de saúde</b>			
Pessoas com 60 anos ou mais com plano de saúde (%)	SIS, 2010		
Mortalidade Infantil (p/ 1000 nascidos)	IDS, 2010		
Número de leitos para internação (por 1000 hab.)	IDS, 2010		
Número de estabelecimento de saúde (por 1000 hab.)	IDS, 2010		
<b>Indicadores de Segurança</b>			
Porcentagem de homicídios por 100.000 habitantes	IDS, 2010		
Coefficiente de mortalidade por acidente de transporte (por 100.000 habitantes)	IDS, 2010		

em buscar os indicadores já levantados nas principais fontes de informação brasileira. Dessa forma, os indicadores do BSE foram escolhidos utilizando três documentos governamentais, que são publicados periodicamente. Esses três documentos foram escolhidos por apresentarem uma vasta quantidade de indicadores, que são suficientes para representar o bem estar humano e o bem estar

do meio ambiente, contudo de forma isolada eles não possibilitam uma visualização do estado geral de cada federação nacional. A proposta do BSE, em consonância com o BS, é possibilitar ao governo brasileiro a comunicação dos indicadores desses três documentos de forma integrada. Ou seja, aqui está uma inovação importante trazida pelo BSE.

Os documentos utilizados foram: (a) Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IDS), um compêndio de indicadores para o acompanhamento da sustentabilidade do desenvolvimento do Brasil, publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que tem como orientação as recomendações da Comissão para o Desenvolvimento Sustentável da

Tabela 2 - Valores de referência

Indicador	Valor de Referência	
	Limite inferior	Limite Superior
Esperança de vida ao nascer (anos)	67,2	75,6
Mortalidade Geral (número de óbitos por mil hab/ano)	7,6	4,6
Grau de urbanização (%)	96,7	68,1
Taxa de crescimento populacional (1991/2000) (%)	5,77	0,82
Taxa de Analfabetismo das pessoas de 15 anos ou mais de idade (%)	25,74	4,02
Porcentagem de pessoas com 25 anos ou mais de idade com 11 anos ou mais de estudo (%)	22,6	57,2
Índice de desenvolvimento da educação básica	3,23	4,63
Rendimento mensal (R\$)	588	2177
PIB per capita (R\$)	4662	40696
Índice de Gini da distribuição do rendimento mensal	0,442	0,618
Relação de rendimento 10% mais ricos / 10% mais pobres	59,32	20,46
Famílias com quantidade suficiente de alimentos (%)	33,8	75,8
Taxa de ocupação de jovens de 10 a 15 anos (%)	18,1	2,1
Relação entre rendimento de pessoas de cor preta ou pardo/branco (%)	76,1	53,3
Relação entre rendimento de mulheres/homens (%)	60,5	88,5
Pessoas com 60 anos ou mais com plano de saúde (%)	6,4	41,4
Mortalidade Infantil (p/ 1000 nascidos)	48,2	13,1
Número de leitos para internação (por 1000 hab.)	1,3	2,9
Número de estabelecimento de saúde (por 1000 hab.)	0,28	0,72
Porcentagem de homicídios por 100.000 habitantes	59,5	10,4
Coeficiente de mortalidade por acidente de transporte (por 100.000 habitantes)	33,7	11,6
% de domicílios com esgotamento sanitário por redes de esgotos	50,4	99,3
% de casas sem serviços de abastecimento de água	49,6	0,7
Domicílios com coleta de lixo (%)	86,3	99,9
Número de doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (p/ 100.000 hab)	922,8	74,6
Número de focos de calor (focos por 1000 hectares)	39,4	0,3
RPPN (% de área)	0	35,5
Unidades de Conservação (% de área)	0	4,5
Taxa de fertilizantes (Kg/ha)	242	6,7
Taxa de agrotóxicos (Kg/ha)	7,6	0,2
Municípios que possuem conselho municipal de meio ambiente ativo (%)	3,6	100

Organização das Nações Unidas - ONU; (b) Síntese de Indicadores Sociais (SIS), uma publicação do IBGE que apresenta indicadores sociais para os Estados Brasileiros com objetivo de fornecer informações rápidas, anuais e diversificadas para acompanhamento sistemático das condições de vida da população brasileira; (c) Indicadores e Dados

Básicos para a Saúde (IDB), resultado da ação integrada do Ministério da Saúde, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e Ministério da Previdência Social.

Ao escolher essas três fontes, automaticamente foi também possível garantir que todos indicadores fossem de fácil acesso,

pois esses documentos são publicados periodicamente e estão facilmente disponibilizados pelo governo.

Escolhidas as fontes de informação governamental, o crivo utilizado foi o conceito de sustentabilidade que baseou a escolha dos indicadores. O conceito de desenvolvimento sustentável adotado se baseou na expansão das

Tabela 3 - Escala de Desempenho Estadual Fixa para Dimensão Bem Estar Humano

		Escala de Desempenho Estadual				
Indicadores		Faixa de pior desempenho	Faixa de baixo desempenho	Faixa de desempenho intermediário	Faixa de alto desempenho	Faixa de melhor desempenho
Indicadores demográficos	Esperança de vida ao nascer (anos)	67,2 - 68,8	68,9 - 70,56	70,57 - 72,24	72,25 - 73,92	73,93 - 75,6
	Mortalidade Geral (número de óbitos por mil hab/ano)	7,6 - 7	6,9 - 6,4	6,3 - 5,8	5,8 - 5,2	5,1 - 4,6
	Grau de urbanização (%)	96,7 - 90,98	90,97 - 85,26	85,25 - 79,54	79,53 - 73,82	73,81 - 68,1
	Taxa de crescimento populacional (1991/2000) (%)	5,77 - 4,78	4,77 - 3,79	3,78 - 2,8	2,7 - 1,81	1,80 - 0,82
Indicadores de educação	Taxa de Analfabetismo das pessoas de 15 anos ou mais de idade (%)	25,74 - 21,40	21,41 - 17,05	17,06 - 12,71	12,72 - 8,36	8,35 - 4,02
	Porcentagem de pessoas com 25 anos ou mais de idade com 11 anos ou mais de estudo (%)	22,6 - 29,52	29,53 - 36,44	36,45 - 43,36	43,37 - 50,28	50,29 - 57,2
	Índice de desenvolvimento da educação básica	3,23 - 3,51	3,52 - 3,79	3,80 - 4,07	4,08 - 4,35	4,36 - 4,63
Indicadores econômicos	Rendimento mensal (R\$)	588 - 727,4	727,5 - 866,8	866,9 - 1006,2	1006,3 - 1145,6	1145,7 - 2177
	PIB per capita (R\$)	4662 - 11868,8	11868,9 - 19075,6	19075,7 - 26282,4	26282,5 - 33489,2	33489,3 - 40696
	Índice de Gini da distribuição do rendimento mensal	0,44 - 0,47	0,48 - 0,51	0,52 - 0,54	0,55 - 0,58	0,59 - 0,61
	Relação de rendimento 10% mais ricos / 10% mais pobres	59,32 - 51,54	51,53 - 43,77	43,76 - 36,00	35,99 - 28,23	28,22 - 20,46
Indicadores de injustiça social	Famílias com quantidade suficiente de alimentos (%)	33,8 - 42,2	42,3 - 50,6	50,7 - 59	59,01 - 67,4	67,5 - 75,8
	Taxa de ocupação de jovens de 10 a 15 anos (%)	18,1 - 14,9	14,8 - 11,7	11,6 - 8,5	8,4 - 5,3	5,2 - 2,1
	Relação entre rendimento de pessoas de cor preta ou pardo/branco (%)	76,1 - 71,54	71,53 - 66,98	66,97 - 62,42	62,41 - 57,86	57,85 - 53,3
	Relação entre rendimento de mulheres/homens (%)	60,5 - 66,1	66,2 - 71,7	71,8 - 77,3	77,4 - 82,9	83 - 88,5
Indicadores de saúde	Pessoas com 60 anos ou mais com plano de saúde (%)	6,4 - 13,4	13,5 - 20,4	20,5 - 27,4	27,5 - 34,4	34,5 - 41,4
	Mortalidade Infantil (p/ 1000 nascidos)	48,2 - 41,18	41,17 - 34,16	34,15 - 27,14	27,13 - 20,12	20,11 - 13,1
	Número de leitos para internação (por 1000 hab.)	1,3 - 1,62	1,63 - 1,94	1,95 - 2,26	2,27 - 2,58	2,59 - 2,9
	Número de estabelecimento de saúde (por 1000 hab.)	0,28 - 0,36	0,37 - 0,45	0,46 - 0,54	0,55 - 0,63	0,64 - 0,72
Indicadores de segurança	Porcentagem de homicídios por 100.000 habitantes	59,5 - 49,68	49,67 - 39,86	39,85 - 30,04	30,03 - 20,22	20,21 - 10,4
	Coefficiente de mortalidade por acidente de transporte (por 100.000 habitantes)	33,7 - 29,28	29,27 - 24,86	24,85 - 20,44	20,43 - 16,02	16,01 - 11,6

Tabela 4 - Escala de Desempenho Estadual Fixa para Dimensão Bem Estar Ecológico

		Escala de Desempenho Estadual				
Indicadores		Faixa de pior desempenho	Faixa de baixo desempenho	Faixa de Desempenho intermediário	Faixa de alto desempenho	Faixa de melhor desempenho
Indicadores sanitários	% de domicílios com esgotamento sanitário por redes de esgotos	50,4 - 60,18	60,19 - 69,96	69,97 - 79,74	79,75 - 89,52	89,53 - 99,3
	% de casas sem serviços de abastecimento de água	49,6 - 39,8	39,7 - 30,04	30,03 - 20,26	20,25 - 10,48	10,48 - 0,7
	Domicílios com coleta de lixo (%)	86,3 - 89,02	89,03 - 91,74	91,75 - 94,46	94,47 - 97,18	97,19 - 99,9
Indicadores de saúde ambiental	Número de doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (p/ 100.000 hab)	922,8 - 753,16	753,15 - 583,52	583,51 - 413,88	413,87 - 244,24	244,23 - 74,6
	Indicadores de cobertura vegetal	Número de focos de calor (focos por 1000 hectares)	39,4 - 31,58	31,57 - 23,76	23,75 - 15,94	15,93 - 8,12
RPPN (% de área)		0 - 7,1	7,2 - 14,2	14,3 - 21,3	21,4 - 28,4	28,5 - 35,5
Unidades de Conservação (% de área)		0 - 0,9	1 - 1,8	1,9 - 2,7	2,8 - 3,6	3,7 - 4,5
Indicadores de poluição do solo	Taxa de fertilizantes (Kg/ha)	242 - 194,94	194,93 - 147,88	147,87 - 100,82	100,81 - 53,76	53,75 - 6,7
	Taxa de agrotóxicos (Kg/ha)	7,6 - 6,12	6,11 - 4,64	4,63 - 3,16	3,15 - 1,68	1,67 - 0,2
Indicadores institucionais	Municípios que possuem conselho municipal de meio ambiente ativo (%)	3,6 - 22,8	22,9 - 42,16	42,17 - 61,44	61,45 - 80,72	80,73 - 100

liberdades humanas proposta por Sen (2000) e, para tal, foi imprescindível a adoção de um conjunto amplo de indicadores representativos das mais variadas liberdades, que fazem parte desse quadro social complexo. Assim, a dimensão “bem-estar humano” do BSE é composta pela subdimensão demográfica, de educação, econômica, de justiça social, de saúde e de segurança.

Ainda com relação ao conceito de desenvolvimento sustentável utilizado neste trabalho, optou-se por utilizar indicadores que representassem a capacidade de manutenção da expansão das liberdades humanas pelas gerações seguintes, respeitando a capacidade de suporte dos ecossistemas. Para tal, a dimensão “bem-estar ecológico” do BSE é composta pela subdimensão sanitária, de saúde

ambiental, de cobertura vegetal, de poluição do solo e institucional.

Depois dessa seleção ser realizada foi possível também garantir a robustez do BSE, pois foram utilizados um total de 31 indicadores. Todas as dimensões, assim como seus indicadores e fonte estão apresentadas na Tabela 1.

A primeira etapa para construção da Escala de Desempenho Estadual foi a

BS	Insustentável	Quase Insustentável	Intermediário	Quase Sustentável	Sustentável
BSE	Faixa de pior desempenho	Faixa de baixo desempenho	Faixa de desempenho intermediário	Faixa de alto desempenho	Faixa de melhor desempenho
ESCALA	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
BS: Barômetro da Sustentabilidade			BSE: Barômetro da Sustentabilidade Estadual		

determinação dos valores de referência, ou seja, dos valores dos limites inferiores e superiores do padrão estabelecido. A determinação desses valores de referência foi realizada de forma que representasse valores condizentes com a realidade brasileira, evitando que fossem utilizados valores determinados internacionalmente em contextos muito diferentes. Para garantir que esses valores fossem acessíveis, o trabalho optou pela utilização de valores encontrados no próprio país, tanto para os valores dos limites inferiores quanto para os superiores, ou seja, o valor do limite inferior, para um indicador qualquer, foi o pior desempenho encontrado entre todos os estados brasileiros e o valor do limite superior foi o melhor desempenho encontrado. Esses indicadores, assim como seus valores de referências são explicitados na Tabela 2.

A partir dos valores de referência foi construída a Escala de Desempenho Estadual, obtida por meio de um escalonamento em 5 faixas entre os valores do limite inferior e superior, para que pudesse ser correlacionada com os 5 faixas da Escala do Barômetro Geral. A Escala de Desempenho Estadual e o valor de cada uma das faixas podem ser observados nas Tabelas 3 e 4.

### Transposição do Valor de Desempenho Na Escala Estadual Fixa para a Escala do Barômetro

Como não é possível fazer uma agregação com os indicadores

$$VB = \frac{EDBi + (VR - EDEi) \times (EDBf - EDBi)}{(EDEf - EDEi)} \quad (1)$$

em escalas tão diversas, a técnica proposta pelo barômetro é transpor os valores encontrados para uma escala de 0 a 100, dividida em 5 faixas, conforme tabela 5.

Para transposição da Escala de Desempenho Estadual Fixa para a Escala do Barômetro Geral, foi necessário realizar uma interpolação linear simples dos valores obtidos pelo estado para a Escala do BS, através da equação 1.

Onde:

- VB – Valor na Escala do Barômetro
- EDBi – Valor inicial na Escala de Desempenho do Barômetro
- EDBf – Valor final na Escala de Desempenho do Barômetro
- VR – Valor Real do Estado
- EDEi – Valor inicial na Escala de Desempenho do Barômetro Estadual
- EDEf – Valor final na Escala de Desempenho do Barômetro Estadual

### Elaboração do índice para cada dimensão e representação gráfica

Após se encontrar o valor de cada indicador, dentro da Escala do Barômetro, foi necessário fazer uma média aritmética para cada dimensão, “bem estar humano” e “bem estar ecológico”, conforme as equações 2 e 3. Também foi possível gerar um índice para as subdimensões (equação 4).

Onde:

- BEE – Índice Bem Estar Ecológico

$$BEE = \sum_{i=1}^N VBE_i / N \quad (2)$$

$$BEH = \sum_{i=1}^N VBH_i / N \quad (3)$$

$$ISD = \sum_{i=1}^N VBS_i / N \quad (4)$$

- BEH – Índice Bem Estar Humano
- ISD – Índice para cada subdimensão
- VBE – Valor na Escala do Barômetro (ecológico)
- VBH - Valor na Escala do Barômetro (humano)
- N – Número Total de Indicadores
- i – Indicador

Os índices calculados, para as duas dimensões, foram então plotados num gráfico bidimensional, onde cada eixo está dividido nas faixas da escala do BSE. O encontro entre a posição do índice de bem-estar ecológico com o índice de bem-estar humano representa a posição de um estado brasileiro em relação ao padrão estabelecido, que já é grafada no gráfico do BSE.

### Barômetro de Sustentabilidade Estadual de Rondônia



Tabela 6 - VR do estado de Rondônia, faixa equivalente na EDE e EDB para a dimensão bem-estar humano

Indicadores	VR	Escala de Desempenho do Barômetro (EDB)					
		0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100	
		Escala de Desempenho Estadual (EDE)					
		Faixa de pior desempenho	Faixa de baixo desempenho	Faixa de desempenho intermediário	Faixa de alto desempenho	Faixa de melhor desempenho	
Indicadores demográficos	Esperança de vida ao nascer (anos)	71,9					
	Mortalidade Geral (número de óbitos por mil hab/ano)	6,3					
	Grau de urbanização (%)	68,1					
	Taxa de crescimento populacional (1991/2000) (%)	2,24					
Indicadores de educação	Taxa de Analfabetismo das pessoas de 15 anos ou mais de idade (%)	9,17					
	Porcentagem de pessoas com 25 anos ou mais de idade com 11 anos ou mais de estudo (%)	32					
	Índice de desenvolvimento da educação básica	3,83					
Indicadores econômicos	Rendimento mensal (R\$)	873					
	PIB per capita (R\$)	10320					
	Índice de Gini da distribuição do rendimento mensal	0,484					
	Relação de rendimento 10% mais ricos / 10% mais pobres	31,18					
Indicadores de injustiça social	Famílias com quantidade suficiente de alimentos (%)	59,8					
	Taxa de ocupação de jovens de 10 a 15 anos (%)	16,9					
	Relação entre rendimento de pessoas de cor preta ou pardo/branco (%)	65,6					
	Relação entre rendimento de mulheres/homens (%)	67,1					
Indicadores de saúde	Pessoas com 60 anos ou mais com plano de saúde (%)	16,1					
	Mortalidade Infantil (p/ 1000 nascidos)	23					
	Número de leitos para internação (por 1000 hab.)	2,1					
	Número de estabelecimento de saúde (por 1000 hab.)	0,43					
Indicadores de segurança	Porcentagem de homicídios por 100.000 habitantes	27,2					
	Coefficiente de mortalidade por acidente de transporte (por 100.000 habitantes)	24,9					

VR: Valor Real encontrado para o estado de Rondônia

As tabelas 6 e 7 que seguem apresentam, para cada indicador, o Valor Real (VR) encontrado para o estado de Rondônia, a faixa que esse indicador se encontra na Escala de Desempenho Estadual (EDE) e a

faixa equivalente na Escala de Desempenho do Barômetro (EDB).

A partir desses dados, fez-se a interpolação do valor encontrado do estado de Rondônia (VR), de cada indicador, para o Valor na Escala do Barômetro, conforme a equação 1. A Tabela 8 apresenta os

valores na Escala do Barômetro para as subdimensões<sup>1</sup> e para as dimensões de "bem-estar humano"<sup>2</sup> e "bem-estar ecológico"<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Calculado pela equação 4

<sup>2</sup> Calculado pela equação 3

<sup>3</sup> Calculado pela equação 2

Tabela 7 - VR do estado de Rondônia, faixa equivalente na EDE e EDB para a dimensão bem-estar ecológico

Indicadores		VR	Escala de Desempenho do Barômetro (EDB)				
			0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
			Escala de Desempenho Estadual (EDE)				
			Faixa de pior desempenho	Faixa de baixo desempenho	Faixa de desempenho intermediário	Faixa de alto desempenho	Faixa de melhor desempenho
Indicadores sanitários	% de domicílios com esgotamento sanitário por redes de esgotos	50,4					
	% de casas sem serviços de abastecimento de água	49,6					
	Domicílios com coleta de lixo (%)	94,8					
Indicadores de saúde ambiental	Número de doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (p/ 100.000 hab)	654,1					
Indicadores de cobertura vegetal	Número de focos de calor (focos por 1000 hectares)	5,4					
	RPPN (% em área)	0,6					
	Unidades de Conservação (% em área)	4,1					
Indicadores de poluição do solo	Taxa de fertilizantes (Kg/ha)	33					
	Taxa de agrotóxicos (Kg/ha)	1,6					
Indicadores institucionais	Municípios que possuem conselho municipal de meio ambiente ativo (%)	23,1					

VR: Valor Real encontrado para o estado de Rondônia

Os índices encontrados para as dimensões 'bem-estar humano' e 'bem-estar ecológico' foram então plotados no gráfico bidimensional do Barômetro da Sustentabilidade Estadual. Como parâmetro de comparação, foram também plotados os desempenhos de quatro estados brasileiros, dois (PC1 e PC2) que apresentaram os

melhores Índices de Desenvolvimento Humano – IDH, no ranking nacional, e dois que apresentaram os piores índices, PC3 e PC4 (figura 1).

A análise dos indicadores para o estado de Rondônia, tanto na dimensão 'bem-estar humano', quanto na dimensão 'bem-estar ecológico', apontou para um setor

intermediário em relação ao parâmetro estabelecido. Da mesma forma, a análise da intersecção entre os dois setores representa que o estado está na região intermediária do barômetro, entretanto mais próximo do setor de pior desempenho.

No caso da aplicação para avaliação das subdimensões os

Tabela 8 - Valores da Escala do Barômetro para as subdimensões e dimensões

Dimensão 'Bem-estar Humano'			
		ISD	BEH
Subdimensões	Indicadores demográficos	66,99	47,73
	Indicadores de educação	49,12	
	Indicadores econômicos	38,46	
	Indicadores de injustiça social	35,28	
	Indicadores de saúde	46,45	
	Indicadores de segurança	53,15	
Dimensão 'Bem-estar Ecológico'			
		ISD	BEE
Subdimensões	Indicadores sanitários	21,10	46,77
	Indicadores de saúde ambiental	32,09	
	Indicadores de cobertura vegetal	59,93	
	Indicadores de poluição do solo	85,64	
	Indicadores institucionais	21,20	
ISD – Índice para cada subdimensão		BEH – Índice Bem Estar Humano	
		BEE – Índice Bem Estar Ecológico	

piores resultados encontrados em Rondônia são os indicadores sanitários (21,1), seguido dos indicadores institucionais (21,2), dos de saúde ambiental (32,09) e de justiça social (35,28). Portanto, esses indicadores sinalizam possíveis objetos de melhoria na gestão do estado.

Quando realizada a comparação entre o estado de Rondônia com os parâmetros de comparação (PC), facilmente se visualiza que seu desempenho é bem mais próximo dos estados que apresentam os piores IDHs.

### Avaliação do Barômetro de Sustentabilidade Estadual

O enfoque do BSE está na avaliação da sustentabilidade das sociedades humanas, garantindo a expansão das liberdades de cada indivíduo conforme SEN (2000). Para tanto, os indicadores sociais foram minuciosamente selecionados: demográficos, de educação, econômicos, de justiça social, saúde

e segurança, pois eles agem como instrumentos e oportunidades para que todos os indivíduos satisfaçam suas necessidades, conforme o prescrito por SEN. Como discutido no trabalho de MOLDAN (2011), os indicadores sociais apresentam-se

como fatores críticos para a manutenção de uma sociedade, portanto, os indicadores sociais se apresentam com maior detalhamento no BSE. Os fatores de bem estar ecológico, não são menos importantes, uma vez que a relação

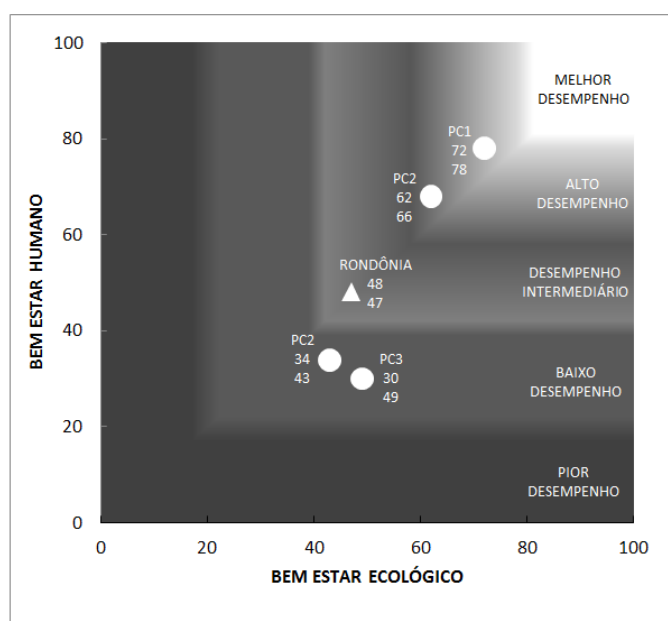


Figura 1 - Barômetro da Sustentabilidade Estadual – Rondônia, referente ao ano de 2012

homem-natureza determina a qualidade do meio e também da sociedade, porém para o BSE, a principal contribuição dos indicadores ecológicos é a promoção da continuidade temporal da sociedade. Nesse sentido os indicadores selecionados buscam representar a possibilidade de manutenção da sociedade no tempo.

Outro fator positivo do BSE é proveniente do método empregado para escolha dos valores de referência. Ao selecionar os padrões de comparação, a partir dos desempenhos já alcançados por estados brasileiros, o BSE proporciona uma classificação mais factível com a realidade desses estados, condizente com suas possibilidades econômicas, técnicas e políticas. Apesar dos desempenhos não necessariamente representarem o estado ideal de sustentabilidade para as sociedades, os padrões selecionados como “faixas de melhor desempenho” são suficientemente condizentes com uma sociedade que está se desenvolvendo em busca de sua sustentabilidade. O que é bastante aceitável, pois como pode ser verificado nas discussões de KRONENBERGER *et al.* (2008), o estabelecimento de parâmetros mais indicados ou tolerados para definir os limites da sustentabilidade “ideal” é muito dificultoso e questionável, principalmente, considerando o problema de que quando esses parâmetros já foram estabelecidos, em sua maioria, o foram para realidades totalmente distintas das encontradas nos estados brasileiros.

Com esses valores de referência estabelecidos, foi possível montar uma escala fixa de padrões, ou seja, para um estado que queira comparar seu desempenho com o padrão estabelecido é necessário somente coletar os valores para cada indicador e comparar com a escala pré-estabelecida. Importante ressaltar que a facilidade de coleta dos valores para cada indicador foi

um dos principais esforços da presente pesquisa, que obteve sucesso, pois todos os indicadores propostos estão prontamente disponíveis em somente três documentos oficiais brasileiros disponibilizados pelo IBGE e pelo SUS.

Em relação aos resultados e aplicação do BSE destaca-se a possibilidade de comparação entre estados pela fácil visualização gráfica do barômetro da sustentabilidade. Com os valores encontrados para cada subdimensão (ISD) é possível uma outra contribuição, bastante importante, que é o fornecimento de informações para gerenciamento do próprio estado, sendo possível o direcionamento de recursos e esforços para a melhoria de subdimensões com pior desempenho, porém todas essas análises são válidas somente para médio e longo prazo, uma vez que nem todos os indicadores são disponibilizados no curto prazo.

O método proposto, nesse sentido, corrobora com o trabalho de PRESCOTT-ALLEN (1997), que apresenta o barômetro como uma ferramenta de gerenciamento e tomada de decisão rumo ao desenvolvimento sustentável e possibilita a intervenção por parte do gestor público e, além disso, ameniza as dificuldades de visualização das áreas críticas de possível intervenção apresentadas pelos índices sintéticos, conforme discutido no trabalho de VEIGA (2009).

## CONCLUSÕES

O presente trabalho propôs uma metodologia de BS para Estados Brasileiros (BSE) de forma a garantir robustez, utilização de bases de dados disponíveis e construção de parâmetros de sustentabilidade acessíveis. A metodologia proposta foi bem sucedida, uma vez que foram selecionados 31 indicadores prontamente disponibilizados pelo

governo brasileiro, e determinado um padrão de referência de sustentabilidade de fácil construção. O que foi comprovado na aplicação ao estado de Rondônia. A grande contribuição da metodologia se apresenta para comparação de estados brasileiros, de forma simplificada, e/ou gerenciamento dos estados em busca do desenvolvimento sustentável.

A aplicação do BSE ao estado de Rondônia demonstrou que o desenvolvimento de Rondônia se encontra no setor intermediário, quando comparado com os parâmetros estabelecidos. Porém, se faz interessante ressaltar que está muito mais próximo do setor de baixo desempenho e dos estados que possuem pior IDH (PC3 e PC4).

## REFERÊNCIAS

BOND, A.; MORRISON-SAUNDERS, A. Challenges in determining the effectiveness of sustainability assessment. In: BOND, A.; MORRISON-SAUNDERS, A.; HOWITT, R. (Eds.). *Sustainability Assessment: pluralism, practice and progress*. New York: Routledge; Taylor & Francis, 2012. p. 37–50.

BOSSSEL, H. *Indicators for sustainable development: Theory, Method, application: A report of the Balaton Group*. Winnipeg, IISD, 1999. Disponível em: [http://www.hydrop.pub.ro/MANOLI U/balatonreport.pdf](http://www.hydrop.pub.ro/MANOLI%20U/balatonreport.pdf). Acesso em 30 jul. 2011.

CETRULO, T. B.; MOLINA, N. S.; MALHEIROS, T. F. Indicadores de postura ambiental do setor de produção de etanol de cana de açúcar. In: PHILLIPPI JR., A.; MALHEIRO, T. F. *Indicadores de sustentabilidade e gestão ambiental*. Barueri: Manole, 2012.

DUARTE, C. G. ; GAUDREAU K.; GIBSON R. B.; MALHEIROS, T. F. *Sustainability assessment of sugarcane-ethanol production in*

- Brazil: A case study of a sugarcane mill in São Paulo state. *Ecological Indicators*, p. 119-129, 2013.
- DAHL, A. L. The big picture: comprehensive approaches. In: MOLDAN, B.; BILHARZ, S. (Ed). *Sustainability Indicators: report of the project on indicators of sustainable development*. Chichester: John Wiley & Sons Ltda, 1997.
- DATASUS. Indicadores e dados básicos – IDB. Brasil 2009. Disponível em: <http://www.datasus.gov.br/idb>. Acesso em 30 jul. 2011.
- GIBSON, R.B.; HASSAN, S.; HOLTZ, S.; TANSEY, J.; WHITELOW, G.. *Sustainability Assessment: Criteria, Processes and Applications*. London: Earthscan, 2005.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – IDS. Brasil 2010*. Rio de Janeiro, IBGE, 2010. 443 p.
- \_\_\_\_\_. *Síntese dos Indicadores Sociais – SIS. Brasil 2010*. Rio de Janeiro, IBGE, 2010. 317 p.
- KRONENBERGER, D. M. P. et al. *Desenvolvimento Sustentável no Brasil: uma análise a partir da aplicação do Barômetro da Sustentabilidade*. *Sociedade & Natureza*, v. 20, n. 1, p. 25-50, 2008.
- LUCENA, A. D.; CAVALCANTE, J. N.; CÂNDIDO, G. A. *Sustentabilidade do município de João Pessoa: uma aplicação do barômetro da sustentabilidade*. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v.7, n.1, p.19-49, jan./abr., 2001.
- MALHEIROS, T. F.; PHILIPPI JR., A.; COUTINHO, S. M. V. *Agenda 21 nacional e indicadores de desenvolvimento sustentável: contexto brasileiro*. *Saúde e Sociedade (USP. Impresso)*, v. 17, p. 07, 2008.
- MOLDAN, B.; JANOUSKOVA, S.; HAK, T. *How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets*. *Ecological Indicators*, 2011, doi:10.1016/j.ecolind.2011.04.033
- MEADOWS, D. *Indicators and information systems for sustainable development*. Hart-Land Four Corners: The Sustainability Institute, 1998.
- NORDHA-US, W.D.; TOBIN, J. *Is growth obsolete?* In: \_\_\_\_\_. *Economic Research: Retrospect and Prospect*. New York: NBER, 1972. v.5: *economic Growth*, p.1-80. Disponível em: <http://www.nber.org/chapters/c7620>. Acesso em: 22 mai. 2009.
- PRESCOTT-ALLEN, R. *Barometer of Sustainability: measuring and communicating wellbeing and sustainable development*. Cambridge: IUCN, 1997.
- \_\_\_\_\_. *Assessing progress toward sustainability: the system assessment method illustrated by wellbeing of nations*. Cambridge: IUCN, 1999.
- \_\_\_\_\_. *The Wellbeing of Nations: a country-by-country index of quality of life and the environment*. Washington, DC: Island Press, 2001.
- SEN, A.K. *Desenvolvimento como Liberdade*. São Paulo: Companhia das letras, 1999.
- SICHE, R. et al. *Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países*. *Ambiente e Sociedade*, v.X, n.2, p. 137-148, jul.-dez., 2007.
- UNITED NATIONS. *Agenda 21*. Rio de Janeiro, Brasil: United Nations Conference on Environment & Development, 1992. 338 p. Disponível em: [http://www.sidsnet.org/docshare/other/Agenda21\\_UNCED.pdf](http://www.sidsnet.org/docshare/other/Agenda21_UNCED.pdf). Acesso em: 12 mar. 2009.
- VAN-BELLEN, M.; H.; *Desenvolvimento Sustentável: Uma descrição das principais ferramentas de avaliação*. *Ambiente & Sociedade*, v. 7, n. 1, p. 2-22, Jan.-jun., 2004.
- \_\_\_\_\_. *Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa*. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.
- VEIGA, J.E. *Indicadores de sustentabilidade*. *Estudos Avançados*, n.68, p.39-52, jan.-abr., 2010.
- \_\_\_\_\_. *Indicadores socioambientais: evolução e perspectivas*. *Revista de Economia Política*, v. 29, n. 4, p. 421-435, outubro, 2009.

Recebido em: nov/2011  
Aprovado em: out/2013

# Considerações acerca da Política de Mudança do Clima no Município de São Paulo

## Lei nº 14.933 de 5 de Junho de 2009

### Considerations on the Climate Change Policy of the City of Sao Paulo, Brazil Comments to the Law No. 14.933/2009

#### RESUMO

O presente artigo tem como objetivo reunir aspectos para propiciar uma análise crítica da Lei nº 14.933/2009, que instituiu a Política de Mudança do Clima no Município de São Paulo, de forma pioneira no Brasil e na América Latina, por sua abordagem integrada do problema, que propõe uma atuação conjunta em diversas frentes, como planejamento, gestão, educação e estímulos fiscais. Primeiramente é apresentada a dicotomia entre mitigação e adaptação presente nas políticas de mudanças climáticas para meios urbanos, que, cada qual a sua maneira, servem para concretizar a almejada sustentabilidade. Essa compreensão também é necessária para que se reflita sobre o indicador estipulado pela lei e seus limites para a gestão das mudanças climáticas em ambiente urbano. Em um segundo momento, parte-se à apresentação dos principais aspectos normativos e da estrutura da lei, que claramente prioriza as medidas de mitigação em detrimento da adaptação, focando em suas estratégias de enfrentamento nos vários campos da gestão urbana propostos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mudanças climáticas; Cidade de São Paulo; Política Urbana; Desenvolvimento sustentável; Direito Urbanístico

#### ABSTRACT

This working paper aims to provide a review of Law n. 14.933/2009, which established the Climate Change Policy in the City of São Paulo, in an unprecedented way in Brazil and Latin America, for its integrated approach to the problem, which proposes a joint action on several fronts, such as planning, management, education and tax incentives. At first is presented the dichotomy between mitigation and adaptation of climate change policies for urban environments, once both of them acts in different ways to assure the desired sustainability. This comprehension is also necessary to promote thoughts about the indicator established by the law and its limitations to the climate change management of urban areas. In a second moment, the paper will present the main aspects and the regulatory framework of the law, which clearly prioritize mitigation measures instead of adaptation, focusing on their coping strategies in various fields of urban management proposed.

**KEYWORDS:** Climate Changes; City of São Paulo; Urban Policy; Sustainable Development; Urban Law.

**Safira De La Sala**

Advogada, Mestranda em Habitação no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. São Paulo, SP, Brasil  
safiradelasala@gmail.com



## INTRODUÇÃO

Com a constante e crescente urbanização do planeta, entender os impactos das mudanças climáticas no meio ambiente urbano se tornará cada vez mais importante. E, neste sentido, uma das primeiras distinções que devem ser feitas quanto às políticas municipais de mudanças climáticas referem-se aos seus dois enfoques essenciais: por um lado, a influência das cidades, da vida urbana altamente dependente de recursos fósseis, nas mudanças climáticas locais e globais; por outro, há os riscos aos quais as cidades estarão sujeitas a enfrentar em decorrência dos eventos climáticos extremos.

Sinteticamente, o regime internacional foi criado com o objetivo de reduzir as emissões dos gases do efeito estufa, como tentativa para estabelecer as concentrações de GEE na atmosfera em um nível capaz de prevenir a interferência antropogênica perigosa no sistema climático (UN-HABITAT, 2011). Esperava-se assim conseguir neutralizar os eventos climáticos. A essas estratégias de redução de emissões dá-se o nome de medidas de “mitigação”.

As medidas de mitigação podem ser de três tipos: (i) redução de emissões propriamente dita, (ii) captura e estoque de GEE<sup>1</sup>, e (iii) pelos instrumentos de cooperação internacional disponibilizados pelo Protocolo de Quioto<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> As técnicas de sequestro de carbono se referem à remoção de emissões de GEE da atmosfera por duas estratégias principais: a captura de carbono através do aumento ou criação de novos sumidouros de carbono naturais (conservação de áreas verdes e aperfeiçoamento das regiões de rios; reflorestamento), ou por meio de *hard technology* para captura e estoque do GEE produzidos na cidade (por exemplo, o estoque subterrâneo de CO<sub>2</sub>, ou a captura de metano em lixões para produção de energia).

<sup>2</sup> O Protocolo de Quioto estabeleceu três mecanismos flexíveis para facilitar o

Por outro lado, há a mudança do clima propriamente dita, e seus impactos. Pela definição do IPCC (2007), um impacto é um efeito específico nos sistemas naturais ou humanos que resulte da exposição à mudança climática, podendo ser tanto positivo como negativo. Associados aos impactos há a necessária noção de “risco”, que é a combinação da magnitude do impacto com a probabilidade de sua ocorrência. Na medida em que os fenômenos naturais atingem regiões habitadas pelo homem e causam danos é que passam a ser denominados “desastres naturais” (TOMINAGA, SANTORO, AMARAL, 2009). É justamente essa concentração de riquezas *lato sensu* que faz das cidades uma escala fundamental de trabalho.

Considerando a realidade urbana, fala-se em impactos ambientais, econômicos, na infraestrutura e sociais. Esta combinação de fatores, partindo dos impactos ambientais é que indicam as características para se identificar como e em que medidas uma cidade é vulnerável<sup>3</sup> às mudanças climáticas.

Em resposta a esses riscos, há as estratégias de adaptação, que começaram a ganhar mais destaque na comunidade internacional apenas mais recentemente, visto que as reduções de GEE não atingiram as metas de redução esperadas – ao

---

atendimento das metas pactuadas: o Comércio Internacional de Emissões (*emission trading*), o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (*Clean Development Mechanism*) e a Implementação Conjunta (*joint implementation*).

<sup>3</sup> “Vulnerabilidade” refere-se ao nível em que um grupo de pessoas, ou mesmo uma cidade em si, é vulnerável e incapaz de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima, tanto na variabilidade climática quanto nos extremos. Isto porque, a depender do local que atinja, uma mesma condição climática produz resultados diferentes, que devem ser lidados de forma individualizada, tanto no pré como no pós-desastre.

mesmo tempo em que o mundo começou a atentar para a maior frequência de eventos climáticos extremos. Nesse meio tempo, cidades e seus habitantes “não têm outra opção a não ser adaptarem-se aos impactos das mudanças climáticas” (WORLD BANK, 2010).

Pela definição do IPCC adequada à realidade das cidades, adaptação é o ajustamento das pessoas e dos sistemas urbanos em resposta aos efeitos das mudanças climáticas atuais ou previstas, em ordem de reduzir ou moderar seus impactos negativos. O objetivo final da adaptação é a construção de uma cidade resiliente, através da redução da vulnerabilidade (social e de infraestrutura), de modo que funções vitais sejam mantidas em situações de impacto.

Importante salientar que as medidas de adaptação, no que tange à variação climática propriamente dita, apresentam duas vertentes: (i) adaptação às mudanças graduais nas médias de temperatura, aumento do nível do mar e de precipitação e (ii) redução e gestão dos riscos associados a mais frequentes, severos e inesperados eventos climáticos extremos (UNISDR, 2010). Assim, adaptação envolve também as situações que não chegam a se caracterizar como desastres, mas que causam transtornos consideráveis à rotina urbana (por exemplo, pontos de alagamento que interferem no trânsito).

Em sua acepção jurídica, a cidade pode ser entendida como um complexo sistema que consiste em um “bem ambiental síntese”, por reunir diversos aspectos do meio ambiente natural, artificial, cultural e laboral (YOSHIDA, 2009). Sendo um bem ambiental, tem natureza jurídica difusa, cujas principais características constitucionais encontram-se previstas no artigo 225, *caput*, da Constituição Federal de 1988; vale dizer, bem de uso comum do povo e a essencialidade da sadia qualidade de vida, impondo ao Poder Público e à coletividade o “dever de defendê-lo e preservá-lo

para as presentes e futuras gerações”.

Desta maneira, fica claro que o espaço urbano não se restringe à definição clássica de meio ambiente artificial (o construído pelo homem), mas sim, que é um “macrossistema resultante das interações dos subsistemas constituídos pelos meios físico, biótico e antrópico” (YOSHIDA, 2009). Tais interações explicitam a mútua dependência entre meio ambiente natural e construído (urbano): o ambiente natural como diretriz das políticas de planejamento urbano, que inclui certamente os moradores da cidade e sua qualidade de vida. Enquanto bem ambiental síntese, diversas questões podem ser destacadas relacionadamente a diferentes componentes e aspectos do meio ambiente, que são interligados e que podem afetar o equilíbrio das cidades (YOSHIDA, 2009) – concentrando-nos nas mudanças climáticas.

Com fulcro na disposição constitucional constante no artigo 225, sobre o dever do Poder Público e da coletividade de defender e preservar o meio ambiente para as presentes e futuras gerações, temos a questão da competência, isto é, as atribuições legislativas de cada ente federado para legislar acerca da proteção ao meio ambiente. De acordo com os artigos 24, incisos VI a VIII, e artigo 30, inciso II, da Constituição Federal, depreende-se que incumbe à União, Estados e Distrito Federal legislar concorrentemente sobre toda a matéria ambiental, podendo os Municípios suplementar a legislação federal e estadual no que couber. Por outro lado, a política de gestão urbana é de competência quase que exclusivamente municipal, de sorte que podemos interpretar que na esfera municipal, no Brasil, é sim possível legislar sobre mudanças climáticas, tal qual foi feito pela lei n. 14.933/2009, que busca integrar este tema à gestão do espaço urbano, como se verá a seguir. Há

uma recíproca e necessária correlação entre as Políticas de Mudanças Climáticas (previstas por documentos internacionais da Organização das Nações Unidas e recepcionadas pelo Estado Brasileiro) e as Políticas Urbanas.

Isto porque ao Poder Público cabem as ações de interesse da coletividade – proporcionando equidade de acesso ao bem estar e garantindo o direito coletivo à cidade. Desta forma, a gestão do urbano não pode e não deve passar ao largo da dimensão ambiental, seja em seu aspecto de cooperação internacional entre nações, visando à redução da emissão dos gases nocivos ao efeito estufa, como também no que se refere aos riscos decorrentes dos eventos climáticos extremos de curta duração, que expõem a vulnerabilidade socioambiental de seu território. Tais posturas devem ser consideradas como pressupostos para nortear as políticas de desenvolvimento urbano, consubstanciadas no planejamento urbano.

Em decorrência, cidades ao redor do mundo têm adotado estratégias específicas, muitas em virtude da Convenção-Quadro da Organização das Nações Unidas, da qual o Brasil é signatário. Este é o caso da cidade de São Paulo que, no ano de 2009, aprovou a Lei nº 14.933, que instituiu a Política Municipal de Mudança do Clima de maneira pioneira no Brasil e na América Latina, sendo uma liderança entre municípios no sentido de tratar de mudanças climáticas, e é objeto deste estudo, que a revisa e apresenta.

## PANORAMA GERAL DA POLÍTICA DE MUDANÇA DO CLIMA NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Valendo-se de princípios de Direito Ambiental<sup>4</sup>, conceitos e instrumentos específicos, a lei municipal instituiu metas ambiciosas para a consecução do objetivo da política instituída, definido em seu artigo 4º: “a Política Municipal de Mudança do Clima tem por objetivo assegurar a contribuição do Município de São Paulo no cumprimento dos propósitos da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, de alcançar a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático, em prazo suficiente para permitir aos ecossistemas uma adaptação natural à mudança do clima e a assegurar que a produção de alimentos não seja ameaçada e a permitir que o desenvolvimento econômico prossiga de maneira sustentável”. Já neste primeiro momento, pode-se perceber claramente que o principal viés do plano municipal é de mitigação – cooperação internacional – e não de adaptação, conforme explicado anteriormente.

Tanto é assim que, de acordo com seu artigo 5º, ficou estabelecida para o ano de 2012 “uma meta de redução de 30% (trinta por cento) das emissões antrópicas agregadas oriundas do Município, expressas em dióxido de carbono equivalente, dos gases de efeito estufa listados no Protocolo de Quioto, em relação ao patamar expresso no inventário realizado

<sup>4</sup> O artigo 1º estipula que a Política Municipal de Mudança do Clima atenderá aos seguintes princípios: prevenção, precaução, poluidor-pagador, usuário-pagador, protetor-receptor, responsabilidades “comuns, porém diferenciadas”, abordagem holística, internalização no âmbito dos empreendimentos dos seus custos sociais e ambientais, direito de acesso à informação, participação pública no processo de tomada de decisão e acesso à justiça nos temas relacionados à mudança do clima.

pela Prefeitura Municipal de São Paulo e concluído em 2005”. Além disso, dispôs em seu parágrafo único que as metas dos períodos subsequentes serão definidas por lei 2 (dois) anos antes do final de cada período de compromisso, objetivando uma progressiva restrição na emissão dos gases danosos ao meio ambiente.

Isto é importante na medida em que se “mantido o atual padrão o atual padrão de consumo energético [...] incorrer-se-á em riscos importantes para a saúde humana” (FMUSP, *et al.*, 2011). E o relatório descreve as principais situações esperadas, delineando um cenário extremamente preocupante à população e aos gestores públicos: “o acúmulo de poluentes primários emitidos a partir de termoelétricas e escapamentos de veículos aumentará a taxa de mortalidade por câncer e doenças dos sistemas cardiovascular e respiratório. O aumento do ozônio troposférico causará danos aos pulmões. Maior dose de radiação ultravioleta elevará o risco para tumores de pele. A escassez de recursos hídricos e a desertificação de algumas áreas do planeta poderão levar à fome e a migrações de grande vulto. O consumo de água de pior qualidade levará a uma maior taxa de doenças de veiculação hídrica, como a diarreia ou intoxicação por metais pesados. Os mosquitos transmissores de doenças infecciosas, como a malária e a dengue, proliferarão mais rapidamente e invadirão áreas hoje de clima temperado, aumentando o número de vítimas. Desastres naturais causados por eventos climáticos extremos, como inundações e furacões, cobrarão um pedágio doloroso”. Assim, é perceptível que o tema das mudanças climáticas é extremamente abrangente, produzindo efeitos diretamente na vida cotidiana – sobre os quais a maioria da população não está informada o suficiente.

Neste sentido, importante que sejam conhecidas as diretrizes apresentadas pelo artigo 3º, que devem ser entendidas conjuntamente com os princípios, para implementação da política de mudança do clima. Os quinze incisos são bastante abrangentes, mas, sucintamente, preveem (i) que o planejamento de mudanças climáticas deve ser “estratégico”, envolvendo as diversas esferas do Poder Público, seus agentes, e os membros da sociedade civil; (ii) a promoção do uso de energias renováveis e a substituição gradual dos combustíveis fósseis, bem como da reutilização da água para fins não potáveis e o estímulo à minimização da quantidade de resíduos sólidos gerados; (iii) integração das normas de planejamento urbano e uso do solo, de maneira a promover a intensificação do uso de áreas melhor dotadas de infraestrutura; (iv) ainda na esfera do uso e ocupação do solo, a lei prevê a promoção da arborização das vias públicas para ampliação das áreas de drenagem; (v) utilização de instrumentos econômicos para estimular a redução de emissão de gases nocivos ao efeito estufa; e, (vi) a lei prevê no inciso X a “adoção de procedimentos de aquisição de bens e contratação de serviços pelo Poder Público Municipal com base em critérios de sustentabilidade”.

Contudo, como dito anteriormente, a meta existente é a de redução da emissão de gases, e, para tanto, a lei propõe uma atuação conjunta em diversas frentes, como planejamento, gestão, educação, estímulos fiscais, entre outras. Nessa seara, merecem destaque as seções trazidas pelo “Título IV – estratégias de mitigação e adaptação”: transportes, energia, gerenciamento de resíduos, saúde, construção e uso do solo.

## ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO

Definir uma estratégia integrada de mitigação e adaptação é um dos maiores desafios das políticas de mudanças climáticas: ao mesmo tempo em que devem reduzir a emissão de gases – atividade que envolve amplos estudos de inventários da emissão de gases –, também é necessário que se conheça profundamente o território, seu modo de ocupação e os eventos climáticos extremos a que a região está sujeita, para então compreender a vulnerabilidade socioambiental da cidade e definir qual a melhor estratégia a ser tomada.

Para o sucesso dos planos municipais de mudanças climáticas, que visam estabelecer uma política pública urbana de tal extensão, além do conhecimento necessário para a definição de estratégias (logo, prévios à elaboração de instrumentos políticos) – por exemplo, a elaboração de um inventário de emissões de gases do efeito estufa extensivo – também é extremamente necessário que sejam estabelecidas metodologias de avaliação para análise constante ou periódica, a depender do caso, que efetivamente mensurem a evolução em cada uma das frentes de ação.

Desta maneira, antes que se parta à análise dos itens da Lei n. 14.933, far-se-á uma breve exposição sobre a caracterização geofísica da cidade de São Paulo.

## Considerações geográficas da cidade de São Paulo

A cidade de São Paulo tem diversas características marcantes: é a maior cidade da América Latina, a mais rica do Brasil e passou por uma intensa urbanização de forma desordenada e pautada historicamente no desenvolvimento econômico. Com onze milhões de habitantes e uma área de 1.051 km<sup>2</sup> (NOBRE *et al.*, 2010), a intensa urbanização que por um lado possibilitou a alavancagem da industrialização brasileira e o

desenvolvimento do espaço urbano também gerou diversas mazelas sociais e ambientais, dentre as quais as áreas de riscos geológicos e hidrológicos.

Nos dizeres de Ab'Saber (GEO Cidade de São Paulo, 2004), “a originalidade geográfica principal do sítio urbano de São Paulo reside na existência de um pequeno mosaico de colinas, terraços fluviais e planícies de inundações, pertencentes a um compartimento restrito e muito bem individualizado do relevo da porção sudeste do Planalto Brasileiro”. Até meados do século XX, a urbanização se concentrou nos terrenos de planícies, mais favoráveis à ocupação. A partir daí, começou a se expandir para a região de colinas, mais suscetíveis a processos de erosão.

De acordo com o relatório GEO Cidade de São Paulo (2004), a ocupação urbana nas áreas de várzea – principalmente dos rios Pinheiros e Tietê – está sujeita, obviamente, a alagamentos e inundações, que ocorrem pelo extravasamento das águas dos cursos d'água naturais, pelo recebimento das águas pluviais de setores situados a montante, pois “com a impermeabilização do solo, as águas de chuva encontram maior dificuldade de infiltração e grandes volumes acabam escoando pelas galerias pluviais”. Tais excessos de água, ao atingirem os setores de várzea, naturalmente apresentam dificuldade de escoamento devido às baixas declividades nas áreas de baixada, o que propicia a ocorrência de inundações.

Entretanto, o problema com as águas das chuvas não se limita às áreas de várzea na região central de São Paulo. Outras áreas urbanas periféricas, de relevos mais íngremes e também com maior concentração de áreas verdes – no extremo sul, a Área de Proteção Ambiental Capivari-Monos, e na zona norte, o parque Estadual da Serra da Cantareira –, ocupados pela população de baixa renda, também

sofrem os efeitos da precipitação intensa que frequentemente ocasionam acidentes de deslizamentos em encostas (GEO Cidade de São Paulo, 2004).

No relatório “Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo”, de 2010, as projeções feitas para 2030 demonstram que os cenários de risco e respectivas vulnerabilidades deflagradas por eventos climáticos extremos tendem a piorar: “estudos preliminares sugerem que, entre 2070 e 2100, uma elevação média na temperatura da região de 2° C a 3° C poderá dobrar o número de dias com chuvas intensas (acima de 10 milímetros) na capital paulista” (NOBRE *et al.*, 2010).

Adicionalmente, as regiões onde as alterações climáticas serão sentidas mais intensamente são aquelas com altos índices de ocupação urbana – “no caso de São Paulo, densidades superiores a 80%, correspondentes ao trecho da bacia nos rios Tietê e Pinheiros” (NOBRE *et al.*, 2010). Neste sentido, explicita ainda o mencionado relatório que as inundações e deslizamentos de terra devem atingir de forma generalizada toda a população metropolitana; contudo, deve “afetar com maior intensidade e gravidade as pessoas ou famílias que vivem nos ambientes de maior risco, com destaque para a população localizada em favelas, das quais pelo menos um terço é anualmente atingida várias vezes pelos episódios de chuvas intensas” (NOBRE *et al.*, 2010).

O conhecimento dos possíveis cenários de risco é essencial para a vertente de adaptabilidade dos planos de mudanças climáticas, visto que a vulnerabilidade e a capacidade de adaptação variam de cidade para cidade. Justamente por isso, o planejamento deve ser individualizado de acordo com as características geofísicas do local.

## Transportes

A questão da mobilidade urbana é, hoje, uma das mais preocupantes na dinâmica da cidade. Por décadas, a política municipal privilegiou o uso dos automóveis tanto por incentivos fiscais como pela construção de avenidas, ruas, pontes, túneis. E atualmente a população tem colhido os efeitos de tal política, que se evidenciam nos longos quilômetros de congestionamento e também na má qualidade dos sistemas de transporte público. Isso tem seu impacto também na questão das mudanças climáticas, devido à grande quantidade de poluentes que o sistema de transporte como um todo emite diuturnamente.

A Política Municipal de Mudança do Clima definiu quatro vertentes de atuação: gestão e planejamento, dos modais, do tráfego e das emissões. O “caput” do artigo 6º define que “as políticas de mobilidade urbana deverão incorporar medidas para a mitigação dos gases de efeito estufa”. Importante salientar que a cidade de São Paulo não possui um Plano Diretor de mobilidade urbana, de maneira que urge que sejam tomadas medidas efetivas neste sentido.

Entre as medidas de gestão e planejamento, vale apontar, além da óbvia “internalização da dimensão climática no planejamento da malha viária” (art. 6º, I, “a”), o constante na alínea “f”, isto é, a “restrição gradativa e progressiva do acesso de veículos de transporte individual ao centro, *excluída a adoção de sistema de tráfego tarifado*, considerando a oferta de outros modais de viagens” (grifo nosso). Um adendo interessante neste sentido é trazido por Glaeser *apud* Vickrey: “usuários de carros privados e táxis, e talvez também os de ônibus, em geral não assumem custos proporcionais ao incremento de custos que seu uso impõe”. Isto significa que “quando dirigimos, consideramos os nossos próprios

custos privados, como tempo, combustível e depreciação do automóvel; no entanto, nós geralmente não consideramos os custos – a perda de tempo – que impomos para todos os demais motoristas” (GLAESER, 2011). Para os economistas, a solução natural para essa questão é a cobrança pelo deslocamento, método que surtiu um efeito positivo em cidades como Cingapura, já em 1975, e em 2003 em Londres. A explicação de Glaeser para a não tarifação do tráfego em cidades nos Estados Unidos (apesar do sucesso em outras grandes cidades), que agora valemo-nos por conta da lei de mudanças climáticas, é que “a política prevalece sobre a economia” (2011).

As medidas de modais e de tráfego preveem, basicamente, a ampliação da oferta de transporte público, estímulo ao transporte não motorizado, implantação de corredores segregados para ônibus, trólebus e também para veículos com dois ou mais passageiros. Além disso, a sessão das emissões prevê a promoção de uso de tecnologias que possibilitam o uso de energias renováveis.

Um aspecto inovador é que o inciso IV, “e”, prevê o estabelecimento de padrões e limites para a emissão de GEE proveniente de atividades de transporte aéreo no município<sup>5</sup>, em interação com as normas e autoridades federais.

A estratégia de melhoramento da situação do transporte em São Paulo, se implementada, propiciará melhoria à saúde dos habitantes, em diferentes dimensões, visto que os co-benefícios imediatos em saúde incluem tanto a redução da

<sup>5</sup> A cidade de São Paulo possui a segunda maior frota de helicópteros do mundo, atrás apenas de Nova Iorque. Neste sentido, ver <http://www.redebrasilatual.com.br/temas/cidades/2011/09/frota-de-helicopteros-em-sao-paulo-indica-descaso-com-transporte-publico>

incidência de doenças respiratórias, cardiovasculares, problemas oftálmicos e câncer, como também a redução das desordens comportamentais e psicológicas, melhorando a saúde mental dos paulistanos (FMUSP *et al.*, 2011).

## Energia

As cidades atuais são grandes dependentes de energia; o sucesso e o crescimento das cidades tal como se encontram hoje no mundo teve origem na revolução industrial, sobre o qual se assentou o atual modelo de desenvolvimento urbano baseado no uso de recursos fósseis. Desta maneira, o uso da energia e a elaboração de políticas públicas a ela relacionadas estão em constante discussão, objetivando definições de mecanismos e de melhores práticas de ações para o desafio energético (ROMERO, BRUNA, 2010).

A Política Municipal de Mudanças Climáticas, ao destinar uma seção à energia, estipulou que serão objeto de execução as medidas de criação de incentivos e promoção de esforços para geração de energia descentralizada de fontes renováveis, especialmente em edificações, indústrias, transportes e iluminação pública. Também está prevista a criação de incentivos fiscais e financeiros para pesquisas relacionadas à eficiência energética e ao uso de energias renováveis em sistemas de conversão de energia.

Perceba-se que o foco está na descentralização na geração de energia na cidade, para que não se dependa de uma única e distante fonte de energia – já que a produção de energia elétrica no Brasil é essencialmente originária de usinas hidrelétricas, que apesar do impacto socioambiental para suas construções, é considerada uma fonte de energia “limpa”.

## Gerenciamento de resíduos

O gerenciamento de resíduos sólidos cumpre um papel fundamental no que se relaciona à saúde dos cidadãos, pois permeia diferentes esferas. Na Lei n. 14.933, os resíduos são tratados de maneira integrada com o saneamento, e sua estratégia de atuação se assenta em um tripé: minimização de geração de resíduos, reciclagem ou reuso, e tratamento e disposição final de resíduos. Para tanto, estabelece para poder público municipal o prazo de dois anos, a partir da aprovação da proposta, para estabelecer programa obrigatório de coleta seletiva de resíduos e promover a instalação de “ecopontos” em cada um dos distritos da cidade.

Outro aspecto importante é que empreendimentos com grande concentração ou circulação de pessoas deverão instalar equipamentos e manter programas de coleta seletiva de resíduos sólidos para obtenção de certificado de conclusão, licença ou alvará de funcionamento. Aqui, novamente se percebe o caráter de descentralização, de cooperação governo-sociedade para a implementação das políticas públicas de sustentabilidade<sup>6</sup>.

Redução, reutilização e reciclagem de resíduos já reduzem consideravelmente a quantidade de GEE, porém é interessante notar que as ações que podem ser adotadas são amplas e promissoras: estratégias para geração de energia por meio do lixo têm se popularizado independentemente

<sup>6</sup> O artigo 11 dispõe acerca do desestímulo do uso de sacolas não biodegradáveis e de embalagens excessivas ou desnecessárias no âmbito do município. Isto é algo que vem sendo amplamente debatido pela sociedade civil, sendo que o fornecimento de sacolas plásticas de supermercados chegou a ser suspenso em 2012, e posteriormente retomado. Contudo, grandes redes de supermercados continuaram a fazer campanhas estimulando o uso de sacolas retornáveis (“ecobags”).

do nível de desenvolvimento do país (respeitadas diferenças fundamentais), pois podem ser usados tanto para produção local de energia, como para venda de créditos de carbono no mercado internacional (UN-HABITAT, 2011).

## Saúde

No campo específico da saúde pública, o plano municipal de mudanças climáticas, em seu artigo 12, estipula que “o Poder Executivo deverá investigar e monitorar os fatores de risco à vida e à saúde decorrentes da mudança do clima e implementar as medidas necessárias de prevenção e tratamento, de modo a evitar ou minimizar seus impactos sobre a saúde pública”.

Como medidas específicas, em rol não taxativo, tem-se: (i) realizar campanhas de esclarecimento sobre as causas, efeitos e formas de se evitar e tratar as doenças relacionadas à mudança do clima e à poluição veicular; (ii) promover, incentivar e divulgar pesquisas relacionadas aos efeitos da mudança do clima e poluição do ar sobre a saúde e o meio ambiente; (iii) adotar procedimentos direcionados de vigilância ambiental, epidemiológica e entomológica em locais e em situações selecionadas, com vistas à detecção rápida de sinais de efeitos biológicos de mudança do clima; (iv) aperfeiçoar programas de controle de doenças infecciosas de ampla dispersão, com altos níveis de endemicidade e sensíveis ao clima, especialmente a malária e a dengue; e (v) treinar a defesa civil e criar sistemas de alerta rápido para o gerenciamento dos impactos sobre a saúde decorrentes da mudança do clima.

Importante apontar que o constante no inciso V se relaciona diretamente com as estratégias de adaptação, especificadamente de gestão de riscos ambientais em ambiente urbano decorrentes dos eventos climáticos extremos.

## Construção

Na área da construção, a lei aponta que novas construções deverão obedecer a critérios de eficiência energética, sustentabilidade ambiental e eficiência de materiais. No caso das construções existentes, quando submetidas a reforma e/ou ampliação, deverão também obedecer a esses critérios. Aqui, há uma forte semelhança com os processos de certificação internacionais, como o “Leadership in Energy and Environmental Design – LEED<sup>7</sup>”, cujas previsões foram, gradualmente, sendo integradas no corpo regular da legislação de alguns países, como os Estados Unidos.

A Lei n. 14.933 define também que as obras e serviços de engenharia contratados pelo município deverão comprovar, obrigatoriamente, o uso de produtos e subprodutos de madeira de origem exótica ou, quando madeira nativa, que esta tenha origem legal. As licitações da Prefeitura passarão a incorporar, deste modo, critérios de sustentabilidade<sup>8</sup>.

Outro ponto fundamental da proposta estabelece que as licenças ambientais de empreendimentos com significativa emissão de gases nocivos ao efeito estufa só serão concedidas mediante apresentação, pela empresa responsável, de plano de mitigação de emissões e medidas de compensação.

## Uso do Solo

<sup>7</sup> “O LEED é um sistema de certificação e orientação ambiental de edificações. Criado pelo U.S. Green Building Council, é o selo de maior reconhecimento internacional e o mais utilizado em todo o mundo, inclusive no Brasil”, conforme disponível no site <http://www.gbcbrazil.org.br/?p=certificacao>

<sup>8</sup> Este é um ponto que carece de melhor regulamentação, explicando cuidadosamente como se darão tais “licitações sustentáveis”.

A questão do uso e ocupação do solo, aqui defendida como uma das vertentes urbanísticas da proteção climática, entre tantas outras previsões dos planos de mudanças climáticas, merece especial destaque em uma região como a da cidade de São Paulo, isto é, amplamente sujeita a riscos gerados por precipitação intensa. Neste sentido, o Estatuto da Cidade estipula a ordenação e controle do uso do solo como diretriz geral da Política Urbana, objetivando o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade, como forma de evitar uso excessivo ou inadequado da infraestrutura urbana e a degradação ambiental (artigo 2º, VI, “c” e “g”), e, mais recentemente, a redução de desastres (alterado pela Lei nº 12.608/2012).

Embora a seção seja denominada “Uso do Solo”, suas previsões dizem respeito também à “ocupação do solo”. Silva (2010) explica que apesar de o uso e ocupação do solo serem tratados conjuntamente (pois “são instituições que se co-implicam”), o primeiro se refere à destinação dos lotes (seus usos: serviços, residencial, industrial, misto etc.; zoneamento), enquanto o segundo refere-se à proporção que as construções devem ter em determinada área de uso, o que dá origem ao adensamento, à geração de fluxos, à construção de sistemas de engenharia e à antropização dos espaços (SANTOS, 1988).

A Política de Mudança do Clima, em seu artigo 18, inicia a seção “uso do solo” explicando que “a sustentabilidade da aglomeração urbana deverá ser estimulada pelo Poder Público Municipal e norteadada pelo princípio da cidade compacta, fundamental para o cumprimento dos objetivos desta lei”. Novamente, fazemos aqui a ressalva: o objetivo da lei é a mitigação, o que justificaria, portanto, as metas de “compactação” da cidade: (i) redução dos deslocamentos por



meio da melhor distribuição da oferta de emprego e trabalho na cidade; (ii) promoção da distribuição de usos e da intensidade de aproveitamento do solo de forma equilibrada em relação à infraestrutura, aos transportes e ao meio ambiente, de modo a evitar sua ociosidade ou sobrecarga e otimizar os investimentos públicos; (iii) estímulo à ocupação de área já urbanizada, dotada de serviços, infraestrutura e equipamentos, de forma a otimizar o aproveitamento da capacidade instalada com redução de custos; (iv) estímulo à reestruturação e requalificação urbanística e ambiental para melhor aproveitamento de áreas dotadas de infraestrutura em processo de esvaziamento populacional, com potencialidade para atrair novos investimentos.

Contudo, o artigo 19 traz o caráter de “adaptação”, de aumento da resiliência urbana, ao prever que o “Poder Público deverá, com auxílio do setor privado e da sociedade, promover a requalificação de áreas habitacionais insalubres e de risco, visando oferecer condições de habitabilidade para a população moradora e evitar ou minimizar os riscos decorrentes de eventos climáticos extremos”.

Aspecto positivo é que esta seção expande a questão ambiental enquanto arborização urbana e áreas permeáveis, através de um aumento da cooperação público-privada, da gestão participativa. Sinteticamente, pretende-se (i) a recuperação de áreas de preservação permanente (especialmente as de várzeas), (ii) a implantação de programa de recuperação de áreas degradadas em áreas de proteção aos mananciais, em áreas de preservação permanente e na Reserva da Biosfera do Cinturão Verde de São Paulo, com o fim de “criação de sumidouros de carbono, garantia da produção de recursos hídricos e proteção da biodiversidade”, e (iii) a reserva de área permeável sobre terreno

natural, “visando à absorção de emissões de carbono, à constituição de zona de absorção de águas, à redução de zonas de calor, à qualidade de vida e à melhoria da paisagem”.

## INSTRUMENTOS

Como dito anteriormente, a Política Municipal de Mudança do Clima propõe uma abordagem integrada da questão das mudanças climáticas em meio urbano, buscando a promoção de uma atuação conjunta em diversas frentes, como planejamento, gestão, educação, estímulos fiscais, entre outras.

Os “instrumentos” estão divididos em oito seções, a saber: instrumentos de informação e gestão; instrumentos de comando e controle; instrumentos econômicos; contratações sustentáveis; educação, comunicação e disseminação; e defesa civil.

Primeiramente, os instrumentos de informação e gestão se referem basicamente à elaboração de inventários periódicos sobre a emissão municipal dos gases nocivos ao efeito estufa, que busquem implementar os bancos de dados para o acompanhamento e controle de tais emissões. Esses dados servirão de base para a utilização do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL e para eventual benefício no Mercado de Crédito de Carbono (artigo 27).

Os instrumentos de comando e controle possuem duas vertentes. A primeira diz respeito às licenças ambientais de empreendimentos com significativa emissão de gases de efeito estufa, que serão condicionadas à apresentação de um plano de mitigação de emissões e medidas de compensação. A segunda refere-se ao programa de inspeção e manutenção de veículos, que ganhará maior importância no cenário de redução de emissão de poluentes.

Os instrumentos econômicos, por sua vez, são mais abrangentes; contudo, todos visam atuar como estímulos fiscais ou de desenvolvimento econômico e financeiro, através da redução de alíquotas de tributos, promoção de renúncias fiscais e renegociação de dívidas tributárias de empreendimentos ações que resultem em redução significativa das emissões de gases de efeito estufa ou ampliem a capacidade de sua absorção ou armazenamento. Entre os diversos mecanismos elencados na lei, dois merecem destaque. O primeiro encontra-se previsto no artigo 31, e estipula que “o Poder Executivo definirá fatores de redução de Outorga Onerosa de Potencial Construtivo Adicional para empreendimentos que promovam o uso de energias renováveis, utilizem equipamentos, tecnologias ou medidas que resultem em redução significativa das emissões de gases de efeito estufa ou ampliem a capacidade de sua absorção ou armazenamento”. O segundo está no artigo 36, que prevê que “o Poder Público Municipal estabelecerá, por lei específica, mecanismo de pagamento por serviços ambientais para proprietários de imóveis que promoverem a recuperação, manutenção, preservação ou conservação ambiental em suas propriedades, mediante a criação de Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN ou atribuição de caráter de preservação permanente em parte da propriedade”. Estas previsões legais demonstram claramente o vínculo existente entre o Plano Municipal de Mudanças Climáticas e o Plano Diretor Estratégico da Cidade de São Paulo, que, talvez não em um prazo imediato, deverá interferir no modo como estamos acostumados a pensar a cidade.

O tópico contratações sustentáveis prevê que as licitações e os contratos administrativos celebrados pelo Município de São Paulo deverão incorporar critérios

ambientais nas especificações dos produtos e serviços. Como outrora mencionado, esta previsão, assim como muitas outras da lei, precisará de regulamentação específica para ser implementada, e por ser de natureza pública, deverá ser muito bem delimitada.

“Educação, comunicação e disseminação” cumpre educar diferentes públicos visando à conscientização<sup>9</sup> sobre as causas e impactos decorrentes da mudança do clima.

Por fim, com relação à Defesa Civil, como foi mostrado ao tratarmos das medidas de adaptação, dos riscos e vulnerabilidades socioambientais a que estamos sujeitos, esta cumpre um importante papel relacionando-se com a gestão do meio urbano. Dessa maneira, o Poder Público Municipal adotará programa permanente<sup>10</sup> de defesa civil e auxílio à população voltado à prevenção de danos, ajuda aos necessitados e reconstrução de áreas atingidas por eventos extremos decorrentes das mudanças climáticas. Também deverá ser instalado sistema de previsão de eventos climáticos extremos e alerta rápido para atendimento das necessidades da população.

## OUTRAS DISPOSIÇÕES

Para a implementação da Política de Mudança do Clima do Município de São Paulo, foi instituído pelo artigo 42 o Comitê Municipal de Mudança do Clima e Economia, “órgão colegiado e consultivo, com o objetivo de apoiar a implementação da política ora instituída, contando com a representação do Poder Público Municipal e Estadual, da sociedade civil, especialmente das entidades populares que atuam nas políticas

<sup>9</sup> Termo utilizado no artigo 39 da Lei nº 14.933/2009.

<sup>10</sup> Atualmente, os programas da Defesa Civil se voltam especialmente à época de chuvas intensas (novembro a março).

ambientais e urbanas, do trabalhador, do setor empresarial e acadêmico”.

Este, por sua vez, formou Grupos de Trabalho nas seis vertentes de atuação das estratégias de adaptação e mitigação, abordadas neste artigo: energia, construção, resíduos, saúde, transporte e uso do solo. Sua instituição foi feita por meio do Decreto n. 50.866, de 21 de setembro de 2009<sup>11</sup>.

Além disto, a Lei n. 14.933 também tratou do Fundo Especial do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - FEMA<sup>12</sup>, estipulando que os recursos deste proveniente deverão ser empregados na implementação dos objetivos da política de mudanças climáticas, sem prejuízo das funções já estabelecidas pela referida lei.

## CONCLUSÃO

A cidade de São Paulo tem ganhado destaque crescente no cenário internacional, e especialmente no que tange às mudanças climáticas, São Paulo sediou em 2011 a quarta edição do encontro IV Conferência de Prefeitos da “C40 São Paulo Climate Summit”, que se propõe a ser uma rede de troca de informações sobre mudanças climáticas e saúde entre as maiores cidades do mundo.

Como se viu, há muitas facetas a serem consideradas em planos de mudanças climáticas, de sorte que, obviamente, não foi possível esgotar o assunto, ainda bastante recente. A proposta, pois, é que o conhecimento da previsão legal e de sua estruturação normativa possibilite o melhor desenvolvimento de trabalhos tanto

<sup>11</sup> Informações disponíveis em [http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/desenvolvimento\\_urbano/comite\\_do\\_clima/legislacao/decretos/ind\\_ex.php?p=15118](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/desenvolvimento_urbano/comite_do_clima/legislacao/decretos/ind_ex.php?p=15118). Acesso em 10 de outubro de 2011, às 22h.

<sup>12</sup> Previsto na Lei nº 13.155, de 29 de junho de 2001.

governamentais quanto de pesquisa, bem como da iniciativa privada. Além disso, o conhecimento do que está previsto em lei pelos especialistas em distintos ramos do saber que se relacionam à sustentabilidade urbana e mudanças climáticas, pode vir a promover alterações significativas à maneira como a política foi instituída, visto que é uma legislação nova e sem precedentes.

Neste caminho, lembramos o ensinamento do jurista italiano Norberto Bobbio, para quem estamos vivendo uma fase de efetivação de direitos, e não é possível a omissão acerca das novas demandas que surgem e atingem diretamente a vida das sociedades urbanas. Assim, o aprofundamento em tais questões se mostra necessário para que melhorias na aplicação de políticas de gestão de cidades sejam implantadas.

Foi demonstrado a necessária inter-relação existente entre a política de meio ambiente e a política de desenvolvimento urbano, que se consubstancia nos Planos de Mudanças Climáticas para cidades, que para surtirem efeito não devem ser apenas “soft law”, meramente norteadoras, mas devem sim apresentar deveres concretos, metas a serem atingidas.

Para isso, dois pontos são extremamente importantes. O primeiro é o diálogo com outras legislações, como o código de obras e o plano diretor<sup>13</sup>, sob pena de, em caso de tais objetivos não se incorporaram nas “legislações-chefe”, serem totalmente ineficientes, sem a produção de reais efeitos. O segundo são os critérios de avaliação ambientais. Pelo texto da lei, o instrumento para tanto é o inventário de emissões de GEE, que serve para avaliar e definir novas metas. Contudo, isto é suficiente para mensurar os avanços da política pública, em critérios ambientais? Como as medidas de mitigação se refletem em qualidade

<sup>13</sup> Em processo de revisão.

de vida para a população local, além dos benefícios internacionais? Mais ainda, como podemos avaliar medidas de adaptação de uma maneira concreta e objetiva? Essas questões sobre a utilização de indicadores servem, inclusive, para definir prioridades para a cidade no “duelo” existente entre mitigação e adaptação. Vale lembrar, também, que a política paulistana certamente servirá de modelo a outros planos municipais.

Oxalá esta nova percepção de planejamento urbano para mudanças climáticas venha a alterar o modo como estamos acostumados a pensar as cidades, de sorte que no século XXI estas sejam melhores, reduzindo o impacto da ação antrópica sobre o meio físico, e que também sejam mais resilientes, propiciando aos seus habitantes maior segurança frente aos eventos climáticos extremos.

Finalmente, cumpre salientar que um Plano Municipal de Mudanças Climáticas é um grande passo para que se atinja a orientação constitucional de desenvolvimento sustentável – apesar da incidência de questões como a preocupação quase que exclusiva do legislador com a mitigação, sem se aprofundar em estratégias de adaptação (que envolvem a segurança pública, inclusive) – a fim de buscar o crescimento econômico, a erradicação da pobreza e a redução das desigualdades sociais, em consonância com a garantia de um meio ambiente sadio e equilibrado para as presentes e futuras gerações.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. **Diário Oficial da União**, Brasília, 5 out. 1988.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal,

estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 11 jul. 2001.

C40 LARGE CITIES CLIMATE SUMMIT, 2011, São Paulo. **CARTA DE RECOMENDAÇÕES EM SAÚDE SÃO PAULO**. São Paulo: Prefeitura Municipal de São Paulo, 2011. Disponível em: <[http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/meio\\_ambiente/Carta\\_de\\_recomendacao\\_em\\_saude\\_sp\\_c40.pdf](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/meio_ambiente/Carta_de_recomendacao_em_saude_sp_c40.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2011.

CITIES AND CLIMATE CHANGE: an urgent agenda. New York: The World Bank, v. 10, dez. 2010.

COMITÊ MUNICIPAL DE MUDANÇA DO CLIMA E ECOECONOMIA. **Diretrizes para o Plano Municipal de Ação da Cidade de São Paulo para Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas**. São Paulo: Prefeitura Municipal de São Paulo, 2011. Disponível em: <[http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/diretrizes\\_para\\_o\\_plano\\_de\\_acao\\_1302029294.pdf](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/diretrizes_para_o_plano_de_acao_1302029294.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2011.

MARQUES, José Roberto (Org.). **Sustentabilidade**: e temas fundamentais de direito ambiental. Campinas: Millenium, 2009. 492 p.

MILARÉ, Édís. **Direito do Ambiente**: a gestão ambiental em foco: doutrina, jurisprudência, glossário. 6. ed. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2009.

NOBRE, Carlos A. et al. **Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas**: Região Metropolitana de São Paulo. São José Dos Campos: Inpe, 2010.

OGURA, Agostinho Tadashi. **Mudanças climáticas na Região Metropolitana de São Paulo: A gestão das cidades: conhecer os cenários de risco e reduzir as**

vulnerabilidades. In: PLANEJAMENTO MUNICIPAL: MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 1., 2010, São Paulo. **Planejamento Municipal: mudanças climáticas**. São Paulo: Escola Superior do Ministério Público, 2010. p. 1 - 42. CD-ROM.

ROMERO, Marcelo de Andrade. BRUNA, Gilda Collet. **Metrópoles e o desafio urbano frente ao meio ambiente**. São Paulo: Blucher, 2010.

SILVA, José Afonso da. **Direito Urbanístico Brasileiro**. 6ª ed. rev. e atual. São Paulo: Malheiros Editores, 2010.

SILVA, Solange Teles da. **O Direito Ambiental Internacional**. Belo Horizonte: Del Rey, 2010.

SÃO PAULO. Lei nº 14.933, de 5 de junho de 2009. Institui a Política de Mudança do Clima no Município de São Paulo. **Secretaria do Governo Municipal**, São Paulo, 5 jun. 2009.

THE WORLD BANK. **GUIDE TO CLIMATE CHANGE ADAPTATION IN CITIES**. Washington Dc: The World Bank, 2011.

TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosangela (Org.). **Desastres Naturais**: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Climate change**: impacts, vulnerabilities and adaptation in developing countries. Bonn: United Nations Framework Convention On Climate Change, 2007.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME. **Cities and Climate Change**: Global Report on Human Settlements 2011. Nairobi: Earthscan, 2011.

Recebido em: nov/2011  
Aprovado em: out/2013

# Método baseado em indicadores de sustentabilidade para escolha de estações de tratamento de esgoto

## Method based on technology library for sustainability assessment of wastewater treatment plants

### RESUMO

A incorporação da avaliação de sustentabilidade no processo decisório está se tornando uma tarefa fundamental no âmbito da gestão das águas. No entanto, quantificar ou operacionalizar a sustentabilidade pode ser um processo discutível. O papel dos indicadores de sustentabilidade é estruturar e comunicar informações sobre questões-chave e tendências consideradas relevantes para a tomada de decisão. Dentro deste contexto, o objetivo desta pesquisa é apresentar um método baseado em indicadores para a avaliação da sustentabilidade de estações de tratamento de esgoto na fase de projeto. Para isto, o conceito de biblioteca de tecnologia foi escolhido para agregar os parâmetros econômicos, sociais e ambientais dessas estações. O método aqui proposto demonstrou ter potencial para ser utilizado nas avaliações de sustentabilidade de estações de tratamento de esgoto.

**PALAVRAS-CHAVE:** biblioteca de tecnologias; sustentabilidade; tratamento de esgoto

### ABSTRACT

The incorporation of sustainability assessment in decision-making has become fundamental in the context of water management. However, it is difficult to quantify sustainability. The role of sustainability indicators is to communicate information, key issues and trends that are relevant to decision making. Considering these difficulties, the objective of this research is to present a method based on sustainability indicators to assess the sustainability of wastewater treatment plants performance at the design phase. For this, the concept of a technology library is used to aggregate the economic, social and environmental impacts of these plants. The method proposed here proved to have potential to be used in sustainability assessments.

**KEYWORDS:** library of technology, sustainability, sewage treatment

**Alexandre Bevilacqua Leoneti**

Doutor em Engenharia Civil Hidráulica e Saneamento (EESC/USP) e professor doutor no Departamento de Administração (FEA-RP/USP) Ribeirão Preto, SP, Brasil  
ableoneti@usp.br

**Sonia Valle Walter Borges de Oliveira**

Doutora em Administração de Empresas (FEA/USP) e professora associada no Departamento de Administração (FEA-RP/USP) Ribeirão Preto, SP, Brasil

**Eduardo Cleto Pires**

Doutor em Engenharia Civil Hidráulica e Saneamento (EESC/USP) e professor titular no Departamento de Engenharia Civil Hidráulica e Saneamento (EESC/USP) São Carlos, SP, Brasil

## INTRODUÇÃO

Desde a publicação do Relatório Brundtland “Nosso Futuro Comum”, pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1987, e da realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), em 1992, o conceito de sustentabilidade entrou na pauta das decisões da maioria das organizações no mundo inteiro (RAMETSTEINER *et al.*, 2011). No entanto, quantificar os critérios relativos à sustentabilidade é, na maioria das vezes, um processo discutível e possivelmente conflitante, devido à necessidade de atender às diversas características do problema. Segundo RAMETSTEINER *et al.* (2011), muitas ferramentas têm sido desenvolvidas para esta tarefa, mas estas diferem nos processos de sua construção: o processo político-administrativo ou o cientificamente orientado. Neste último, há uma tendência para ignorar ou subestimar o processo de negociação, colocando ênfase na concepção técnica e separando a ciência da política – aqui considerada como a habilidade no trato das relações humanas – com vista à obtenção dos resultados desejados. Todavia, a busca pela sustentabilidade deve estar baseada na tomada de decisão participativa, democrática, integrada e abrangente (STARKL; BRUNNER, 2004).

No âmbito da gestão das águas, as soluções para novos empreendimentos deveriam estar baseadas na avaliação técnica e na

posterior avaliação da sua sustentabilidade, devido principalmente às profundas implicações sociais, econômicas e ambientais das estações de tratamento (MAKROPOULOS *et al.*, 2008). A necessidade desta avaliação tem estimulado o desenvolvimento de novas ferramentas, que se baseiam em diversos tipos de indicadores para representar os diferentes aspectos da sustentabilidade (MEADOWS, 1998). Por meio destas ferramentas, cientistas, políticos, cidadãos e tomadores de decisão em geral podem monitorar as alterações nas dimensões-chave da sustentabilidade, possibilitando identificar tendências para cenários futuros (RAMETSTEINER *et al.*, 2011). A partir disto, as diferentes alternativas podem ser discutidas entre os diferentes agentes envolvidos na tomada de decisão, com a finalidade de se identificar qual delas atende todos os critérios exigidos, sem, no entanto, gerar impactos negativos nas regiões onde serão implantadas.

Desta forma, MAKROPOULOS *et al.* (2008) afirmam que a incorporação da avaliação de sustentabilidade nos processos decisórios se tornou uma tarefa fundamental para o serviço de água e seus prestadores. Todavia, também concordam que o desafio fundamental da incorporação desta avaliação da sustentabilidade não é essencialmente o técnico, mas sim o político, pois o conceito de sustentabilidade é normativo e a decisão sobre quem participará e quem decidirá no processo de desenvolvimento do indicador é crucial (RAMETSTEINER *et al.*, 2011).

Assim, segundo os autores, a adoção deste novo conceito trará sempre a necessidade de dar suporte aos envolvidos para realizarem uma avaliação mais objetiva de diferentes alternativas, tendo como foco a sustentabilidade.

Como uma contribuição para realizar esta avaliação de alternativas MAKROPOULOS *et al.* (2008) desenvolveram um software baseado em uma biblioteca denominada “Biblioteca de Tecnologia”. Esta biblioteca é a compilação de funções, na forma de blocos individuais, para estimar o desempenho de diferentes tecnologias de sistemas de tratamento de água ou esgoto, abrangendo os aspectos ambientais, econômicos e sociais da sustentabilidade. De forma específica, cada uma destas unidades – chamadas de “bloco” (figura 1) – representa uma tecnologia de tratamento e contém diversas funções, do tipo caixa preta, que são utilizadas para estimar o desempenho das tecnologias nos diversos aspectos considerados em sua avaliação. De forma mais ampla, estes blocos são agrupados de acordo com as afinidades tecnológicas para formar blocos compostos, que são chamados de sistemas. Estes blocos compostos representam diferentes tipos de sistemas, os quais podem ser avaliados com base em seus desempenhos nos múltiplos critérios considerados.

Dentro deste contexto, o objetivo desta pesquisa foi desenvolver em planilha eletrônica um método baseado em indicadores para a avaliação da sustentabilidade de estações de tratamento de



Figura 1 – Configuração dos blocos - Fonte: Makropoulos *et al.* (2008, p. 1454).

esgoto, utilizando o conceito de biblioteca de tecnologia proposto por MAKROPOULOS *et al.* (2008). Foram coletadas e são apresentadas funções para estimar os critérios econômicos, sociais e ambientais de diferentes tipos de tecnologias e processos para o tratamento de esgoto. Estas funções foram agrupadas com o objetivo de verificar a possibilidade da implementação desta biblioteca e, assim, permitir uma discussão mais objetiva sobre os conceitos de sustentabilidade na fase de projeto e tomada de decisão. O método proposto demonstrou ser facilmente aplicável o que lhe confere um potencial para ser utilizado nas avaliações de sustentabilidade de estações de tratamento de esgoto.

## METODOLOGIA

O presente estudo é uma pesquisa aplicada, com a criação e utilização de uma biblioteca de tecnologias para avaliar a sustentabilidade de estações de tratamento de esgoto. A pesquisa foi desenvolvida com o auxílio do *software* Excel®, onde foram definidas funções para estimar os diferentes aspectos da sustentabilidade de tecnologias e processos de tratamento de esgoto.

Estas funções foram agrupadas em blocos individuais, como proposto por MAKROPOULOS *et al.* (2008), considerando parâmetros econômicos, ambientais e sociais.

A escolha dos sistemas para compor esta biblioteca de tecnologia foi realizada a partir dos dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008), de onde foram selecionados os tipos de sistemas de tratamento mais utilizados no Brasil. A tabela 1 mostra estes tipos de sistemas de tratamento nos municípios brasileiros.

Dentre os doze principais sistemas de tratamentos empregados nos municípios brasileiros, nove foram incorporados ao modelo, não tendo sido incorporados à biblioteca os sistemas de Fossa Séptica, por se tratar de um sistema descentralizado, ou seja, que não permitiria a sua interação com outros sistemas individuais da biblioteca, bem como Valo de Oxidação e Lagoa Mista, devido à pequena representatividade na amostra destes dois últimos sistemas. Embora possuindo também uma baixa representatividade, o sistema *Wetland* foi incorporado, pois representa um tipo de pós-

tratamento que pode ser adicionado ao final dos tratamentos convencionais para aumentar o desempenho do sistema como um todo. Ainda, devido a uma diferença entre dois sistemas encontrados na literatura (VON SPERLING, 2006), também foi inserida uma variação do sistema de Filtro Biológico e outra do sistema de Lodos Ativados. Por fim, foi adicionado um sistema de tratamento preliminar, o que completou os doze sistemas considerados nesta pesquisa: (i) Preliminar; (ii) Filtro biológico (baixa carga); (iii) Filtro biológico (alta carga); (iv) Lodo ativado (convencional); (v) Lodo ativado (aeração prolongada); (vi) Reator anaeróbio (UASB); (vii) Lagoa anaeróbia; (viii) Lagoa aerada (facultativa); (ix) Lagoa aerada (aeróbia); (x) Lagoa facultativa; (xi) Lagoa de maturação; e (xii) *Wetland*.

Os critérios considerados para cada sistema foram selecionados a partir da identificação de indicadores recorrentes entre os sistemas de indicadores de sustentabilidade para estações de tratamento de esgoto propostos por ALEGRE *et al.* (2007), MUGA e MIHELICIC (2008), VIDAL *et al.* (2002), KELLNER, CALIJURI e PIRES (2009) e MAKROPOULOS *et al.* (2008). Para isto, foi selecionado um

Tabela 1 – Principais tipos de sistemas de tratamento nos municípios brasileiros

Sistema	Quantidade
Lagoa facultativa	672
Reator anaeróbio	565
Lagoa anaeróbia	431
Filtro biológico	317
Lagoa de maturação	238
Lodo ativado	188
Lagoa aeróbia	131
Fossa séptica	109
Lagoa aerada	93
Lagoa mista	65
Valo de oxidação	27
Wetland	20
Outros	129

Fonte: adaptado de IBGE (2008)



Tabela 2 – Critérios escolhidos para compor o indicador de sustentabilidade

Muga and Mihelcic (2008)	Alegre et al. (2007)	Vidal et al. (2002)	Makropoulos et al. (2008)	Kellner et al. (2009)	Critérios escolhidos
<b>Critérios econômicos</b>					
Custo de implantação	Custo de implantação	Investimento	Custo de implantação	Custo total	<b>Custo de implantação</b>
Operação e manutenção	Operação e manutenção	Operação e manutenção	Custos operacionais	-	<b>Custo de operação e manutenção</b>
Custo para o usuário	-	-	Capacidade de pagamento	Tarifa med. praticada	<b>Custo para o usuário</b>
<b>Critérios ambientais</b>					
Uso de energia	Consumo de energia	Consumo de energia	Uso de energia	-	<b>Consumo de energia</b>
DBO	DBO	DBO	Desempenho	DBO	<b>Remoção DBO</b>
N	Nitrogênio total	-	-	N	<b>Remoção N</b>
P	Fósforo total	-	-	P	<b>Remoção P</b>
-	Produção de lodo	Geração de lodo	-	-	<b>Produção de lodo</b>
<b>Critérios sociais</b>					
Nível de odor	Odor	Odor	-	-	<b>Nível de odor</b>
Espaço livre disponível	-	-	Uso do espaço	-	<b>Espaço necessário</b>
Pessoal necessário	Empregados por população	-	-	-	<b>Funcionários requeridos</b>

indicador de sustentabilidade que serviu como base de comparação entre os sistemas de indicadores, tendo sido escolhidos os propostos por MUGA e MIHELICIC (2008) devido à sua estrutura, dividida entre critérios sociais, ambientais e econômicos, e seu número adequado e balanceado de variáveis entre as dimensões de sustentabilidade. A tabela 2 apresenta os critérios escolhidos como indicadores, baseados no indicador de sustentabilidade proposto por MUGA e MIHELICIC (2008).

Finalmente, os valores para os critérios selecionados foram coletados na literatura a partir de, basicamente, duas maneiras: (i) por meio de funções ou modelos determinísticos; ou (ii) por meio de funções ou modelos heurísticos, através de funções de

transformação empíricas. Em ambas as formas, dado, por exemplo, a quantidade de uma determinada variável de entrada (afluente), a função ou modelo estima o seu valor após o tratamento (efluente), conforme a figura 1 anteriormente apresentada.

#### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentre os critérios escolhidos para compor a biblioteca de tecnologia utilizada nesta pesquisa, os indicadores “custo de implantação”, “custo de operação e manutenção” e “custo para o usuário” foram selecionados para representar a dimensão econômica das estações de tratamento de esgoto. O indicador “Custo de implantação” representa o custo em reais estimado para instalar cada sistema individualmente em um

município baseado no número de habitantes. De forma semelhante, o indicador “Custo de operação e manutenção” estima o custo anual em reais para a operação e manutenção de cada sistema individual, também em função do número de habitantes. Finalmente, o indicador “Custo para o usuário” estima, em reais, qual o valor médio da tarifa ou taxa que o município cobra por cada sistema individual ao ano.

Em sua maior parte, os indicadores econômicos foram encontrados na literatura na forma de funções determinísticas, embora para estimar o indicador “Custo para o usuário” tenha sido necessário utilizar dados consolidados do relatório Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto 2009 do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS, 2009), fazendo-

Tabela 3 – Funções para os critérios econômicos

Sistema	Função original	Função adaptada	Fonte
<b>Custo de implantação</b>			
Preliminar	30-50 R\$/hab	50 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (baixa carga)	120-150 R\$/hab	168 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (alta carga)	120-150 R\$/hab	168 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (convencional)	100-160 R\$/hab	162 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (aeração prolong.)	90-120 R\$/hab	131 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Reator anaeróbio (UASB)	30-50 R\$/hab	50 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa anaeróbia	30-75 R\$/hab	45 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (facultativa)	50-90 R\$/hab	87 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (aeróbia)	65-100 R\$/hab	103 R\$/hab *	Jordão; Pessôa, 2009, p 852
Lagoa facultativa	30-75 R\$/hab	65 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa de maturação	20-25 R\$/hab	28 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
<i>Wetland</i>	50-80 R\$/hab	81 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
<b>Custo de operação e manutenção</b>			
Preliminar	1,5-2,5 R\$/hab	2,5 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (baixa carga)	10-15 R\$/hab	15,6 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (alta carga)	10-15 R\$/hab	15,6 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (convencional)	10-20 R\$/hab	18,7 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (aeração prolong.)	10-20 R\$/hab	18,7 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Reator anaeróbio (UASB)	2,5-3,5 R\$/hab	3,7 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa anaeróbia	2-4 R\$/hab	3,5 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (facultativa)	5-9 R\$/hab	8,7 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (aeróbia)	5-9 R\$/hab	8,7 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa facultativa	2-4 R\$/hab	3,7 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa de maturação	0,5-1 R\$/hab	0,9 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
<i>Wetland</i>	2,5-4 R\$/hab	4,1 R\$/hab *	Von Sperling, 2006, p 340
<b>Custo para o usuário</b>			
Preliminar	2,43 US\$/hab	7,0 R\$/hab	LEONETI (2009)
Filtro biológico (baixa carga)	63 casos; R <sup>2</sup> =0,45	17,94 R\$/hab	SINIS (2009)
Filtro biológico (alta carga)	63 casos; R <sup>2</sup> =0,45	17,94 R\$/hab	SINIS (2009)
Lodo ativado (convencional)	45 casos; R <sup>2</sup> =0,96	54,72 R\$/hab	SINIS (2009)
Lodo ativado (aeração prolong.)	45 casos; R <sup>2</sup> =0,96	54,72 R\$/hab	SINIS (2009)
Reator anaeróbio (UASB)	179 casos; R <sup>2</sup> =0,63	24,92 R\$/hab	SINIS (2009)
Lagoa anaeróbia	18 casos; R <sup>2</sup> =0,86	10,87 R\$/hab	SINIS (2009)
Lagoa aerada (facultativa)	10 casos; R <sup>2</sup> =0,94	21,38 R\$/hab	SINIS (2009)
Lagoa aerada (aeróbia)	10 casos; R <sup>2</sup> =0,93	27,32 R\$/hab	SINIS (2009)
Lagoa facultativa	117 casos; R <sup>2</sup> =0,59	22,67 R\$/hab	SINIS (2009)
Lagoa de maturação	7 casos; R <sup>2</sup> =0,75	8,64 R\$/hab	SINIS (2009)
<i>Wetland</i>	Média dos 3 casos	20,41 R\$/hab	SINIS (2009)

Notas: (\*) os valores médios foram atualizados de janeiro/2006 para janeiro/2009 pelo Índice Nacional de Custo da Construção (INCC), que apresentou variação de 24,73% no período

se uma regressão entre a variável independente “População total do município” e a variável dependente “Receita operacional direta de esgoto” deste relatório. As funções das variáveis “Custo de implantação” e “Custo de operação e manutenção” foram facilmente encontradas e receberam, em sua maior parte, valores médios entre os mínimos e máximos sugeridos na

literatura. Todavia, os valores referentes às lagoas anaeróbias, devido à amplitude de sua variação entre o custo mínimo e máximo, foram definidos utilizando-se 120% do valor mínimo para sua composição. Finalmente, estes valores foram corrigidos pelo Índice Nacional de Custo da Construção de Janeiro/2006 para Janeiro/2009, o qual variou 24,73% no período. A

tabela 3 apresenta as funções definidas para os critérios econômicos e suas versões originais, além da quantidade de casos analisados e o índice R<sup>2</sup> (coeficiente de determinação na amostra) alcançado pela regressão para o caso específico da variável “Custo para o usuário”.

Para representar a dimensão ambiental das estações de

Tabela 4 – Funções para os critérios ambientais

Sistema	Função original	Função adaptada	Fonte
<b>Consumo de energia</b>			
Preliminar	0 kWh/hab	0 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (baixa carga)	0 kWh/hab	0 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (alta carga)	0 kWh/hab	0 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (convencional)	18-26 kWh/hab	22 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (aeração prolong.)	20-35 kWh/hab	27,5 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Reator anaeróbio (UASB)	0 kWh/hab	0 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa anaeróbia	0 kWh/hab	0 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (facultativa)	11-18 kWh/hab	14,5 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (aeróbia)	20-24 kWh/hab	21 kWh/hab	Jordão; Pessôa, 2009, p 852
Lagoa facultativa	0 kWh/hab	0 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa de maturação	0 kWh/hab	0 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
<i>Wetland</i>	0 kWh/hab	0 kWh/hab	Von Sperling, 2006, p 340
<b>Eficiência de remoção de DBO</b>			
Preliminar	30-35% DBO	32,5% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Filtro biológico (baixa carga)	85-93% DBO	89% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Filtro biológico (alta carga)	80-90% DBO	85% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Lodo ativado (convencional)	85-93% DBO	89% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Lodo ativado (aeração prolong.)	90-97% DBO	93,5% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Reator anaeróbio (UASB)	60-75% DBO	67% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa anaeróbia	50-85% DBO	65% DBO	Metcalf; Eddy, 1991, p 645
Lagoa aerada (facultativa)	75-85% DBO	80% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa aerada (aeróbia)	50-60% DBO	55% DBO	Jordão; Pessôa, 2009, p 797
Lagoa facultativa	75-85% DBO	80% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa de maturação	60-80% DBO	70% DBO	Metcalf; Eddy, 1991, p 645
<i>Wetland</i>	80-90% DBO	85% DBO	Von Sperling, 2006, p 339
<b>Eficiência de remoção de N</b>			
Preliminar	5-10% N	7,5% N	Metcalf; Eddy, 1991, p 692
Filtro biológico (baixa carga)	15-50% N	32,5% N	Metcalf; Eddy, 1991, p 170
Filtro biológico (alta carga)	15-50% N	32,5% N	Metcalf; Eddy, 1991, p 170
Lodo ativado (convencional)	15-50% N	32,5% N	Metcalf; Eddy, 1991, p 170
Lodo ativado (aeração prolong.)	15-50% N	32,5% N	Metcalf; Eddy, 1991, p 170
Reator anaeróbio (UASB)	60% N	60% N	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa anaeróbia	60% N	60% N	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa aerada (facultativa)	30% N	30% N	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa aerada (aeróbia)	30% N	30% N	Jordão; Pessôa, 2009, p 797
Lagoa facultativa	60% N	60% N	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa de maturação	50-65% N	57,5% N	Von Sperling, 2006, p 339
<i>Wetland</i>	60% N	60% N	Von Sperling, 2006, p 339
<b>Eficiência de remoção de P</b>			
Preliminar	10-20% P	15% P	Metcalf; Eddy, 1991, p 695
Filtro biológico (baixa carga)	35% P	35% P	Von Sperling, 2006, p 339
Filtro biológico (alta carga)	35% P	35% P	Von Sperling, 2006, p 339
Lodo ativado (convencional)	10-25% P	17,5% P	Metcalf; Eddy, 1991, p 695
Lodo ativado (aeração prolong.)	10-25% P	17,5% P	Metcalf; Eddy, 1991, p 695
Reator anaeróbio (UASB)	35% P	35% P	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa anaeróbia	35% P	35% P	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa aerada (facultativa)	35% P	35% P	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa aerada (aeróbia)	35% P	35% P	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa facultativa	35% P	35% P	Von Sperling, 2006, p 339
Lagoa de maturação	50% P	50% P	Von Sperling, 2006, p 339
<i>Wetland</i>	35% P	35% P	Von Sperling, 2006, p 339

Tabela 4 – Funções para os critérios ambientais (cont.)

Produção de lodo			
Preliminar	110-360 L/hab	235 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (baixa carga)	360-1100 L/hab	730 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (alta carga)	500-1900 L/hab	1200 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (convencional)	1100-3000 L/hab	2050 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (aeração prolong.)	1200-2000 L/hab	1600 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Reator anaeróbio (UASB)	70-220 L/hab	145 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa anaeróbia	55-160 L/hab	107,5 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (facultativa)	30-220 L/hab	125 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (aeróbia)	55-360 L/hab	207,5 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa facultativa	55-160 L/hab	107,5 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa de maturação	55-160 L/hab	107,5 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340
<i>Wetland</i>	0 L/hab	0 L/hab	Von Sperling, 2006, p 340

foram escolhidos os indicadores consumo de energia, eficiência de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), eficiência de remoção de Nitrogênio (N), eficiência de remoção de Fósforo (P) e produção de lodo. O indicador “Consumo de energia” representa uma estimativa do consumo de energia anual, em kWh, para o tratamento do esgoto de cada município, ou seja, como todos os indicadores econômicos apresentados, este indicador varia também em função da população. O mesmo ocorre com o indicador “Produção de lodo”, que fornece uma estimativa de produção em litros de lodo por ano para cada sistema individual, com base na quantidade de habitantes do município. Por sua vez, os indicadores “Eficiência de remoção de DBO”, “Eficiência de remoção de N” e “Eficiência de remoção de P”, representam uma estimativa de remoção, em porcentagem, da DBO, do Nitrogênio e do Fósforo, que são encontrados no afluente de cada sistema individual, respectivamente. Desta forma, as variáveis de entrada passaram a ser, até aqui: (i) população; (ii) DBO afluente; (iii) N afluente; e (iv) P afluente.

Os valores para os critérios ambientais foram mais facilmente encontrados na literatura, possuindo apenas algumas variações entre os diferentes autores e também receberam valores médios entre os mínimos e máximos sugeridos. A

tabela 4 apresenta as funções definidas para os parâmetros ambientais e suas versões originais.

Finalmente, os indicadores “nível de odor”, “espaço necessário” e “funcionários requeridos” foram escolhidos para representar a dimensão social das estações de tratamento de esgoto. O indicador “Nível de odor” não possui uma escala quantitativa como os outros critérios vistos até aqui e por isto foi estabelecido a partir da opinião coletada por meio de entrevista com um especialista da área de projetos utilizando-se de uma escala entre 1 e 4 pontos, sendo um a melhor pontuação e quatro a pior pontuação possível. Quando considerados dois ou mais sistemas, a média entre as notas de cada sistema é utilizada como padrão. Também neste caso, quanto menor a pontuação alcançada, melhor será o sistema. O indicador “Espaço necessário” representa a área necessária em metros quadrados estimada para a instalação de cada sistema individual, com base no número de habitantes. Por fim, o indicador “Funcionários requeridos” representa o total de funcionários necessários para operar a estação de tratamento de esgoto com base na vazão afluente, em metros cúbicos, e esta passou a ser a quinta variável de entrada do sistema: (i) população; (ii) DBO afluente; (iii) N afluente; e (iv) P afluente; (v) vazão média afluente.

Os valores para os indicadores sociais foram os de maior dificuldade de obtenção por falta na literatura de trabalhos especializados. Com exceção do indicador “Espaço necessário”, que foi facilmente encontrado na literatura, os indicadores “Nível de odor” e “Funcionários requeridos” exigiram uma busca maior, tendo sido o último de maior complexidade. Assim, o indicador que estima o nível de odor foi definido com base na opinião de um especialista. Todavia, o mesmo não pode ser replicado para estimar a quantidade de trabalhadores. Desta forma, a quantidade de trabalhadores foi determinada empiricamente, utilizando-se do *software* em planilha eletrônica *WWTPStaffing* (GESELBRACHT, 2006), que permite o cálculo de operários em uma estação de tratamento de esgoto baseado na publicação “*Estimating Staffing for Municipal Wastewater Treatment Facilities*”, de março de 1973, da *Environmental Protection Agency* (EPA). A tabela 5 apresenta as funções definidas para os critérios sociais e suas versões originais.

Os valores coletados e apresentados nas tabelas anteriores foram suficientes para proporcionar uma medida razoável de estimação dos diversos critérios considerados na composição do indicador de sustentabilidade. Desta forma, vale ressaltar que devido à complexidade de estimação destes critérios,

Tabela 5 – Funções para os critérios sociais

Sistema	Função original	Função adaptada	Fonte
<b>Nível de odor</b>			
Preliminar	-	2 pt *	Opinião de especialista
Filtro biológico (baixa carga)	+ -	2 pt	Opinião de especialista
Filtro biológico (alta carga)	+ -	2 pt	Opinião de especialista
Lodo ativado (convencional)	-	1 pt	Opinião de especialista
Lodo ativado (aeração prolong.)	-	1 pt	Opinião de especialista
Reator anaeróbio (UASB)	++	4 pt	Opinião de especialista
Lagoa anaeróbia	++	4 pt	Opinião de especialista
Lagoa aerada (facultativa)	+	3 pt	Opinião de especialista
Lagoa aerada (aeróbia)	+	3 pt	Opinião de especialista
Lagoa facultativa	+	3 pt	Opinião de especialista
Lagoa de maturação	+ -	2 pt	Opinião de especialista
<i>Wetland</i>	-	1 pt	Opinião de especialista
<b>Espaço necessário</b>			
Preliminar	0,03-0,05 m <sup>2</sup> /hab	0,04 m <sup>2</sup> /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (baixa carga)	0,15-0,3 m <sup>2</sup> /hab	0,22 m <sup>2</sup> /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Filtro biológico (alta carga)	0,12-0,25 m <sup>2</sup> /hab	0,18 m <sup>2</sup> /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (convencional)	0,12-0,25 m <sup>2</sup> /hab	0,18 m <sup>2</sup> /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lodo ativado (aeração prolong.)	0,12-0,25 m <sup>2</sup> /hab	0,18 m <sup>2</sup> /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Reator anaeróbio (UASB)	0,03-0,1 m <sup>2</sup> /hab	0,07 m <sup>2</sup> /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa anaeróbia	1,5-3 m <sup>2</sup> /hab	2,25 m <sup>2</sup> /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (facultativa)	0,25-0,5 m <sup>2</sup> /hab	0,37 m <sup>2</sup> /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa aerada (aeróbia)	0,2-0,4 m <sup>2</sup> /hab	0,3 m <sup>2</sup> /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa facultativa	2-4 m <sup>2</sup> /hab	3 m <sup>2</sup> /hab	Von Sperling, 2006, p 340
Lagoa de maturação	1,5-2 m <sup>2</sup> /hab	1,75 m <sup>2</sup> /hab	Von Sperling, 2006, p 340
<i>Wetland</i>	3-5 m <sup>2</sup> /hab	4 m <sup>2</sup> /hab	Von Sperling, 2006, p 340
<b>Funcionários requeridos</b>			
Preliminar	0,00001 m <sup>3</sup> /d	0,00001 m <sup>3</sup> /d	Geselbracht, 2006
Filtro biológico (baixa carga)	0,00005 m <sup>3</sup> /d	0,00005 m <sup>3</sup> /d	Geselbracht, 2006
Filtro biológico (alta carga)	0,00005 m <sup>3</sup> /d	0,00005 m <sup>3</sup> /d	Geselbracht, 2006
Lodo ativado (convencional)	0,00009 m <sup>3</sup> /d	0,00009 m <sup>3</sup> /d	Geselbracht, 2006
Lodo ativado (aeração prolong.)	0,00009 m <sup>3</sup> /d	0,00009 m <sup>3</sup> /d	Geselbracht, 2006
Reator anaeróbio (UASB)	0,00003 m <sup>3</sup> /d	0,00003 m <sup>3</sup> /d	Geselbracht, 2006
Lagoa anaeróbia	0,00001 m <sup>3</sup> /d	0,00001 m <sup>3</sup> /d	Geselbracht, 2006
Lagoa aerada (facultativa)	0,00002 m <sup>3</sup> /d	0,00002 m <sup>3</sup> /d	Geselbracht, 2006
Lagoa aerada (aeróbia)	0,00002 m <sup>3</sup> /d	0,00002 m <sup>3</sup> /d	Geselbracht, 2006
Lagoa facultativa	0,00001 m <sup>3</sup> /d	0,00001 m <sup>3</sup> /d	Geselbracht, 2006
Lagoa de maturação	0,00001 m <sup>3</sup> /d	0,00001 m <sup>3</sup> /d	Geselbracht, 2006
<i>Wetland</i>	0,00001 m <sup>3</sup> /d	0,00001 m <sup>3</sup> /d	Geselbracht, 2006

Notas: (\*) parâmetro ajustado de 1 para 2 devido a presença de odores, particularmente grades e caixas de areia

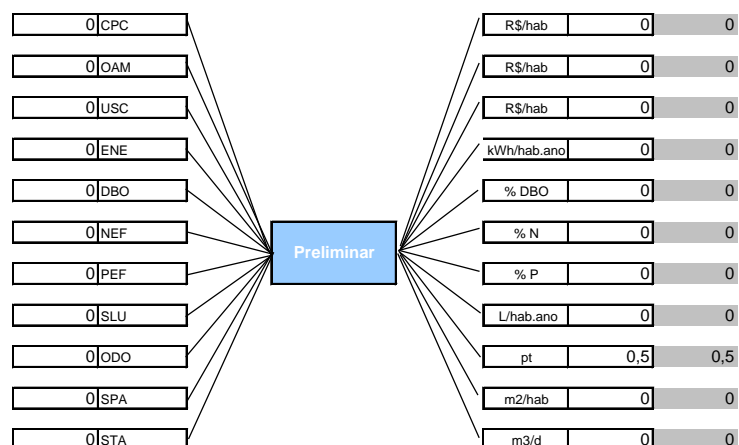
somada à proposta de agregação dos sistemas individuais, ou seja, a estimação dos sistemas utilizando os dados de saída do sistema imediatamente anterior, faz com que sua utilização sirva para exemplificar a teoria proposta nesta pesquisa.

Desta forma, a partir da coleta dos valores para a composição das funções para todos os indicadores selecionados, um

exemplo foi desenvolvido considerando um município fictício com aproximadamente 40 mil habitantes e com a necessidade de implantar uma estação de tratamento de esgoto. A biblioteca de tecnologias foi criada com as funções encontradas para os sistemas preliminares, primários, secundários e terciários (polimento). A figura 2 apresenta a estrutura geral de cada uma destas funções.

Os blocos criados foram: (i) Preliminar; (ii) Filtro biológico (baixa carga); (iii) Filtro biológico (alta carga); (iv) Lodo ativado (convencional); (v) Lodo ativado (aeração prolongada); (vi) Reator anaeróbio (UASB); (vii) Lagoa anaeróbia; (viii) Lagoa aerada (facultativa); (ix) Lagoa aerada (aeróbia); (x) Lagoa facultativa; (xi) Lagoa de maturação; e (xii) *Wetland*. Finalmente, os arranjos desses

Figura 2 – Estrutura geral das funções (exemplo do sistema preliminar)



Notas: CPC = Custo de implantação (R\$); OAM = Custo de operação e manutenção (R\$); USC = Custo para o usuário (R\$); ENE= Consumo de energia (kWh); DBO = Eficiência remoção DBO (mg/L); NEF = Eficiência remoção Nitrogênio (mg/L); PEF = Eficiência remoção Fósforo (mg/L); SLU = Produção de lodo (L); ODO = Nível de odor (pts); SPA = Espaço necessário (m<sup>2</sup>); STA = Mão-de-obra requerida

Tabela 6 – Sistemas criados a partir dos blocos individuais da biblioteca de tecnologias

Nome do sistema	Pré-tratamento	1º Processo	2º Processo	Polimento
Sistema A	Preliminar	UASB	Lodo ativado (convencional)	
Sistema B	Preliminar	UASB	Lagoa facultativa	
Sistema C	Preliminar	UASB	Filtro biológico (alta carga)	
Sistema D	Preliminar	UASB	Lagoa aerada (aeróbia)	
Sistema E	Preliminar	UASB	Lagoa aerada (facultativa)	
Sistema F	Preliminar	Lagoa anaeróbia	Lagoa facultativa	
Sistema G	Preliminar	Lagoa anaeróbia	Lagoa aerada (aeróbia)	
Sistema H	Preliminar	Lagoa anaeróbia	Lagoa aerada (facultativa)	
Sistema I	Preliminar	UASB	Lodo ativado (aeração prolongada)	
Sistema J	Preliminar	UASB	Filtro biológico (baixa carga)	
Sistema K	Preliminar	UASB	Lagoa facultativa	Lagoa de maturação
Sistema L	Preliminar	Lagoa anaeróbia	Lagoa facultativa	Lagoa de maturação
Sistema M	Preliminar	UASB	Lodo ativado (convencional)	Wetland
Sistema N	Preliminar	UASB	Lodo ativado (aeração prolongada)	Wetland

blocos tiveram como base os sistemas considerados no modelo ETEX (OLIVEIRA, 2004; LEONETI, 2009) e a inclusão de sete novos (do “I” ao “N”), os quais foram utilizados para criar o arranjo de 14 sistemas, que podem ser visualizados na tabela 6.

Finalmente, com base nos dados de entrada aproximados para um município deste porte, a saber: população de 40 mil habitantes; concentração de DBO afluente de 350 mg/L; concentração de Nitrogênio afluente de 100 mg/L; concentração de Fósforo afluente de

50 mg/L; e vazão afluente de 14 mil m<sup>3</sup>/d, os 14 sistemas apresentaram os desempenhos que podem ser visualizados na tabela 7.

A partir dos desempenhos calculados pelas funções da biblioteca de tecnologias, a avaliação das alternativas mais sustentáveis pode ser realizada. Por exemplo, para o município em avaliação, a alternativa mais viável do ponto de vista do operador ou prestador de serviços de saneamento seria o “Sistema F”, que necessita apenas de aproximadamente R\$ 6,4 milhões

para sua implantação e R\$ 388 mil anuais para sua operação e manutenção, sendo estes os menores custos entre todos os sistemas. Por outro lado, este sistema não é o mais barato para o usuário final, sendo o “Sistema H” o mais viável para municípios com população de baixa renda *per capita*. Este tipo de discussão pode ser expandido quando considerados os critérios ambientais. Por exemplo, o “Sistema B”, que possui o segundo menor custo de implantação, operação e manutenção dentre os sistemas, perde no desempenho

ambiental quando comparado com os sistemas “M” ou “N”, que possuem a melhor eficiência na remoção de DBO. Enquanto o efluente do “Sistema B” tem uma concentração de DBO em torno de 15 mg/L, os sistemas “M” e “N” têm uma concentração por volta de 1,29 e 0,76 mg/L de DBO, respectivamente<sup>1</sup>.

Este tipo de avaliação pode ser ampliado para todos os sistemas. De acordo com a tabela 8, que apresenta a classificação crescente dos sistemas em cada critério, nenhum dos sistemas alcançou uma posição ótima para todos os requisitos. Este, aliás, é o grande

desafio da incorporação da avaliação da sustentabilidade no processo de tomada de decisão de sistemas de tratamento de esgoto. Enquanto um determinado sistema pode atender de maneira adequada um dos critérios da sustentabilidade, por exemplo, o econômico (como o “Sistema F”), ele pode não atender de forma satisfatória os outros critérios da sustentabilidade (ambiental e social) de forma satisfatória. Além disso, se for considerada uma medida como a média aritmética para identificar qual seria o melhor sistema em todos os critérios de forma global, pode-se criar uma situação como a

entre os sistemas em prol da tomada de decisão. Esta dificuldade de se estabelecer cientificamente qual seria o melhor sistema a ser adotado, traz em pauta a necessidade da incorporação do processo de negociação como etapa complementar do processo de tomada de decisão.

Soma-se ainda a problemática, o fato de que cada agente pode ter opiniões distintas e, conseqüentemente, prioridades diferentes de atendimento aos critérios. Por exemplo, para o critério “STA = Mão de obra requerida” um agente poderia determinar como maior impacto

Tabela 7 – Desempenho dos sistemas

	Critérios econômicos				Critérios ambientais				Critérios sociais		
	CPC (mil)	OAM (mil)	USC (mil)	ENE (mil)	DBO	NEF	PEF	SLU (mil)	ODO	SPA (mil)	STA
<b>Sistema A</b>	10.480	996	3.465	880	38,50	67,50	41,25	97,20	0,50	11,60	1,82
<b>Sistema B</b>	6.600	396	2.183	-	15,59	14,80	17,96	19,50	2,75	124,40	0,70
<b>Sistema C</b>	10.720	872	1.994	-	11,69	24,98	17,96	63,20	2,25	11,60	1,26
<b>Sistema D</b>	8.120	596	2.369	840	35,08	25,90	17,96	23,50	2,75	16,40	0,84
<b>Sistema E</b>	7.480	596	2.132	580	15,59	25,90	17,96	20,20	2,75	19,20	0,84
<b>Sistema F</b>	6.400	388	1.621	-	16,54	14,80	17,96	18,00	2,75	211,60	0,42
<b>Sistema G</b>	7.920	588	1.807	840	37,21	25,90	17,96	22,00	2,75	103,60	0,56
<b>Sistema H</b>	7.280	588	1.570	580	16,54	25,90	17,96	18,70	2,75	106,40	0,56
<b>Sistema I</b>	9.240	996	3.465	1.100	5,07	24,98	22,79	79,20	1,75	11,60	1,82
<b>Sistema J</b>	10.720	872	1.994	-	8,58	24,98	17,96	44,40	2,25	13,20	1,26
<b>Sistema K</b>	7.720	432	2.529	-	4,68	6,29	8,98	23,80	2,38	194,40	0,84
<b>Sistema L</b>	7.520	424	1.967	-	4,96	6,29	8,98	22,30	2,38	281,60	0,56
<b>Sistema M</b>	13.720	1.160	4.282	880	1,29	9,99	14,81	97,20	1,38	171,60	1,96
<b>Sistema N</b>	12.480	1.160	4.282	1.100	0,76	9,99	14,81	79,20	1,38	171,60	1,96

Notas: CPC = Custo de implantação (R\$); OAM = Custo de operação e manutenção (R\$); USC = Custo para o usuário (R\$); ENE= Consumo de energia (kWh); DBO = Eficiência remoção DBO (mg/L); NEF = Eficiência remoção Nitrogênio (mg/L); PEF = Eficiência remoção Fósforo (mg/L); SLU = Produção de lodo (L); ODO = Nível de odor (pts); SPA = Espaço necessário (m2); STA = Mão de obra requerida.

<sup>1</sup> Ressalta-se que estas estimativas estão sendo apresentadas não como uma representação inequívoca da realidade, mas apenas como uma base da discussão do exemplo proposto

apresentada na referida tabela, onde grande parte dos sistemas alcançaria uma classificação intermediária (entre 5 e 8), impossibilitando uma discriminação

social um maior número de empregados, pois veria esta questão como custos maiores. Por outro lado, um segundo agente poderia enxergar o mesmo critério de forma



Tabela 8 – Desempenho dos sistemas (ordem crescente)

	Critérios econômicos			Critérios ambientais				Critérios sociais				
	CPC	OAM	USC	ENE			SLU	SPA				
	(mil)	(mil)	(mil)	(mil)	DBO	NEF	PEF	(mil)	ODO	(mil)	STA	Média
Sistema A	10	11	11	5	14	14	14	13	<u>1*</u>	<u>1*</u>	11	10
Sistema B	2	2	8	-	8	5	5	3	9	9	5	6
Sistema C	11	9	5	-	7	7	5	10	5	<u>1*</u>	9	7
Sistema D	8	7	9	3	12	10	5	7	9	5	6	7
Sistema E	4	7	7	<u>1*</u>	8	10	5	4	9	6	6	6
Sistema F	<u>1*</u>	<u>1*</u>	2	-	10	5	5	1	9	13	<u>1*</u>	5
Sistema G	7	5	3	3	13	10	5	5	9	7	2	6
Sistema H	3	5	<u>1*</u>	<u>1*</u>	10	10	5	2	9	8	2	5
Sistema I	9	11	11	7	5	7	13	11	4	<u>1*</u>	11	8
Sistema J	11	9	5	-	6	7	5	9	5	4	9	7
Sistema K	6	4	10	-	3	<u>1*</u>	<u>1*</u>	8	7	12	6	6
Sistema L	5	3	4	-	4	<u>1*</u>	<u>1*</u>	6	7	14	2	5
Sistema M	14	13	13	5	2	3	3	13	2	10	13	8
Sistema N	13	13	13	7	<u>1*</u>	3	3	11	2	10	13	8

Notas: CPC = Custo de implantação (R\$); OAM = Custo de operação e manutenção (R\$); USC = Custo para o usuário (R\$); ENE= Consumo de energia (kWh); DBO = Eficiência remoção DBO (mg/L); NEF = Eficiência remoção Nitrogênio (mg/L); PEF = Eficiência remoção Fósforo (mg/L); SLU = Produção de lodo (L); ODO = Nível de odor (pts); SPA = Espaço necessário (m2); STA = Mão de obra requerida.

positiva, ou seja, levaria em conta os benefícios de se empregar um maior número de funcionários. Esta controvérsia pode se replicar em outros tipos de critérios, por exemplo, “SPA = Espaço necessário”. Assim, de acordo com MEADOWS (1998), o tipo de ferramenta apresentado nesta pesquisa pode enriquecer o processo de tomada de decisão, pois torna possível a incorporação da negociação no processo da escolha de sistemas de tratamento de esgoto. Além disto, esta ferramenta permite uma discussão mais objetiva dos conceitos de sustentabilidade, o que poderia ajudar a diminuir a resistência dos envolvidos na escolha dos sistemas de tratamento.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um método baseado em indicadores para a avaliação da sustentabilidade de estações de tratamento de esgoto, utilizando o conceito de biblioteca de tecnologia.

A utilização de bibliotecas de tecnologia demonstrou ter potencial para a avaliação da sustentabilidade das estações de tratamento de esgoto, pois permite considerar diferentes critérios, por exemplo, os econômicos com os ambientais e/ou sociais, e evidencia as principais vantagens e desvantagens das diversas alternativas consideradas no processo de tomada de decisão. Esta constatação ganha evidência quando considerados dois sistemas diferentes, sendo um mais bem avaliado no aspecto econômico e outro mais bem avaliado no aspecto ambiental, o que torna necessário a negociação entre os agentes envolvidos na escolha, a qual poderia ser orientada, por exemplo, por meio da Teoria dos Jogos. Um maior detalhamento deste outro tipo de abordagem já está sendo preparado pelos presentes autores na forma de um artigo científico.

Com relação aos critérios que foram coletados na literatura para a avaliação da sustentabilidade,

as funções para os indicadores sociais são as de maior dificuldade de obtenção, sendo as funções das variáveis econômicas obtidas com dificuldade intermediária e as funções das variáveis ambientais mais facilmente obtidas, possuindo algumas variações entre diferentes autores na literatura. Para a aplicação e teste do método, as tecnologias de tratamento mais comumente adotadas no Brasil foram encontradas na tabela da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico e foram incorporados à biblioteca de tecnologias na forma de blocos individuais.

O método aqui proposto, com seus blocos de sistemas e funções para a avaliação dos critérios da sustentabilidade, demonstrou potencial para ser utilizado nas avaliações de sustentabilidade ou como ponto de partida para outros trabalhos semelhantes nesta área de conhecimento ou outras afins. Outra característica identificada é que o método torna possível uma

discussão mais objetiva sobre os conceitos de sustentabilidade. Todavia, ressalta-se que as funções apresentadas neste trabalho serviram principalmente como base para a aplicação do método proposto em um caso hipotético. Sendo assim, sugere-se que em estudos futuros estas funções sejam aprimoradas.

Um problema de origem conceitual com relação aos resultados, é que a eficiência total foi considerada resultante da associação de processos de tratamento e das respectivas eficiências adotadas para cada um deles. Entretanto, após um processo, dever ser considerado que o efluente pode apresentar substâncias mais recalcitrantes à biodegradação o que tornaria a eficiência menor no processo subsequente. Esta é uma das limitações do trabalho, que não impediu a aplicação e teste do método, mas que torna necessária sua redefinição para estudos que necessitem de maior detalhamento e precisão.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP pela bolsa de doutorado concedida a Alexandre Bevilacqua Leoneti ao CNPq pela bolsa PQ1 concedida a Eduardo Cleto Pires.

## REFERÊNCIAS

ALEGRE, H.; BAPTISTA, J. M.; CABRERA JR., E.; CUBILLO, F.; DUARTE, P.; HIRNER, W.; MERKEL, W.; PARENA, R.. Performance Indicators for Water Supply Services: Manual of Best Practice. 2 ed. Londres: IWA Publishing, 2007

GESELBRACHT, J. WWTPStaffing. Water Works Engineers, Version 1.01 (16/8/2006). Disponível em: <http://www.wengineers.com>

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa

Nacional de Saneamento Básico, 2008. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pnsb/default.asp>. Acesso em: 30 out. 2011.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009

KELLNER, E.; CALIJURI, M. C.; PIRES, E. C.. Aplicação de indicadores de sustentabilidade para lagoas de estabilização. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.14, 2009, p. 455-464

LEONETI, A. B. Avaliação de modelo de tomada de decisão para escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário. 2009. 154f. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

MAKROPOULOS, C.K.; NATSIS, K.; LIU, S.; MITTAS, K.; BUTLER D. Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management. Environmental Modelling & Software, v. 23, 2008, p. 1448–1460

MEADOWS, D. Indicators and Information Systems for Sustainable Development. The Sustainability Institute, 1998

METCALF, A.; EDDY, M. S., Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1991

MUGA, H. E.; MIHELICIC, J. R. Sustainability of wastewater treatment technologies. Journal of Environmental Management, v. 88, 2008, p. 437–447

OLIVEIRA, S.V.W.B. Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário. 2004. 293 f. Tese (Doutorado em Administração)- Faculdade de Economia,

Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

RAMETSTEINER, E.; PÜLZL, H.; ALKAN-OLSSON, J.; FREDERIKSEN, P. Sustainability indicator development—Science or political negotiation? Ecological Indicators, v. 11, 2011, p. 61–70

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO (2009). Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>. Acesso em: 30 out. 2011.

STARKL, M.; BRUNNER, N. Feasibility versus sustainability in urban water management. Journal of Environmental Management, v.71, 2004, p. 245-260.

VIDAL, N.; BAÑARES-ALCÁNTARA, R.; RODRÍGUEZ-RODA, I.; POCH, M. Design of Wastewater Treatment Plants Using a Conceptual Design Methodology, v 41, Industrial & Engineering Chemistry Research, 2002, p. 4993-5005

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. v.1, 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

Recebido em: nov/2011  
Aprovado em: out/2013

# Avaliação do nível de maturidade em sustentabilidade através do Modelo Hierárquico de Lowell

## Sustainability maturity level assessment using the Hierarchical Model of Lowell

### RESUMO

A busca pelo desenvolvimento sustentável se torna cada vez mais difundida entre os agentes governamentais, organizações privadas e membros da sociedade civil, motivados principalmente, pelo desequilíbrio ambiental e pelos problemas sociais. Surge atualmente um mercado mais consciente e as empresas veem no marketing verde uma maneira de ganhar mercado e de se diferenciar perante seus concorrentes. O presente trabalho estudou a aplicação do Modelo Hierárquico de Lowell, ferramenta desenvolvida pelo Centro Lowell para a Produção Sustentável (Universidade de Massachusetts - EUA) para mensurar o nível de maturidade em sustentabilidade em uma empresa, analisando os indicadores de sustentabilidade já utilizados, com o objetivo de verificar a aplicabilidade do modelo e sua utilização como ferramenta para a busca do desenvolvimento sustentável. O Modelo possui cinco níveis para a classificação dos indicadores. Os resultados obtidos evidenciaram um panorama geral dos indicadores já existentes e os necessários para contemplar as três dimensões da sustentabilidade. O estudo permitiu identificar a concentração dos indicadores de performance e uso de materiais (nível 2 no Modelo Hierárquico de Lowell).

**PALAVRAS-CHAVE:** Indicadores, Modelo de Maturidade, Sustentabilidade

### ABSTRACT

The search for sustainable development is becoming more widespread among government, private organizations and civil society motivated primarily by environmental imbalance and social problems. Currently has grown a conscious market and companies see the green marketing as a way to gain market share and differentiate themselves against their competitors. This study applied the Lowell Center Hierarchy Model developed by Lowell Center for Sustainable Production (University of Massachusetts Lowell) to measure the level of maturity in the sustainability of a company, analyzing the sustainability indicators already used by the company in order to verify the applicability of the model and its use as a tool for the pursuit of sustainable development. The hierarchical model has five levels to the classification of the indicators. In the study, there was a large concentration of indicators in the second level - material use and efficiency. The results showed an overview of existing indicators and the need to address the three dimensions of the triple bottom line. The study also identified the concentration of indicators for performance and material use (level 2 of the Hierarchy Model of Lowell).

**KEYWORDS:** Indicators, Maturity Model, Sustainability

**Klayton Eduardo da Rocha**<sup>1</sup>  
Graduando, Engenharia de  
Produção - Universidade  
Federal de São Carlos  
São Carlos, SP, Brasil  
keredu@gmail.com

**Juliana Veiga Mendes**  
Doutora em Engenharia de  
Produção, Professora  
Adjunto da Engenharia de  
Produção - Universidade  
Federal de São Carlos  
São Carlos, SP, Brasil  
juveiga@ufscar.br

**Virgínia Aparecida da  
Silva Moris**  
Pós-Doutora em Engenharia  
Química, Professora Adjunto  
da Engenharia de Produção –  
Universidade Federal de São  
Carlos  
São Carlos, SP, Brasil  
vimoris@ufscar.br

---

<sup>1</sup>Apoio financeiro da pesquisa pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq – Brasil através do Programa PIBIC da UFSCar

## INTRODUÇÃO

Os problemas climáticos, a degradação dos recursos ambientais, processos de produção mais eficientes e as condições socioeconômicas da sociedade civil são temas recorrentes, discutidos tanto no meio acadêmico quanto nas distintas mídias de massa. Na busca por responder e solucionar esses dilemas a sociedade civil, governos, organizações não governamentais (ONGs) e organizações privadas se direcionam para a criação de um novo conceito denominado desenvolvimento sustentável. Tal conceito advém de um longo processo histórico de reavaliação crítica da relação existente entre a sociedade e o ambiente. Por se tratar de um processo contínuo e complexo, muitas abordagens surgem para definir sustentabilidade (BELLEN, 2005).

O termo sustentabilidade vem do latim *sustentare* que significa sustentar, suportar, conservar em bom estado, manter, resistir. Para a Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento-*World Commission on Environment and Development* (WCED,1983), o desenvolvimento sustentável é atender as necessidades presentes sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades.

Na busca pelo desenvolvimento sustentável, SHARMA *et al.* (2008) afirmam que as decisões tomadas pela gerência das empresas devem incorporar questões ambientais, incluindo ideias de conservação de recursos e sustentabilidade. Tais decisões, e as ações decorrentes, podem melhorar a reputação e a imagem da corporação. A divulgação dessas ações, bem como os resultados obtidos, ocorre através do desenvolvimento de campanhas de marketing verde, que devem identificar, antecipar e buscar satisfazer as demandas da sociedade mantendo a lucratividade e

sustentabilidade. (PEATTIE *apud* REX e BAUMANN, 2006). A estratégia do marketing verde é incluir questões que não são diretamente relacionadas ao produto, tais como iniciativas ambientais e sociais, nos esforços do marketing. A ideia é que se forem fornecidos aos consumidores melhores informações sobre as propriedades ecológicas oferecidas pelos produtos, tais informações podem influenciar suas decisões de compra.

KING *apud* PEATTIE e CRANE (2005) levantou em seus estudos uma série de questões críticas com relação ao marketing verde. O autor relatou que as empresas tem frequentemente utilizado a questão ambiental como uma dimensão promocional adicional com nenhuma tentativa de análise ou modificação do próprio produto e dos impactos da operação gerados no ambiente.

Muitas companhias têm se entusiasmado a respeito do marketing verde quando este envolve redução de custos (redução das embalagens ou economia com energia), mas é pouco entusiasta quando se refere a investir dinheiro com o objetivo de desenvolver produtos e processos sustentáveis, buscando somente transformações marginais e incrementando melhorias em produtos e processos já existentes. O marketing verde pode ser positivo quando acompanhado com ações efetivas que proporcione a sustentabilidade e não apenas atitudes isoladas visando somente um incremento nas vendas das organizações.

Considerando esse cenário torna-se relevante a disponibilidade de informações, sobre as práticas de ações sustentáveis adotadas pelas empresas, que permita a avaliação e comparação com as iniciativas de outras empresas. Uma alternativa consiste na utilização de ferramentas capazes de mensurar a sustentabilidade.

O presente trabalho estuda a aplicação do Modelo Hierárquico de Lowell, ferramenta desenvolvida

pelo Centro Lowell para a Produção Sustentável (Universidade de Massachussets - EUA) para mensurar o nível de maturidade em sustentabilidade em uma empresa, analisando os indicadores de sustentabilidade já utilizados, a fim de verificar a aplicabilidade do modelo e sua utilização como ferramenta para a busca do desenvolvimento sustentável.

## MODELOS E FERRAMENTAS PARA SUPORTE NA BUSCA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O termo indicador é originário do latim *indicare* - descobrir, apontar, anunciar, estimar (HAMMOND, 1995). Os indicadores servem para prover informações atuais e históricas, podendo estimar tendências e o progresso em relação ao atingimento das metas. (PINTER *et al.*, 2005).

Indicadores de sustentabilidade emergiram como ferramentas adequadas para todos os níveis organizacionais (VELEVA *et al.*, 2003) e podem ser utilizados como base para as transformações regionais ou industriais (EBIHARA e AMANO, 2005).

Segundo SPANGENBERG e BONNIOT (1998) os indicadores de sustentabilidade devem ser simples, o número de indicadores deve ser limitado e sua metodologia de cálculo transparente. A seguir são demonstrados alguns exemplos de modelos e ferramentas encontrados na literatura:

○ Pegada Ecológica (*Ecological footprint*)

A Pegada ecológica é uma metodologia que busca transformar os recursos e energia consumidos de um país em áreas produtivas necessárias para essas demandas e compara com a capacidade de área do país (WACKERNAGEL, 1999). Adaptações do cálculo da pegada ecológica para questões mais simples, tal como, a pegada

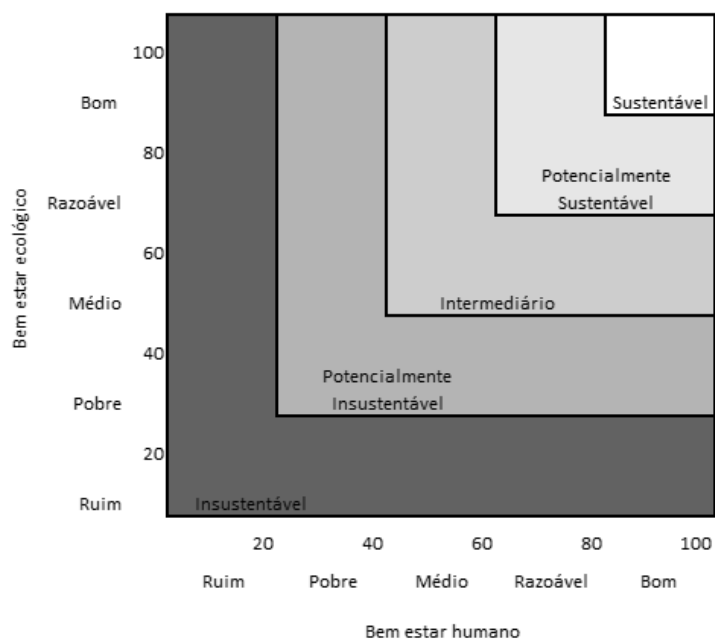


Figura 1- Barômetro da sustentabilidade  
 Fonte: Adaptado de GUIJT e MOISEEV (2001, p. 17)

ecológica de um indivíduo foram adaptadas e até mesmo disponibilizadas online, tornando a metodologia ainda mais conhecida.

o Barômetro da Sustentabilidade (*Barometer of sustainability*)

O Barômetro da Sustentabilidade faz uma análise

relacionando o bem estar humano e o bem estar ecológico, em dois eixos independentes num gráfico, representado pela Figura 1. Os eixos são divididos em 5 categorias e diferenças de cores que facilitam o controle de escalas e aumenta a flexibilidade da análise (PRESCOTT, 2001).

A Pegada Ecológica e o

Barômetro da Sustentabilidade não serão focos do estudo por se tratarem de modelos qualitativos de análises dos indicadores.

o GRI (*Global Report Initiative*)

O GRI é uma organização que disponibiliza um modelo de Relatório de Sustentabilidade para

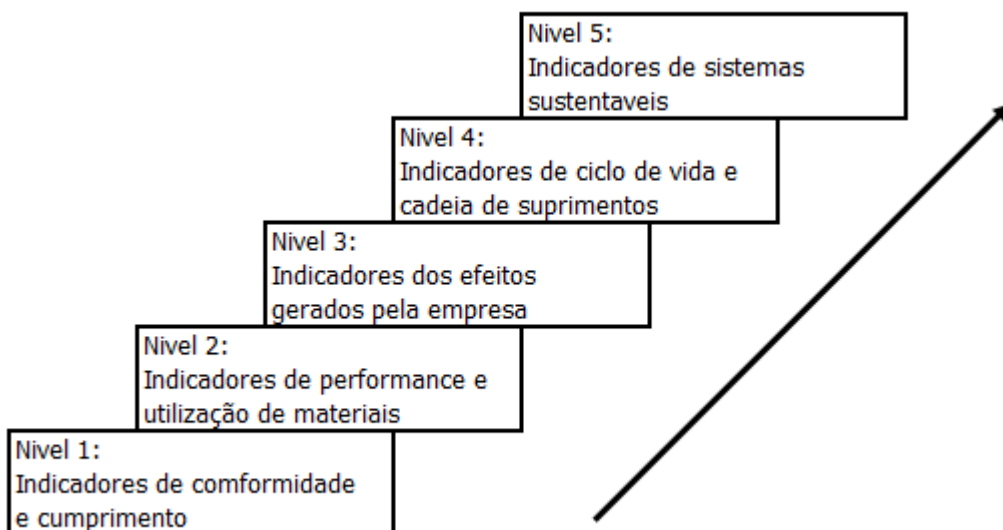


Figura 2 - Modelo Hierárquico de Lowell.  
 Fonte: Adaptado de VELEVA et al (2003, p. 9)

organizações. As empresas que optam por aplicar o GRI devem publicar seus relatórios e auto avaliar seu nível em relação a sustentabilidade (Nível A, B e C), que podem ou não ser auditados pela organização (GRI, 2011).

o ISO 14031

Neste trabalho, denominada somente como ISO, trata-se de um conjunto de indicadores padrão para serem aplicados em empresas. Tal aplicação não possui certificação como ocorre na ISO 9000 (ABNT, 2004).

o Modelo Hierárquico de Lowell

VELEVA *et al.* (2003) apresentam o Modelo Hierárquico de Lowell, desenvolvido como uma ferramenta para organizar e auxiliar as empresas a avaliar a efetividade do seu conjunto de indicadores de sustentabilidade. O Modelo Hierárquico de Lowell tem cinco níveis hierárquicos para categorizar os indicadores, conforme ilustra a Figura 2.

- Nível 1: Categoriza os indicadores que buscam levar as ações das empresas para cumprir os regulamentos. Trata do número mínimo de quesitos que a empresa necessita para atender a legislação vigente.
- Nível 2: Este nível mensura

a performance do processo produtivo e a utilização dos materiais. Os indicadores utilizados estão

relacionados com redução de custos e por esse motivo são amplamente utilizados pelas empresas. Por exemplo, o volume de matéria-prima consumido.

- Nível 3: Indicadores desse nível avaliam os efeitos gerados pelas atividades operacionais da companhia no meio ambiente. Por exemplo, CO<sub>2</sub> emitido por energia utilizada em milhões de toneladas.

- Nível 4: Analisa a cadeia de suprimento e o ciclo de vida dos produtos, ou seja, busca avaliar a cadeia de modo geral. Os indicadores desse nível mensuram níveis de reutilização, reciclagem e utilização de materiais renováveis. Por exemplo, CO<sub>2</sub> emitido no transporte entre outros.

- Nível 5: Os indicadores dessa categoria mostram como as ações das empresas proporcionam a sustentabilidade de maneira ampla para a sociedade. A produção sustentável não é uma atividade isolada. Os fatores sociais, econômicos

e ambientais devem ser considerados.

Indicadores do nível 5 mensuram os efeitos da produção na qualidade de vida, no desenvolvimento humano e a capacidade de assimilação dos impactos negativos pelo meio ambiente. Por exemplo, porcentagem de água coletada da fonte comparado a porcentagem de devolução ou porcentagem de energia utilizada proveniente de fontes renováveis.

Os indicadores devem ser capazes de melhorar a imagem pública da empresa e criarem uma vantagem competitiva através da diferenciação de produtos e serviços (PORTER, 1998 *apud* VELEVA *et al.* 2003 p.108). A adoção de um modelo de maturidade é importante, pois segundo os autores orienta em relação ao desenvolvimento e utilização de indicadores eficazes para a necessidade de determinados sistemas produtivos e de segmentos específicos; viabiliza a mensuração do nível de sustentabilidade em que suas operações se encontram e permite que empresas de um mesmo setor realizem comparações.

VELEVA e ELLENBECKER (2001) demonstram algumas características também devem ser consideradas para a aplicação do Modelo Hierárquico de Lowell.

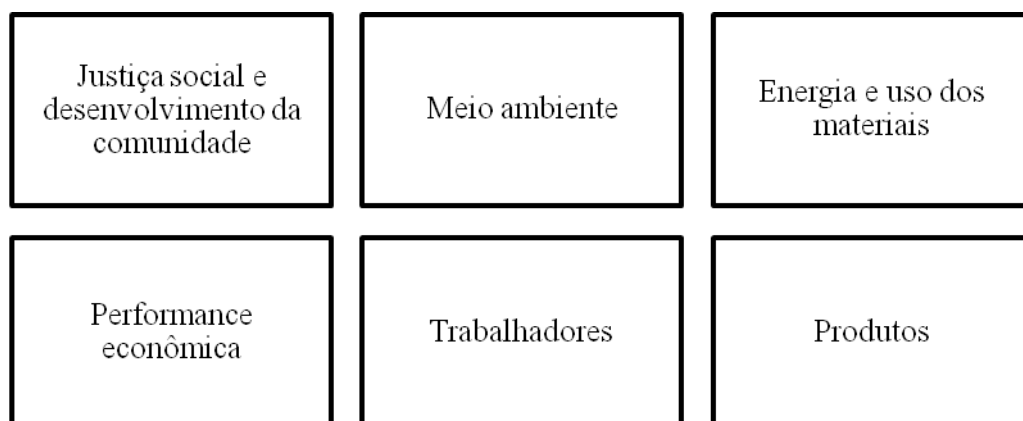


Figura 3 - Os seis aspectos da produção sustentável  
Fonte: Adaptado de VELEVA e ELLENBECKER (2001, p. 520).

- Com base em dados disponíveis, precisos e verificáveis
- Com base em um conjunto de indicadores ao invés de um único indicador
- Composto por indicadores essenciais e complementares
- Compor todos os seis aspectos da produção sustentável (Figura 3)
- Incluir um número razoável de indicadores
- Fácil de aplicar e avaliar os indicadores
- Simples, mas indicadores significativos
- Utilizar tanto os indicadores quantitativos e qualitativos
- Permitir comparações entre empresas
- Enfrentar as principais questões globais
- Consistente com indicadores de sustentabilidade nacional e comunitário
- Desenvolvidas e avaliadas através de um processo aberto, incentivando a participação dos interessados

VELEVA *et al.* (2003) realizaram um estudo de caso com seis companhias multinacionais farmacêuticas com objetivo de classificá-las, determinando o nível

de sustentabilidade empregado em suas operações, seguindo o Modelo Hierárquico de Lowell. Foram escolhidas empresas farmacêuticas por estas adotarem políticas de bem estar social, proteção ambiental e conduzirem seus negócios com responsabilidade. Os autores observaram que a maior parte dos indicadores concentrava-se no nível 2 e concluíram que isto está ligado a busca das empresas por redução de custos operacionais de produção. Outra constatação relevante é que nenhuma das empresas tinham indicadores do nível 5, além de que as empresas que aplicavam o GRI tinham um volume maior de indicadores.

### MATERIAIS E MÉTODOS

O método de pesquisa utilizado foi a realização de um estudo de caso, que segundo VOSS *et al.* (2002), é a história de um fenômeno passado ou corrente, delineado por múltiplas fontes de evidências. MEREDITH *apud* VOSS *et al.* (2002) cita o uso do estudo de caso para investigação exploratória, onde as variáveis são desconhecidas e o fenômeno não é totalmente compreendido, que necessita desenvolver ideias de pesquisa e questões sobre o problema. No presente estudo foi analisado um fenômeno atual, que é busca pela sustentabilidade no segmento

empresarial, visando a utilização de um modelo de maturidade que classificou uma empresa em relação à sustentabilidade.

A condução do estudo de caso foi iniciada com o levantamento do referencial teórico em periódicos nacionais e internacionais que tratavam sobre a temática em questão, bem como relatórios e balanços sociais disponibilizados pelos sites de empresas. O foco foi conceitos de sustentabilidade e sua relação com o mundo empresarial, levantamento de indicadores gerais e específicos do setor em que se encontra a empresa a ser estudada.

A empresa selecionada atua no setor de embalagens, rótulos/ etiquetas e industrial gráfico, com capacidade produtiva de 127 mil toneladas de filmes flexíveis ao ano. Os filmes flexíveis são compostos de Polipropileno Orientado Biaxialmente (BOPP), fabricados por um processo de estiramento que aumenta as propriedades mecânicas e brilho enquanto diminui a elasticidade, opacidade e permeabilidade a gases e vapores do material, oferecendo, por exemplo, no caso de embalagens de alimentos, maior durabilidade de conservação, medidos pelas empresas como tempo de prateleira (*shelf life*).

Foi elaborado um questionário de coleta de dados

Tabela 1- Dados para coleta dos indicadores

Dado	Descrição
Indicador	Nome do indicador e códigos que são utilizados para diferenciá-lo dentro da própria organização
Breve descrição	Uma frase que possa explicar resumidamente a ideia geral sobre o indicador
Objetivo	Breve descrição do motivo pela qual é realizada a medição do indicador
Unidade de medida	Exemplo: N <sup>o</sup> , horas, %, \$, Kg, m.
Meta	Valores para o indicador (Máx. e Min.) e qual a meta para a empresa
Tipo de medição	Se o indicador é absoluto ou relativo (Ex: N <sup>o</sup> de Quebras/ Mês)
Cálculo	Descrição detalhada de como o indicador é calculado, desde a coleta dos seus dados, armazenamento e compilação
Período de medição	Se o indicador possui base anual, mensal, semanal, hora.
Limites	Quais unidades/ departamentos/ linhas o indicador se relaciona
Responsável	Responsável pela análise do indicador
Publicação	Onde o indicador é usado. (Ex: reuniões de setor, relatório gerencial)

Fonte: Adaptado de Veleva e Ellenbecker (2001)



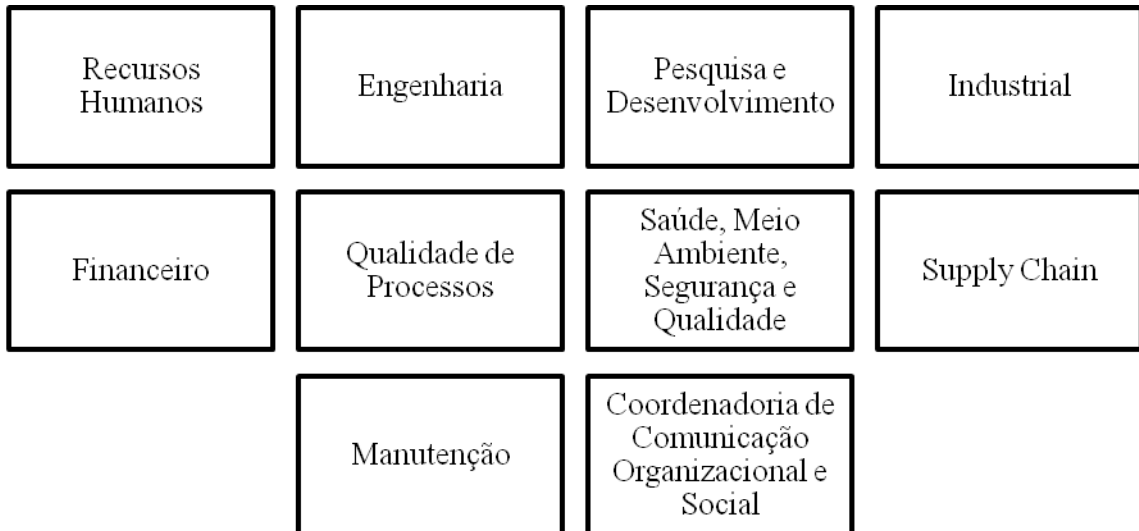


Figura 4 – Áreas entrevistadas para o mapeamento de indicadores

para realizar o mapeamento dos indicadores da empresa, considerando alguns fatores essenciais, conforme apresentado na Tabela 1. O questionário enviado para cada área da empresa na coleta de dados foi baseado na Tabela 1. Uma divisão setorial da empresa foi criada, estabelecendo um representante para cada setor e envolvendo assim todos os possíveis atores da organização. Os dados coletados foram compilados em uma planilha eletrônica única e a cada novo indicador coletado, um julgamento seguindo a metodologia do Modelo Hierárquico de Lowell foi considerada para avaliar o nível

hierárquico em relação a sustentabilidade. Por possuírem uma lista de indicadores padrão direcionados a sustentabilidade e aplicações em várias empresas multinacionais, o estudo vai considerar o GRI e ISO como modelos de referência em indicadores de sustentabilidade para complementação de comparação com os dados coletados na empresa.

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4 apresenta o mapeamento das áreas da organização, a fim de abranger com

o questionário todos os pilares da sustentabilidade descritos pelo *triple bottom line*.

O mapeamento de indicadores resultou na coleta de 80 indicadores da organização, desde indicadores já utilizados pela empresa até indicadores recém-criados, demonstrados na Tabela 2.

As maiores fontes de indicadores foram identificadas em campanhas temporárias, como por exemplo, uma campanha interna que busca incentivar e engajar a participação dos funcionários com relação ao atendimento de normas de segurança, cumprimento de metas e diversos outros fatores; e

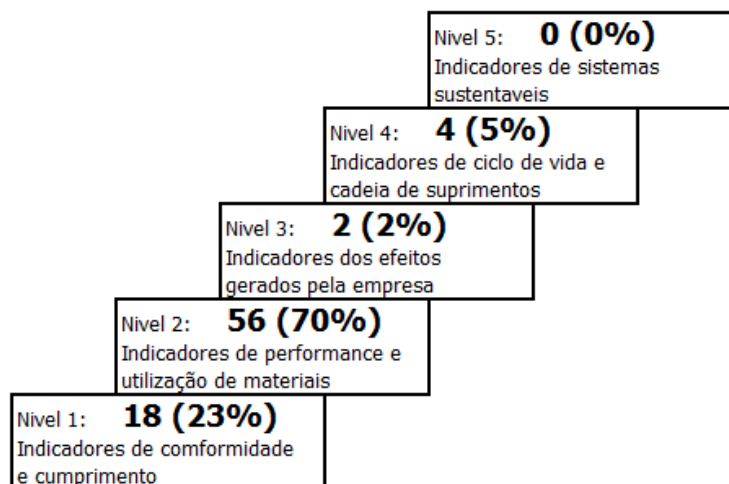


Figura 5 – Modelo Hierárquico de Lowell aplicado na empresa

Tabela 2 - Indicadores Coletados e Classificação no Nível Hierárquico de Lowell

Nível	Indicador
1	Soluções de auditorias
	Índice de tarefas executadas (near miss)
	Tratativas de Não-conformidades
	Resultado da auditoria
	Índice de tarefas executadas
	Índice de ação corretiva
	Região afetada em acidentes
	Nº de acidentes
	Resultado de Lição ponto a ponto – Qualidade
	Resultado de Lição ponto a ponto – SMS
	Resultados dos diálogos de SMS&Q
	Integração com colaboradores contratados
	Ajuda financeira significativa recebida do governo
	Frequências de revisões dos procedimentos operacionais;
	Números de constatações de auditorias por período;
	Números de auditorias concluídas versus planejadas;
	Números e frequência de atividades específicas (por exemplo: auditorias); Número das ações corretivas identificadas que foram encerradas ou as que ainda não foram encerradas;
	2
Quantidade de folhas utilizadas (impressões de folhas)	
Energia utilizada (impressões de folhas)	
Quantidade de água consumida	
Energia elétrica total consumida na planta	
Gás natural total consumido na planta	
Quantidade de materiais usados	
Potencial de defeitos	
Índice Scrap de Linha	
Perda	
Índice de Eficiência	
Capacidade instalada	
Consumo de regranolado (material reprocessado) por linha e total	
Quantidade de árvores utilizadas (impressões de folhas)	
Índice de qualidade (IQ) da Planta	
Consumo de água (impressões de folhas)	
Padrões de Limpeza	
Registros de Manutenção	
Registros de Quebras	
Identificações de anomalias	
Reuniões de anomalias	
Número de aberturas (near miss)	
Implantação e conhecimento do PCSMS	
Utilização de portas e janelas em condições inadequadas	
Notificações sobre utilização incorreta	
Utilização de uniformes	
Utilização de toucas e Bigodeiras	
Aplicação do 5S - (Limpeza)	

	Aplicação do 5S - (Organização)
	Aplicação do 5S - (Arrumação)
	Média de horas de treinamento por ano, por empregado,
	Eficiência pessoal - incentivos curto prazo
	Eficiência pessoal - programa de bônus
	Desenvolvimento e participação de pessoas
	Avaliação de competências
	Avaliação de eficácia dos treinamentos
	Treinamento e capacitação - investimento total
	Treinamento e capacitação - número de eventos
	Treinamento e capacitação - número de colaboradores treinados
	Treinamento e capacitação - % colaboradores
	Treinamento e capacitação - horas de treinamentos
	Treinamento e capacitação - investimento per capita
	Produção Bruta por MOD (Mão de Obra direta)
	Dias de Estoque
	<i>Working Capital</i>
	PNV: Produção Líquida ("Net") Vendável:
	Total Debt to EBITDA Ratio
	Custo direto com manutenção
	EBITDA to Interest Expense Ratio
	Valor econômico direto gerado e distribuído, incluindo receitas, custos operacionais, remuneração de empregados, doações e outros investimentos na comunidade, lucros acumulados e pagamentos para provedor de capital e governos
	Endividamento
	Identificação e descrição de impactos econômicos indiretos significativos, incluindo a extensão dos impactos
	EBITDA
	Margem Bruta
	Margem de Contribuição
	Prazos Médios de Pagamento e Recebimento
3	Número de iniciativas locais de limpeza ou reciclagem, patrocinadas ou auto-implementadas;
	Emissão de CO2 (impressões de folhas)
4	Devoluções
	Número de reclamações
	Índice de aprovação direta
	Índice de entrega

Fonte: Coleta de dados.

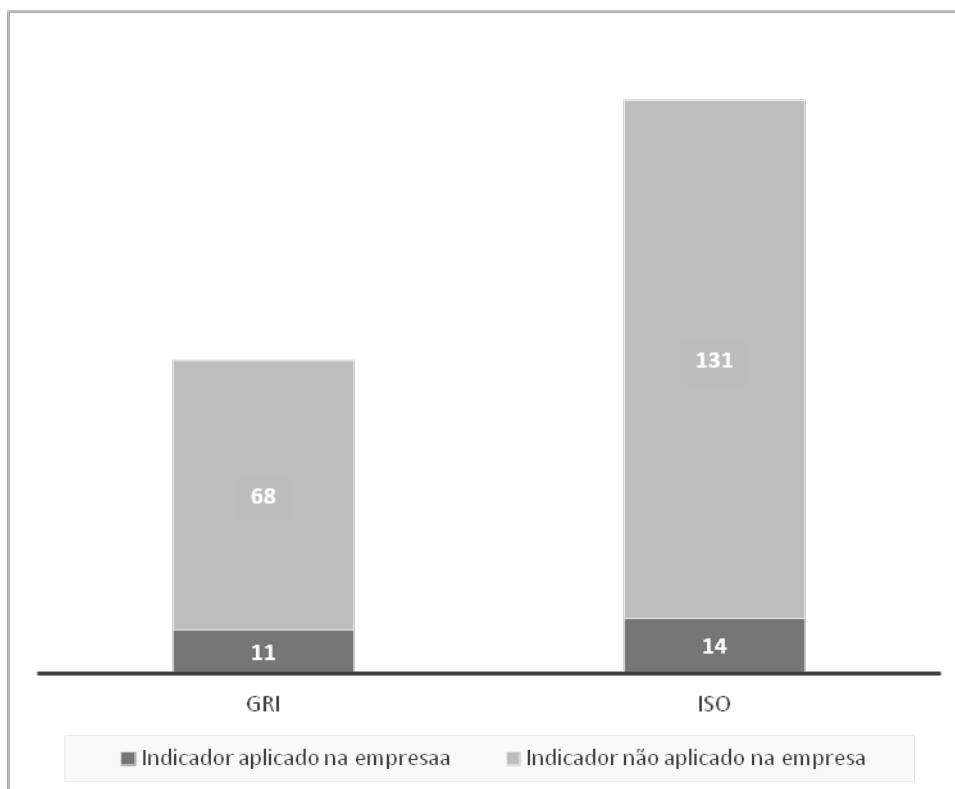


Figura 6 - Comparação dos indicadores utilizados pela empresa com referências de relatórios sobre sustentabilidade

outra campanha que buscava demonstrar “o impacto ao imprimir”, para a redução do consumo de papel.

Analisando todos os dados coletados e o Modelo Hierárquico de Lowell, temos a formação do cenário da empresa exposto na Figura 5.

É possível observar a grande concentração de indicadores no nível 2, resultado este que se iguala aos da pesquisa do setor farmacêutico, na qual VELEVA *et al.* (2003) conclui que isso se deve a busca por redução de custo e aumento da competitividade. Outro fator que se assemelha é a falta de indicadores no nível 5. Os indicadores ambientais estão sendo reavaliados, visto que a organização começa a buscar a certificação da ISO 14001 em uma de suas unidades, por isso a quantidade de indicadores do Nível 3 não reflete exatamente os controles internos que a empresa acompanha.

Como explicado anteriormente, foi realizada uma comparação dos indicadores

existentes na empresa com as referências GRI e ISO. O GRI propõe 79 diferentes indicadores, dos quais somente 11 (14%) foram identificados na organização estudada. Se compararmos os 145 indicadores propostos pela ISO, esse índice é ainda menor (10%), com apenas 14 indicadores correlacionados. A Figura 6 representa essa diferença de número de indicadores entre as referências e os indicadores da empresa.

Podemos observar uma relação entre a Figura 5 e Figura 6, pois apesar da empresa possuir 80 indicadores, poucos fazem parte do portfólio sugerido pelas referências GRI e ISO, e os demais são concentrados no nível 2 do Modelo Hierárquico de Lowell. Caso a empresa deseje avançar nos níveis 3, 4 e 5 haverá a demanda de um planejamento para mensurar novos indicadores, e a utilização do portfólio de exemplos, se confirmam como referências adequadas para essa mensuração.

A aplicabilidade do modelo demonstrou vários desafios. Na primeira etapa da aplicação, a maior dificuldade foi mapear os indicadores da organização. Com a facilidade tecnológica para gerar e armazenar dados associados a necessidade de controle e rastreamento dos processos das empresas, é enorme a quantidade de dados disponíveis e armazenados de forma descentralizada. Ocorre que os indicadores são gerados em áreas e departamentos isoladamente, sem uma orientação estratégica, alinhando-os as necessidades da empresa. De certa forma, essa flexibilidade que as empresas possuem para analisar pontualmente dados específicos e criar indicadores temporários é uma grande vantagem, mas ao mesmo tempo pode ocorrer a geração e monitoramento de indicadores que não são necessários a organização.

Com o levantamento realizado as ações para melhorias em relação a sustentabilidade se tornam mais claras. Neste caso, o desenvolvimento de indicadores dos

níveis 4 e 5 são evidentes, e a discrepância entre os indicadores propostos pelas referências em sustentabilidade ISO 14031 e GRI se deve justamente pela concentração que existe na empresas em um único nível hierárquico – o nível 2.

## CONCLUSÕES

A questão da sustentabilidade é sem dúvida uma tendência global que está em pauta nas discussões globais. Com isso, a necessidade de se avaliar o desempenho de cada entidade em relação a fatores que afetam a sustentabilidade é inerente. Nesta questão é que o Modelo Hierárquico de Lowell busca atuar, avaliando o nível de maturidade em relação a sustentabilidade das organizações.

O estudo permitiu identificar a concentração dos indicadores em questões de performance e uso de materiais (nível 2 no Modelo Hierárquico de Lowell), mesma concentração também encontrada no estudos realizado por VELEVA *et al.* (2003) e RESINA *et al.* (2010). É interessante observar essa constante de resultado em diferentes pesquisas, demonstrando a preocupação existente hoje no mundo corporativo, focado muito no desempenho operacional. Com esse resultado, pode-se supor que as empresas precisam se direcionar para a sustentabilidade, buscando desenvolver indicadores que avaliem seus impactos gerados (Nível 3), sua cadeia de suprimento e ciclo de vida do produto (Nível 4) e junto as demais organizações elaborar indicadores de Sistemas Sustentáveis (Nível 5).

Contudo, elaborar um conjunto de indicadores padrão para todas as organizações é um impasse atual, por isso foi possível observar a preocupação dos mais diversos autores para que os indicadores adotados nos modelos de relatórios para sustentabilidade sejam flexíveis. Essa padronização seria necessária para uma comparação do

desempenho entre as organizações, bem como criar políticas mínimas para as empresas seguirem e nortearam o desenvolvimento e a adoção de indicadores relacionados à sustentabilidade.

Levantar os indicadores na empresa para serem analisados e posteriormente categorizados através do Modelo Hierárquico de Lowell é uma tarefa desafiadora pois, com a disseminação e uso de sistemas de informação pelas empresas em geral, pode-se criar dados e indicadores em excesso. Tal fato também pode induzir a uma análise inadequada. A falta de direcionamento sobre como fazer o levantamento dos dados na empresa, também dificulta a aplicação do Modelo Hierárquico de Lowell.

Também é importante verificar se os indicadores coletados estão alinhados com a orientação estratégica da empresa e são realmente necessários à organização no que se refere ao monitoramento de aspectos relacionados à sustentabilidade. O mapeamento de indicadores não alinhados à estratégia da organização pode induzir a uma análise equivocada do Modelo Hierárquico de Lowell.

O escopo do Modelo Hierárquico de Lowell deixa bem claro que não busca avaliar os índices que cada indicador possui. Esse seria um primeiro passo na busca pelo desenvolvimento sustentável dentro da organização: mensurar os mais diversos aspectos da organização, contudo torna-se necessário avaliar se cada item mensurado está em um patamar aceitável, que se torna uma oportunidade de novos estudos para buscar uma ferramenta complementar que possibilite essa análise dos índices dos indicadores.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq – Brasil, através do Programa PIBIC da UFScar pelo

apoio financeiro da pesquisa e a Karen Keiko Ozaki pelo suporte.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ISO 14031 – Gestão Ambiental – Avaliação de desempenho Ambiental – Diretrizes*. 2004.

BELLEN, H. M. V. *Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa*. 1 ed. Rio de Janeiro: FGV, 2005.

EBIHARA, M.; AMANO, K. *Eco-intensity analysis as sustainability indicators related to energy and material flow*. Emerald Management of Environmental Quality: An International Journal, v. 16, n. 2, p. 160-166, 2005.

GRI. Global Report Initiative. *GRI Guidelines*. Disponível em: <<http://www.globalreporting.org/NR/rdonlyres/7DB67FFF-81EE-402F-A218-36940C883DD5/0/G31GuidelinesinclTechnicalProtocolFinal.pdf>>. Acesso em 22/08/2011.

HAMMOND, A. et al. *Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development*. Washington, DC: World Resources Institute, 1995. Disponível em: <[http://books.google.com.br/books/about/Environmental\\_indicators.html?id=mA2AAAAAMAAJ&redir\\_esc=y](http://books.google.com.br/books/about/Environmental_indicators.html?id=mA2AAAAAMAAJ&redir_esc=y)>. Acesso em 20/12/2012

GUIJT, I. e MOISEEV, A. (2001). *Resource Kit for Sustainability Assessment*, IUCN, Gland, Suíça e Cambridge, Reino Unido. ISBN: 2-8317-0631-9

PEATTIE, K.; CRANE, A. *Green marketing: legend, myth, farce or prophesy?* Emerald Qualitative

Market Research: An International Journal, v. 8, n. 4, p. 357-370, 2005.

PINTÉR, L. HARDI, P. BARTELMUS, P. *Indicators of Sustainable Development: Proposals for a Way Forward*. Discussion paper prepared under a Consulting Agreement on behalf of the UN Division for Sustainable Development. 2005. Disponível em: <[http://www.iisd.org/pdf/2005/measure\\_indicators\\_sd\\_way\\_forward.pdf](http://www.iisd.org/pdf/2005/measure_indicators_sd_way_forward.pdf)>. Acesso em: 19/12/2012

PRESCOTT, A. R. *The Wellbeing of Nations: a country-by-country index of quality of life and the environment*. Washington: Island Press, 2001. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=9oIMBp0uH-sC&q=barometer#v=snippet&q=barometer&f=false>> Acesso em: 20/12/2012

RESINA, R. A; MENDES, J.V; MORIS, V. A. S. *Aplicação de um modelo de maturidade para avaliar o nível de sustentabilidade de uma empresa. XVIII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*. Bauru, SP. 2010

REX, E; BAUMANN, H. *Beyond ecolabels: what green marketing can learn from conventional marketing*. Elsevier: Journal of Cleaner Production, p. 567-576, 2006.

SHARMA, A. *et al. Sustainability and business-to-business marketing: A framework and implications*. Elsevier: Industrial Marketing Management, p. 1-12, 2008.

SPANGENBERG, J. H.; BONNIOT, O. *Sustainability indicators: A compass on the road towards sustainability*. Wuppertal Institute for Climate, Environment, Energy, n.81, p. 3-34, 1998

VELEVA, V. *et al. Indicators for measuring environmental sustainability: A case study of the pharmaceutical industry*.

Benchmarking: An International Journal, v.10, n.2, p. 107-119, 2003

VELEVA, V.; ELLENBECKER, M. *Indicators of sustainable production: framework and methodology*. Journal of Cleaner Production, v.9, p.519-549, 2001.

VOSS, C.; TSIKRITSIS, N. ;FROHLIC, M. *Case research in operations management*. International Journal of Operations & Management, v. 22, n. 2, 2002, p.195-219.

WACKERNAGEL, M. *et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept*. Ecological Economics, Volume 29, Issue 3, June 1999, Pages 375-390, ISSN 0921-8009, 10.1016/S0921-8009(98)90063-5. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800998900635>. Acesso em: 20/12/2012.

WCED - *World Commission on Environment and Development*, 1983, Genebra. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. 1983. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>>. Acesso em 19/12/2012

Recebido em: nov/2011

Aprovado em: out/2013

# Estudo de distintos níveis holárquicos para uma região metropolitana por meio da aplicação de Indicadores de sustentabilidade ambiental e de saúde

## Environmental and health sustainability indicators for the Metropolitan Region of Sao Paulo - an ecosystem approach to study different Holarchical levels

### RESUMO

Problemas ambientais e de saúde adquirem caráter, magnitude e imprevisibilidade em grandes metrópoles, havendo pouco entendimento das motricidades desses processos e fraca articulação da unidade metropolitana para com seus componentes, os municípios. Este artigo objetiva estabelecer uma concepção teórica e metodológica para abordagem de um sistema metropolitano, a Região Metropolitana de São Paulo, sob uma perspectiva de sustentabilidade ambiental e de saúde. Para isso, estuda-se a metrópole enquanto sistema holárquico auto-organizável aberto, aplicando-se uma matriz de indicadores de modo a diferenciar como questões socioeconômicas, ambientais e de saúde se distribuem conferindo características singulares aos 39 municípios componentes, compreendidos como hólons. Aplica-se a análise sobre a questão das áreas de mananciais distribuídas de modo desigual em municípios periféricos, os quais possuem condições precárias de pressão por ocupação, indicadores de inclusão social e de saúde. Os resultados obtidos permitem inferir que a sustentabilidade necessita ser analisada a partir de outras centralidades que se constituem em uma região metropolitana, como na questão do provimento de serviços ambientais como a água, superando a expressão de determinados municípios concentradores de população e renda. Esta concepção pode ser considerada como relevante motivação à retomada da gestão metropolitana com foco na sustentabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** metrópoles, indicadores de sustentabilidade, saúde ambiental.

### ABSTRACT

Environmental and health problems acquire character, magnitude and unpredictability in large cities, with little understanding of these processes and their driving forces and weak articulation within a metropolitan area and its components, the municipalities. This paper aims at establishing theoretical and methodological basis to approach a metropolitan system, the São Paulo Metropolitan Region, by means of sustainability in terms of environment and health. The metropolis was studied as a self-organizing holarchic open system by an indicator matrix analysis showing how socioeconomic, environmental and health characteristics are distributed, conferring singular characteristics to the 39 component municipalities which are understood as holons. Exploring watershed protection areas, those are unequally distributed in peripherals municipalities in which are found worse conditions in terms of pressure for occupation and social and health indicators. The results obtained allows to infer that the sustainability must be analyzed from other centralities in a metropolitan region, like in the situation of providing environmental services as water, overcoming the burden of certain municipalities because of their population or income. This conception must be considered as relevant motivation for recovering the metropolitan management with focus on sustainability.

**KEYWORDS:** metropolis, sustainability indicators, environmental health.

**Leandro Luiz Giatti**

Doutor em Saúde Pública –  
FSP/USP

São Paulo, SP, Brasil  
lgiatti@usp.br

**Carlos Machado de Freitas**

Doutor em Saúde Pública -  
ENSP/FIOCRUZ

São Paulo, SP, Brasil

**Paulo Roberto do Nascimento**

Doutor em Saúde Pública -  
FSP/USP

São Paulo, SP, Brasil

**Rubens Landin**

Mestrando em Saúde Pública  
– FSP/USP

São Paulo, SP, Brasil

**Juliane Gavioli**

Mestranda em Saúde Pública  
– FSP/USP

São Paulo, SP, Brasil

**Silvana Audrá Cutolo**

Doutora em Saúde Pública -  
FSP/USP

São Paulo, SP, Brasil

**Natasha Ceretti Maria**

Mestranda em Saúde Pública  
– FSP/USP

São Paulo, SP, Brasil

**Amanda Silveira Carbone**

Mestranda em Saúde Pública  
– FSP/USP

São Paulo, SP, Brasil

**Renata Ferraz de Toledo**

Doutora em Saúde Pública -  
FSP/USP

São Paulo, SP, Brasil



## INTRODUÇÃO

Para a concepção de sustentabilidade, a saúde humana não pode ser tratada como dissociada do bem-estar, das mudanças socioambientais e dos impactos nos ecossistemas<sup>1</sup>. Assim, considera-se que efeitos sobre a saúde podem resultar de múltiplas interações ao final de longas e complexas redes de eventos e situações combinadas em diferentes escalas espaciais e temporais, compreendendo desde mudanças ambientais que alteram a distribuição e comportamento de doenças, vetores e hospedeiros até amplas mudanças socioambientais (MEA, 2005).

A isso, adiciona-se complexidade em situações de sinergia entre fatores como poluição atmosférica oriunda de veículos ou de queimadas, exposição a elementos tóxicos ou radiações, ilhas de calor urbano, riscos de desastres tecnológicos, hábitos sedentários em ambientes urbanos, vulnerabilidade social, etc. E ainda, situações onde exposições prolongadas podem ser mascaradas em longo prazo por outras causas, dificultando a identificação e real interpretação da importância do ambiente para a saúde (RAVETZ, 2004). Além disso, determinadas falhas no entendimento e nas ações perante fatos emergentes, como acidentes químicos, riscos tecnológicos, desastres e epidemias, podem gerar sérias consequências ampliadas e abalos no controle e na governança (DE MARCHI e RAVETZ, 1999).

Isso implica que problemas socioambientais requerem abordagens interdisciplinares e ações intersetoriais, com a

---

1 Neste trabalho consideram-se os ecossistemas como uma ampla categoria, que vem a incluir os ambientes construídos com suas complexas dinâmicas, também constando como sistemas abertos e auto-organizáveis

superação de modelos reducionistas sustentados em uma lógica predominante de causalidade, avançando além do clássico modelo de intervenção apenas sobre riscos conhecidos e comprovados (AUGUSTO, 2004). Assim, o elevado nível de incertezas nesse campo leva a demandar da ciência e da gestão a prática da precaução (FREITAS e PORTO, 2006), capaz de reconhecer a importância e ao menos antecipar e orientar planos de ação frente a ocorrências inesperadas, para as quais prevalecem elevadas apostas em termos de magnitude de consequências, controvérsias em valores e demandas por ações urgentes, emergenciais (RAVETZ, 2004).

Para estabelecer uma lógica precaucionária entende-se como primordial criar meios para que ocorra efetiva aproximação entre academia, gestores e sociedade – inclusive os sujeitos passíveis de serem afetados –, para que seja possível transcender a produção do conhecimento para além do meio circunscrito dos especialistas acadêmicos (FUNTOWICZ e RAVETZ, 1997). Para RAVETZ (2004), esse processo de constituição de uma ciência pós-normal pode ser considerado como uma extensão da democracia, apropriado a nossa era e aos dilemas atuais, além de ser necessário para lidar com as incertezas.

Em atendimento a essas premissas e, de modo a instrumentalizar a pesquisa com intervenções e participação de distintos atores, considera-se relevante a Abordagem Ecológica em Saúde, com expressão nos EUA e no Canadá sob a denominação de Ecohealth, que consiste de uma proposta de pesquisa capaz de envolver de modo participativo pesquisadores, sujeitos da pesquisa, representantes

governamentais e outros atores sociais de relevância (LEBEL, 2003)<sup>2</sup>. Para operacionalizar o processo de síntese de condições e tendências, em termos de situação de saúde e problemas ambientais desde sua gênese, em consequência de motricidade socioeconômica e política, a aplicação de indicadores de sustentabilidade vem contribuindo substancialmente permitindo o diálogo entre academia, sociedade e gestores, nesse sentido, sendo muito relevante e possível direcionar a saúde humana como foco do debate da sustentabilidade (CORVALÁN e col., 2000; ROMEIRO, 2012; BELLEN, 2005).

Contudo, a aplicação de indicadores de sustentabilidade ambiental e de saúde encontra um grande desafio mediante a retomada mundial do processo de governança das metrópoles, tema que foi ofuscado nas últimas duas décadas em favor do urbanismo que esteve em foco no período antecedente (KLINK, 2010). Este desafio se estabelece de modo marcante diante do esvaziamento político dos espaços metropolitanos e a consequente falta de articulação entre municípios componentes e planos setoriais insuficientes para apreender a complexidade e dimensão dos problemas metropolitanos (MARICATO, 2011; LEFÉVRE, 2009).

Desse modo, entende-se que os indicadores de sustentabilidade podem ter papel muito relevante, pois permitem identificar e sintetizar a natureza

---

2 Sobre Abordagem Ecológica em Saúde ver Cadernos de Saúde Pública: V.17 (supl.), de 2001; e V.25 (supl.1), de 2009. Um debate realizado em 2008 no Brasil sobre o tema (FREITAS e col., 2009) ressalta o desafio de se ampliar essa proposta para realizar pesquisas e intervenções para o nível de cidades-região, sendo isso recomendável para a busca de sustentabilidade ambiental e de saúde tanto em dinâmicas internas como para suas respectivas áreas de influência.

sistêmica dos problemas ambientais e de saúde em contextos metropolitanos, sendo, portanto, um meio de subsidiar e promover processos políticos e de gestão destes territórios. Assim, considera-se primordial a realização de estudos sobre as condições e tendências reinantes em municípios componentes e na metrópole, no sentido de compreender os distintos níveis organizacionais e a forma diferenciada como determinados processos de alterações dos ecossistemas e de seus serviços podem interferir na situação de saúde e na sustentabilidade dentro dos territórios metropolitanos.

Nesse sentido, o objetivo deste artigo é estabelecer uma concepção teórica e metodológica de aplicação de indicadores de sustentabilidade ambiental e de saúde capaz de contribuir com a abordagem de um sistema metropolitano, no caso a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), sob sua organização em distintos níveis, enquanto hólons, tendo como foco uma questão de saúde ambiental. Não sendo o propósito avançar profundamente em processo descritivo, realiza-se neste texto aplicação de matriz de indicadores de sustentabilidade ambiental e de saúde em torno da questão dos mananciais e dos recursos hídricos na metrópole estudada.

### Concepção teórica e abordagem metodológica

No processo de desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade alguns esforços vêm adquirindo destaque, por exemplo, a Avaliação Ecossistêmica do Milênio em escala global (MEA, 2005). E para a escala de países e grandes cidades, vem sendo desenvolvida a metodologia disseminada pelo Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente (PNUMA), denominada GEO – Global Environment Outlook, como no caso do GEO-Brasil, publicado em 2002,

ou GEO-Cidades, tendo como exemplo o GEO Cidade de São Paulo (2004).

A metodologia GEO se baseia em uma lógica de análise de Pressão – Estado – Impacto – Resposta (PEIR), desenvolvida a partir de esforços da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD). Paralelamente, o setor saúde elabora uma proposta de matriz de indicadores para a saúde ambiental (KJELLSTRÖM e CORVALÁN, 1995) que foi desenvolvida conjuntamente pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), Organização Mundial da Saúde (OMS) e Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA).

Esta matriz denominada FPSEEA estabelece um fluxo de demandas e pressões por recursos naturais e alterações nos ecossistemas, de modo a produzir um amplo olhar para as cadeias de causas e consequências que interferem no ambiente e na saúde e bem estar dos humanos. Suas múltiplas dimensões permitem analisar desde as forças motrizes (F) às pressões (P) que interferem no estado/situação do ambiente (S), modulando as exposições (E) dos humanos a doenças, que constam como os efeitos finais (E) na análise desta cadeia. Sob esse olhar, distintas formas de ação (A) são passíveis de execução em diferentes níveis, constatando-se que além de uma visão sistêmica sobre os problemas de saúde e ambiente são também possíveis variadas alternativas de controle e prevenção (CORVALÁN e col., 2000).

Compreende-se que esta amplitude de análise torna-se conveniente no sentido de descrever condições e tendências, inclusive em termos de vulnerabilidade, permitindo subsidiar a difusão de saberes relevantes ao estabelecimento de uma lógica precaucionária em processo dialético com gestores.

Em termos de aplicação da matriz FPSEEA, salienta-se o esforço do Ministério da Saúde a partir de 2006 com a produção de um folder contendo indicadores de saúde ambiental para os estados brasileiros (MS, 2006; MS, 2007; MS, 2008) e o de FREITAS e GIATTI (2009) sobre os estados da Amazônia Legal, em que se constitui uma alternativa para a superação das lacunas quanto a indicadores ambientais com a composição de “algo similar a uma foto de uma região que é o resultado da colagem de diferentes partes de outras fotos da mesma região tiradas em momentos distintos” (p.1262).

No que diz respeito ao modelo descritivo para distintos níveis organizacionais, adotamos a proposta de sistemas holárquicos abertos auto-organizáveis, que são úteis para caracterizar tanto sistemas ecológicos como também humanos. Suas unidades são os hólons, que caracterizam ao mesmo tempo um todo e uma parte de algo maior (KAY e col., 1999; WALTNER-TOEWS, 2001). Nessa analogia interpretam-se os 39 municípios da RMSP como hólons, únicos e em um mesmo nível, compondo um hólón em nível hierárquico superior, a metrópole.

Dada esta configuração, são passíveis inúmeros relacionamentos com causalidade mútua ou mesmo individual, guiando interações recíprocas em distintas direções entre um hólón e outro contíguo, ou mesmo em diferentes escalas. Nesse sentido, consideramos que para a descrição dos sistemas holárquicos auto-organizáveis abertos, no caso municípios componentes e metrópole, são necessárias: a descrição do desenvolvimento da estrutura de funcionamento do sistema e ações; a identificação de atores envolvidos; a indicação de decisões para instituições de interesse para intervenção; além do desenho de estrutura humana e ecológica e circunstâncias para encorajar e promover futuros mais desejados (KAY e col., 1999).

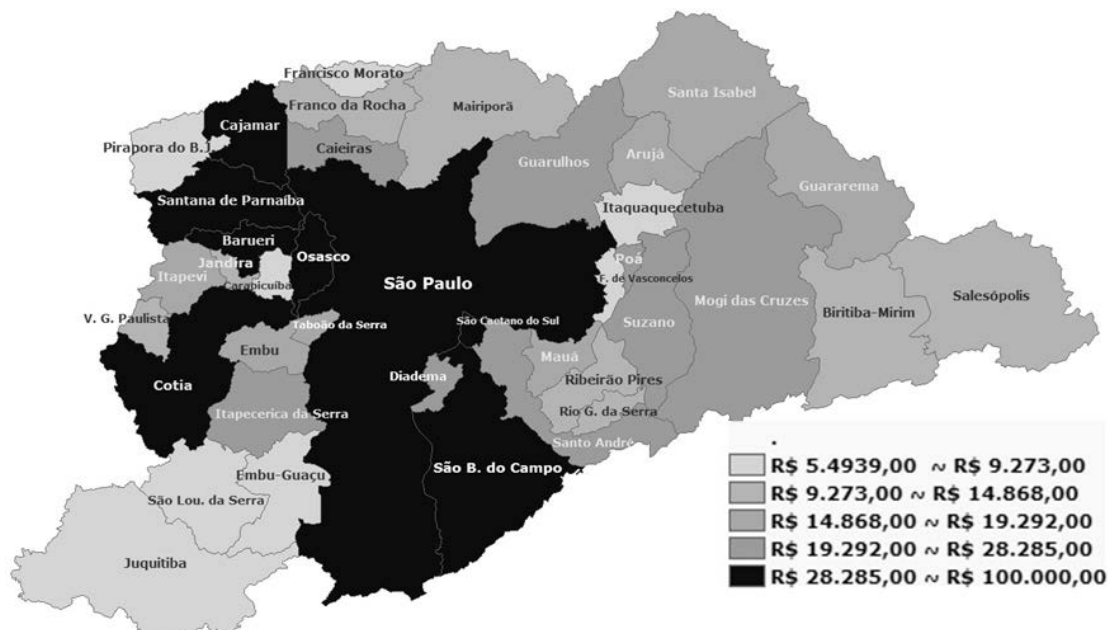


Figura 1 – Municípios da RMSP por PIB *per capita* em 2009  
 Fonte: Elaborado pelos autores com dados da Fundação SEADE (2012a)

Neste ensaio, em que se pretende avançar em uma concepção metodológica, toma-se como aplicação do modelo o requisito descritivo para desenvolvimento da estrutura e de funcionamento do sistema metropolitano da RMSP em torno da questão ambiental dos recursos hídricos, especialmente quanto às áreas de proteção de mananciais e a demanda de água por parte da população. Considerando as áreas de mananciais como importante componente dos sistemas de suporte à vida, pela propriedade de oferecer o serviço ambiental de abastecimento de água, procede-se neste texto a análise ampliada da questão ambiental, incorporando aspectos socioeconômicos e de saúde – na aplicação da matriz FPSEEA – que podem ter uma interrelação com a qualidade ambiental, mas também com os sistemas políticos e institucionais de respostas, por exemplo. Neste contexto, grandes assimetrias dentre os municípios componentes são passíveis de configuração.

### A questão dos recursos hídricos e das áreas de proteção de mananciais na estrutura holárquica da metrópole

A Região Metropolitana de São Paulo corresponde ao aglomerado de 39 municípios, abrigando cerca de 19,6 milhões de habitantes (IBGE, 2010) distribuídos em 7,9 mil km<sup>2</sup>, resultando na maior concentração populacional brasileira (EMPLASA, 2011). O seu Produto Interno Bruto (PIB) atingiu, em 2009, o valor de R\$ 613,1 bilhões, correspondendo a 18,9% do PIB nacional (PARLAMENTO METROPOLITANO, 2012), caracterizando-se como importante centro financeiro nacional e internacional, polo de prestação de serviços nas áreas de turismo, lazer, finanças, saúde, educação e atividades industriais (EMPLASA, 2011).

Como outros grandes centros urbanos brasileiros, sofreu dramático crescimento desde a década de 1950, caracterizado por amplo processo de periferização, especialmente da pobreza,

materializando um tecido urbano amplamente desigual em termos espaciais, em que a oferta de serviços públicos essenciais não acompanhou a velocidade de expansão da metrópole e das necessidades de sua população (SANTOS, 2009). Por sua vez, essa periferização vem sistematicamente ocorrendo nos municípios de maior importância na proteção de mananciais (SILVA e PORTO, 2003). Do mesmo modo como a metrópole apresenta amplas desigualdades sociais, também os problemas ambientais, ou mesmo os serviços ambientais essenciais para suporte à vida, seguem distintas formas de distribuição, caracterizando peculiares situações de injustiças socioambientais. As divisões administrativas municipais, por sua vez, não reconhecem necessariamente a espacialização das características dos ecossistemas no território (STEINER, 2004) e isso permite identificar a importância de uma análise sistêmica do conjunto metropolitano e dos papéis e forças dos distintos municípios quanto às pressões inerentes aos serviços dos ecossistemas, como no caso dos recursos hídricos.

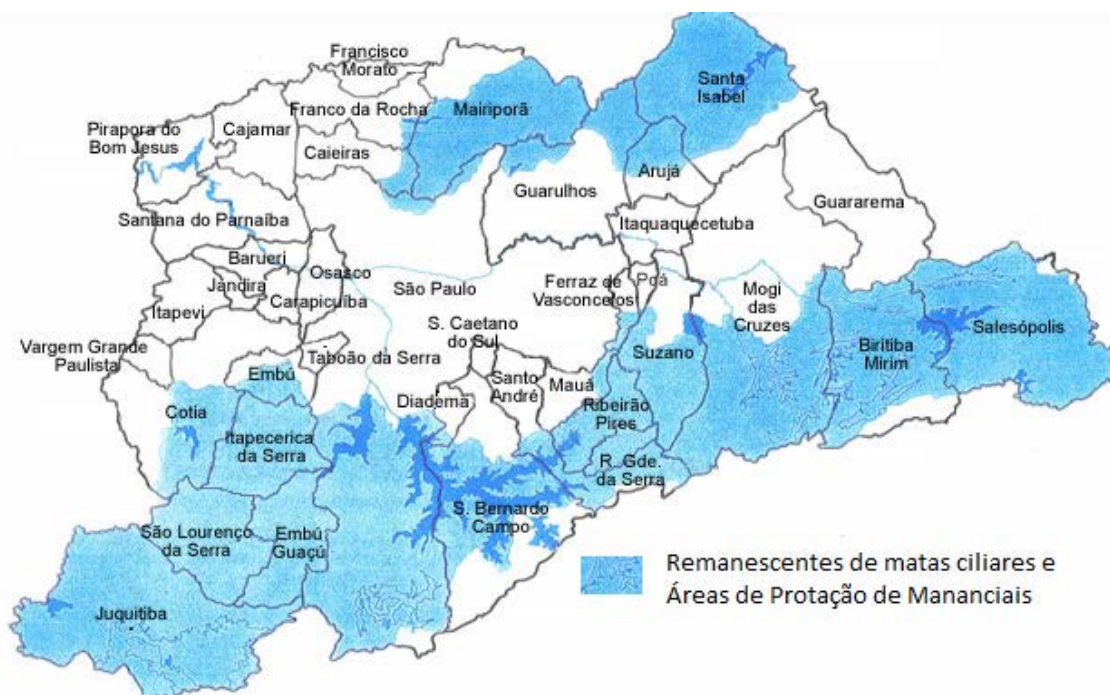


Figura 2- Áreas de Mananciais da Região Metropolitana do Estado de São Paulo

Fonte: SÃO PAULO, 2011.

Verificando o processo de crescimento econômico como elemento chave da motricidade do sistema metropolitano, apresenta-se a Figura 1, mapa temático ilustrando a centralidade espacial do indicador PIB *per capita* em torno do município sede da metrópole, São Paulo, e municípios com os mais diferenciados valores para este indicador em sua proximidade. Ressalta-se a escolha deste indicador por representar a distribuição da riqueza de modo proporcional à população existente nos municípios, não sendo, evidentemente, um indicador da distribuição da renda nas referidas unidades espaciais.

No que se refere às áreas de mananciais, a Figura 2 mostra a distribuição dessas áreas nos municípios da RMSP. A partir da comparação entre as figuras 1 e 2, propõe-se uma comparação visual que permite identificar como difere a distribuição dos maiores valores de PIB *per capita* da ocorrência de representativas áreas de mananciais nos municípios, ou seja, de uma forma geral os municípios com

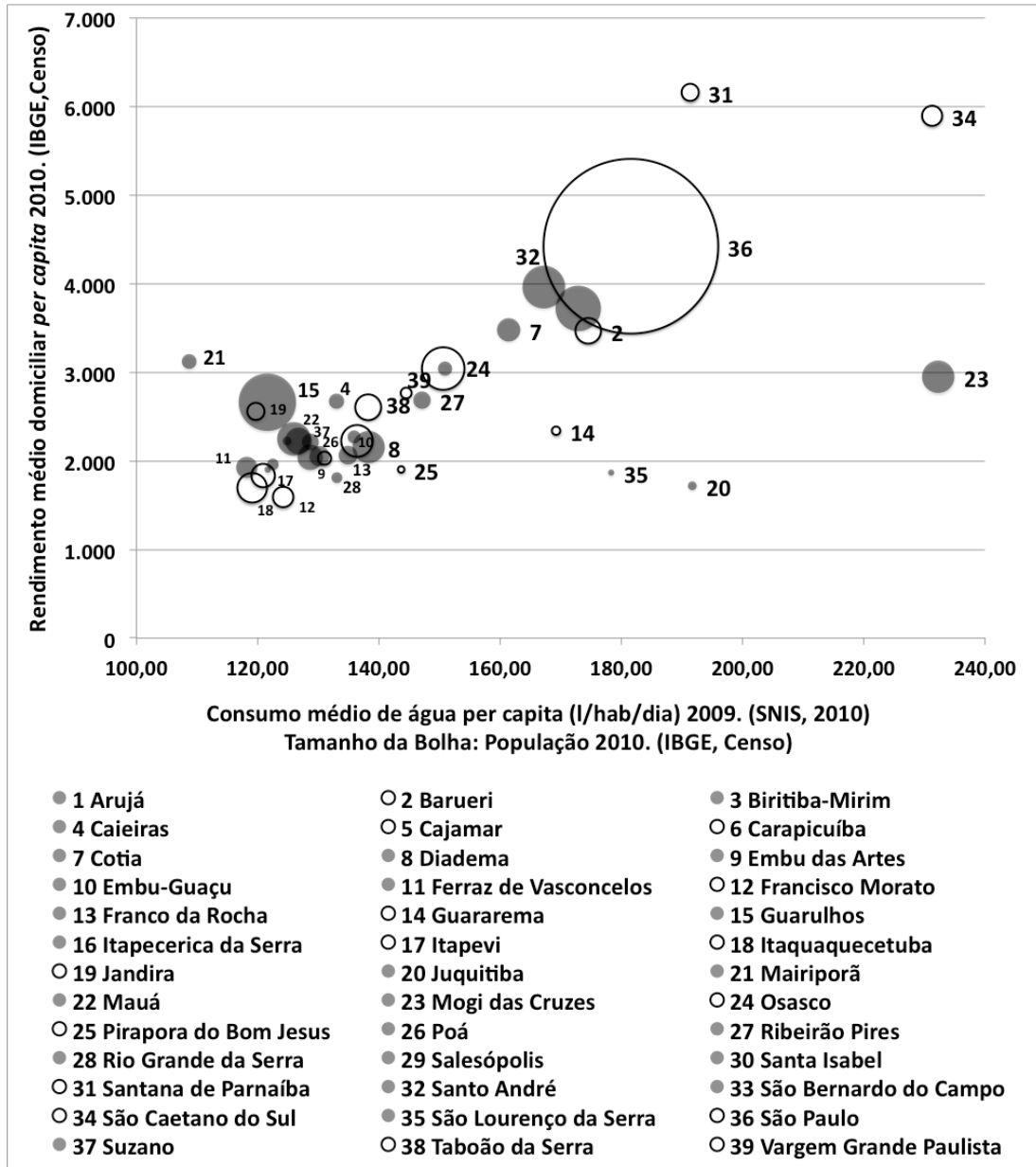
maiores valores de PIB *per capita* apresentam pouca ou nenhuma porção de seu território em áreas de proteção aos mananciais. Evidentemente, essa não é uma condição de exclusividade, pois, por exemplo, os municípios de São Bernardo do Campo e Cotia possuem significativas parcelas de área de proteção de mananciais, porém, apresentam-se na categoria de PIB *per capita* mais elevado. O município de São Paulo coincidentemente pode se inserir nesta condição, porém considera-se o mesmo como um caso à parte, tendo em vista sua centralidade do sistema metropolitano, além disso, as grandezas de sua riqueza e população (aproximadamente 11 milhões de habitantes) destoam esta unidade em comparação aos demais componentes da metrópole.

Para aprofundamento desta análise, propõe-se explorar a relação de um indicador de renda domiciliar, com a demanda per capita por água, conforme apresentado na Tabela 1. Assim, observa-se que há linearidade entre a elevação do valor médio do rendimento mensal

domiciliar *per capita* e a demanda *per capita* por água de abastecimento público nos municípios da RMSP. Assinala-se que a elevação deste indicador econômico denota melhor a questão de justiça ou injustiça social, diferentemente do emprego do PIB *per capita*. Dessa forma, pode-se inferir quanto ao processo de inclusão econômica da sociedade e elevação do consumo de água *per capita*. Tendo em vista a atual conjuntura brasileira de desenvolvimento econômico e migração de grandes parcelas populacionais elevando-se em suas posições dentre classes econômicas, torna-se preocupante, portanto, o possível reflexo deste processo exacerbando as pressões sobre os ecossistemas inerentes à elevação da demanda por água para abastecimento público.

Cabe ressaltar que a bacia hidrográfica do Alto Tietê abriga praticamente toda a RMSP e que suas áreas de proteção de mananciais compõem 54% do território (4.356 dos 8.051 km<sup>2</sup>) e 73% da área de drenagem da Bacia,

Tabela 1 - Distribuição do rendimento médio domiciliar *per capita* (2010) e da demanda *per capita* por água (2009) com representação da população (2010) nos municípios da RMSP



Fonte: Elaborado pelos autores

Nota: Municípios com parte significativa de território em áreas de mananciais são apresentados em bolhas na cor cinza caracterizando os mesmos como provedores de serviço ambiental água. Excetua-se dessa condição o município de São Paulo, pois apesar de possuir área de proteção de mananciais sua população é muito grande incidindo em demanda muito superior à capacidade de provimento do recurso água.

instituída enquanto unidade de gestão de recursos hídricos por meio da Lei Estadual nº 1.172/76, que também estabelece as normas e critérios de uso do solo e demais condições de ocupação compatíveis com a sua vocação ambiental.

É importante analisar a questão da baixa disponibilidade

hídrica na bacia do Alto Tietê frente às significativas demandas metropolitanas, por inúmeros conflitos reais de uso e, ainda, por estar localizada em área com déficit hídrico, conforme apresentado no Relatório de Avaliação Ambiental do Programa Mananciais da Secretaria de Saneamento e Energia (SSE,

2009). Essa limitação quantitativa se deve à sua localização no trecho de montante da bacia do rio Tietê, com direcionamento para a região oeste-interior do Estado de São Paulo, em sentido oposto à vertente marítima. Para o suprimento do déficit da produção hídrica do Alto Tietê, são importados 31 m<sup>3</sup>/s das águas do

complexo formado pelas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 1 m<sup>3</sup>/s da bacia da Baixada Santista e 0,5 m<sup>3</sup>/s da bacia do Litoral, que alimentam, respectivamente, os sistemas produtores de água metropolitanos Cantareira, Guarapiranga e Rio Claro. Essas reversões representam 48% da capacidade nominal dos oito sistemas produtores integrados (Alto e Baixo Cotia, Cantareira, Guarapiranga/Billings, Rio Claro, Rio Grande/Billings, Alto Tietê e Ribeirão da Estiva), que abastecem 99% da população residente na Bacia, além de 15% da demanda industrial, a qual complementa suas necessidades mediante fontes próprias, essencialmente com águas subterrâneas (SSE, 2009).

Segundo a Agência Nacional de Águas, vinte municípios da RMSP necessitarão de adoção de novos mananciais para atender suas respectivas demandas já em 2015. Entre eles, destacam-se nove municípios que não possuem área de proteção de manancial e, portanto, já exercem pressão sobre os demais, quais sejam: Cajamar, Jandira, Itapevi, São Caetano do Sul, Taboão da Serra, Carapicuíba, Barueri, Guarulhos e São Paulo (ANA, 2010).

Também se observa situações discrepantes na Tabela 1, como do município de Mairiporã (21), que possui grande parte de seu território em área de proteção de mananciais, rendimento domiciliar mediano, mas apresenta baixo consumo *per capita* de água. Em outro extremo, temos São Caetano do Sul (34), com destaque na elevação conjunta em termos de rendimento domiciliar e de consumo de água *per capita*, porém sem dispor de área de proteção aos mananciais.

A superioridade da população do município de São Paulo (maior bolha - 36) se combina com sua posição de destaque na associação de elevação de rendimento domiciliar e demanda *per capita* por água, posicionando-a

no extremo do conjunto em que se visualiza a linearidade do indicador. Essa condição permite colocar em questão um elemento chave para a sustentabilidade do sistema metropolitano: a elevação do padrão de rendimento opera de modo a ampliar a demanda por água para além do que seria esperado com o processo de crescimento populacional. Além disso, o histórico de escassez hídrica apresenta um quadro crítico de constantes crises, sobretudo diante da perspectiva otimista de desenvolvimento econômico e inclusão social que ocorre em nível nacional.

O extremo quanto a essa condição pode ser São Caetano do Sul, município com o maior Índice de Desenvolvimento Humano do Brasil em 2000, que faz refletir: se de um lado, evidentemente, almeja-se a elevação da renda e inclusão social, de outro, certamente não é sustentável que em todos os municípios ocorra a proporcional elevação do consumo *per capita* de água.

Explorando ainda mais desigualdades dentro da proposta de análise deste texto, deve-se observar que além das diferenças entre distribuições e centralidades de indicadores socioeconômicos ou ambientais, como no caso dos serviços ambientais, também os indicadores de saúde podem trazer modelos de dispersão ainda mais peculiares. Certamente, a situação de saúde, em parte expressa por meio de indicadores, é decorrente de amplas cadeias de fatores determinantes, como de natureza socioeconômica, ambiental, política, institucional, etc. E também, por sua vez, são elementos importantíssimos para a discussão dos reflexos das injustiças socioambientais sobre os grupos populacionais.

Tomando, por exemplo, a taxa de mortalidade infantil, um indicador consagrado de saúde e de grande aplicabilidade para questões municipais, inclusive para

diferenciar essas unidades em contextos metropolitanos, tem-se algumas observações entre as situações anteriormente tratadas e a taxa de mortalidade infantil em menores de 1 ano. No ano de 2010, essa taxa para a RMSP foi de 11,8 óbitos por 1.000 nascidos vivos. Quanto às piores posições para esse indicador, tem-se: Pirapora do Bom Jesus (39,0); Mauá (17,4); Rio Grande da Serra (15,9); Biritiba-Mirim (15,7); Ferraz de Vasconcelos (14,8) e Ribeirão Pires (14,6). Dentre estes seis municípios, apenas Pirapora do Bom Jesus não compõe o grupo de possuidores de áreas de proteção de Mananciais (FUNDAÇÃO SEADE, 2012b).

Na realidade, o principal elemento deste breve estudo das condições de municípios e da RMSP permite inferir quanto a alguns tipos de assimetrias que se estabelecem dentre as dimensões de análise que possam ser socioeconômicas (forças motrizes), ambientais (situação) e de saúde (efeito), retomando o sentido da aplicação de matriz de indicadores. Como exemplo, têm-se: a concentração de riqueza e de oferta de oportunidades, mas com contingenciamento da inclusão e da moradia nas áreas mais centrais – como no próprio município de São Paulo; a concentração de elevadas demandas *per capita* e total por recursos hídricos, frequentemente associadas à riqueza, no que diz respeito à distribuição da renda; a permanência de grupos populacionais menos favorecidos em municípios periféricos, estes que, por sua vez, assumem um papel primordial na oferta de serviços ecossistêmicos ou serviços ambientais, não somente o provimento de água.

## CONCLUSÃO

A identificação das desigualdades entre municípios componentes de uma metrópole, como a RMSP, deve ser ampliada em termos disciplinares e setoriais. Desse modo, não apenas a

centralidade metropolitana com base em indicadores socioeconômicos deve ser evidenciada, sendo importante inserir na análise outras dimensões de indicadores, como os de saúde e os ambientais utilizados no caso do serviço ambiental água aplicado neste texto. Assim, as assimetrias identificadas podem contribuir para o entendimento mais profundo dos municípios em termos de novas possibilidades para descrever sua importância dentro de um sistema metropolitano, tanto no sentido de discutir e planejar em torno da sustentabilidade, como também para empreender uma melhor gestão com foco na equidade, dadas as injustiças socioambientais inerentes.

No enfoque da sustentabilidade, a linearidade da relação da elevação de renda domiciliar com o aumento da demanda *per capita* por água exemplificam, além das crises possíveis dentro de um contexto nacional de inclusão social, quanto à necessidade de uma visão integrada sobre a metrópole, pois justamente o quadro de insustentabilidade ambiental da escassez do recurso também sobreleva a importância dos municípios provedores de serviços ambientais a um status de maior relevância.

A propósito, uma propriedade sistêmica a se explorar quanto a isso é que em sistemas holárquicos auto-organizáveis abertos há a propriedade de hierarquia livre (KAY e col., 1999). Ou seja, os fenômenos determinantes da sustentabilidade ou mesmo de crises, inclusive de cenários emergentes ou rupturas nos sistemas socioambientais, podem não prover exclusivamente, por exemplo, do município com a maior centralidade populacional e econômica. Ilustrando, no caso de algum desastre ambiental em determinado município periférico detentor de área de mananciais, isto poderia comprometer seriamente o abastecimento de água, gerando

uma profunda crise em todo o sistema metropolitano.

Esse tipo de análise torna-se recomendável para outras situações socioambientais nas metrópoles, em que se recomenda compreender os ecossistemas com sua propriedade de suporte à vida. Retomando o enfoque na RMSP, esta se constitui em território com inúmeros problemas que frequentemente se sobrepõem, associando situações sociais e ambientais que lhe conferem características enquanto seu perfil de aglomerado com mais de 20 milhões de habitantes, possuindo sérios problemas de poluição (ar, solo, água, etc.) e também com amplas desigualdades sociais e de saúde. Neste estudo, dá-se enfoque a uma proposta de analisar características marcantes deste território – no caso, com aspectos inerentes aos recursos hídricos – mas que adquirem diferentes configurações entre seus municípios componentes – hólons – e padrões diferenciados de distribuição espacial dentre cada uma das dimensões a serem analisadas, que sejam as forças motrizes, pressões e situações ambientais, ou os efeitos à saúde.

Importante ressaltar que o estabelecimento de indicadores não deve passar ao largo da necessidade crescentemente percebida de constituição de ferramentas de pactuação entre setores distintos da sociedade, que reúnam o objetivo comum de promover qualidade de vida e melhoria do estado de saúde da população. Nesse sentido, são tomadas as recomendações da Declaração do Rio, produto final da Conferência Mundial sobre Determinantes Sociais de Saúde, promovida pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 2011), que recomenda o estabelecimento de indicadores e metas capazes de promover o monitoramento das melhorias alcançadas em termos de condições de vida e redução de iniquidades, com dados desagregáveis a territórios locais e

grupos vulneráveis, bem como, que permitam a cobrança das responsabilidades pactuadas mediante mecanismos de retroalimentação, no que diz respeito à gestão intersetorial necessária. Esse processo de diagnóstico, planejamento, ações e retroalimentação, dentro do escopo de complexos quadros socioambientais metropolitanos, pode ser entendido como uma oportunidade de aplicação dos pressupostos de uma Abordagem Ecológica em Saúde, na qualidade propositiva para o enfrentamento do notório esvaziamento político e de planejamento para as regiões metropolitanas.

## REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional das Águas. ATLAS Brasil: Abastecimento urbano de água. Programa Nacional, Volume 1; Resultado por Estado, Volume 2. Brasília: ANA, 2010. (CD-Rom).

AUGUSTO, L. G. S. **Saúde e ambiente**. In: BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Saúde no Brasil: Contribuições para a agenda de prioridades de pesquisa. Brasília: Ministério da Saúde. p. 221-254. 2004.

BELLEN, H. M. V. **Indicadores de sustentabilidade** – Uma análise comparativa. 2ª ed. Rio de Janeiro: FGV Editora. 2005.

CORVALÁN, C.; BRIGGS, D.; KJELLSTRÖM, T. **The need for information: environmental health indicators**. In: CORVALÁN, C.; BRIGGS, D.; ZIELHUIS, G. (eds). Linkage methods for environment and health analysis – General guidelines. Geneva: United Nations Environmental Programme, United States Environmental Protection Agency, Office of Global and Integrated Environmental Health of the World Health Organization. p. 25-55. 2000.

- DE MARCHI, B.; RAVETZ, J. R. 1999. Risk Management and Governance: a Post-Normal Science Approach. **Futures**. Rotterdam. v. 31, n. 7, p. 743-757. set. 1999.
- EMPLASA - Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA. **Por Dentro da Região Metropolitana de São Paulo**. 2011. Disponível em: <http://www.emplasa.sp.gov.br/portalemplasa/index.asp>. Acesso em: 17 out. 2011.
- FREITAS, C. M. (org). **Enfoques ecossistêmicos em saúde – Perspectivas para sua adoção no Brasil e em países da América Latina**. Série Saúde Ambiental, Nº 2. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde / Organização Mundial da Saúde / Ministério da Saúde / Fundação Oswaldo Cruz. 2009. Disponível em : [http://new.paho.org/bra/index.php?option=com\\_content&task=view&id=618&Itemid=457](http://new.paho.org/bra/index.php?option=com_content&task=view&id=618&Itemid=457)).
- FREITAS, C. M.; GIATTI, L. L. Indicadores de sustentabilidade ambiental e de saúde na Amazônia Legal. **Cadernos de Saúde Pública**. Rio de Janeiro. v. 25, n. 6, p. 1251-66. jun. 2009.
- FREITAS, C. M.; PORTO, M. F. **Saúde, ambiente e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Fiocruz. 2006.
- FUNDAÇÃO SEADE - Sistema Estadual de Análise de Dados. Informações dos Municípios Paulistas. 2012a. Disponível em: [http://www.seade.gov.br/produtos/imp/index.php?page=consulta&action=var\\_list&tab=s=1&aba=tabela3&redir=&busca=Taxa+de+Crescimento+da+Popula%E7%E3o](http://www.seade.gov.br/produtos/imp/index.php?page=consulta&action=var_list&tab=s=1&aba=tabela3&redir=&busca=Taxa+de+Crescimento+da+Popula%E7%E3o). Acesso em: 31 aug. 2012.
- FUNDAÇÃO SEADE - Sistema Estadual de Análise de Dados. Mortalidade infantil. 2012b. Disponível em: [http://www.seade.gov.br/produtos/mortinf/tabelas/2010/pdf/tabela02\\_2010.pdf](http://www.seade.gov.br/produtos/mortinf/tabelas/2010/pdf/tabela02_2010.pdf). Acesso em 26 out. 2012.
- FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J. Ciência Pós-normal e comunidades ampliadas de pares face aos desafios ambientais. **História, Ciências, Saúde - Manguinhos**. Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 219-230. out. 1997.
- GEO cidade de São Paulo: panorama do meio ambiente urbano / SVMA, IPT – São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo, Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente. Brasília: PNUMA. 2004. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico e Contagem da População**. Rio de Janeiro: IBGE. 2010. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/cd/cd2010sp.asp> . Acesso em: 12 out. 2011.
- KAY, J. J.; REGIER, H.A.; BOYLE, M.; FRANCIS, G. An ecosystem approach for sustainability: addressing the challenge of complexity. **Futures**. v.31, n. 7, p. 721-742. set. 1999.
- KJELLSTRÖM, T.; CORVALÁN, C. Framework for the development of environmental health indicators. **World Health Statistics Quarterly**. Geneva. v. 48, n. 2, p. 144-154. 1995.
- KLINK, J. A reestruturação produtivo-territorial e a emergência de uma nova agenda metropolitana: o panorama internacional e as perspectivas para o caso brasileiro. In: KLINK, J. (org.). **Governança das metrópoles: conceitos, experiências e perspectivas**. São Paulo: Annablume. p. 7-17. 2010
- LEBEL, J. **Health – an ecosystem approach**. Ottawa: International Development Research Centre. 2003.
- LEFÉVRE, C. Governar as metrópoles: questões, desafios e limitações para a constituição de novos territórios políticos. **Cadernos Metrópole**. São Paulo. v.11, n. 22, p. 299-317. 2004.
- MARICATO, E. Metrôpoles desgovernadas. **Estudos Avançados**. São Paulo. v. 25, n. 71, p. 7-22. 2011. MEA - Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystem and human well-being – synthesis. Disponível em: <http://www.millenniumassessment.org/>. Acesso em: 14 de out. 2012.
- MS - Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância em saúde ambiental: dados e indicadores selecionados** Brasília: Ministério da Saúde . v.1, n.1. 2006.
- MS - Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância em saúde ambiental: dados e indicadores selecionados**. Brasília: Ministério da Saúde. v.2, n.2. 2007.
- MS - Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância em saúde ambiental: dados e indicadores selecionados**. Brasília: Ministério da Saúde. v.3. n.3. 2008.
- PARLAMENTO METROPOLITANO. Boletim Metropolitano de Conjuntura Social e Econômica. Consultoria Técnica de Economia e Orçamento - CMSP. Disponível em: <http://www2.camara.sp.gov.br/CTE O/Boletim-RMSP08-jan12.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2012.
- RAVETZ, J. The post-normal science of precaution. **Futures**. Rotterdam. v. 36, n. 3. p. 347-357.abr. 2004.
- ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômica-ecológica. **Estudos Avançados**. São Paulo. v. 26, n. 74, p. 65-92. abr. 2012.
- SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. São Paulo: EDUSP, 5ed. 2009.
- SÃO PAULO. Governo do Estado. Lei Estadual nº 1172 de 17 de novembro de 1976. Delimita as áreas de proteção relativas aos mananciais, cursos e reservatórios de água, a que se refere o artigo 2º da Lei nº



898, de dezembro de 1975, estabelecendo normas de restrição de uso do solo em tais áreas e dá providências correlatas. Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Lei-1172-76.pdf>. Acesso em: 20 set. 2012.

SÃO PAULO. Governo do Estado. Sistema Integrado de Gestão Ambiental - SIGAM. Disponível em <http://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Default.aspx?idPagina=5484>. Acesso em: 11 ago. 2011.

SILVA, R. T.; PORTO, M. F. A. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. **Estudos Avançados**. v. 17, n. 47, p. 129-145. abr. 2003.

SNIS – Sistema nacional de informações sobre saneamento. Série histórica 2010. 2010. Disponível em <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=29>. Acesso em 15 de junho de 2012.

SSE - Secretaria de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo; BIRD - Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento. Relatório de Avaliação Ambiental dos Componentes do Programa - Programa Mananciais. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo. p. 210. 2009. Disponível em: [www.saneamento.sp.gov.br/cariboo\\_st\\_files/relatorio\\_ambiental\\_revjun09.pdf](http://www.saneamento.sp.gov.br/cariboo_st_files/relatorio_ambiental_revjun09.pdf). Acesso em: 12 ago. 2012.

STEINER, F. Urban human ecology. **Urban Ecosystems**. v. 7, n. 3, p. 179-197. set. 2004.  
WALTNER-TOEWS, D. An ecosystem approach to health and its applications to tropical and emerging diseases. **Cadernos de Saúde Pública**. v.17 (suplemento), p.7-36. 2001.

WHO – World Health Organization. World Conference on Social Determinants of Health - Rio Political Declaration on Social

Determinants of Health. Disponível em: <http://www.who.int/sdhconference/declaration/en/index.html>. Acesso em: 21 set. 2012.

Recebido em: nov/2011  
Aprovado em: out/2013

# Uma análise do Projeto “Cenários Ambientais 2020” proposto pela Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo

A strategic view about the project "2020 Environmental Scenarios" proposed by the Secretariat for the Environment of the State of Sao Paulo

## RESUMO

Os cenários futuros representam prognósticos das condições socioeconômicas e ambientais em um horizonte temporal determinado, sendo hipotéticos de um futuro plausível e/ou desejável. Os cenários podem ser usados no planejamento para auxiliar na identificação do que pode acontecer se determinados eventos ocorrerem ou certos planos ou políticas forem implementados. Em 2007, buscando estruturar a gestão ambiental, a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo criou o projeto Cenários Ambientais 2020 com o objetivo de orientar a elaboração de políticas públicas de médio e longo prazo a partir de cenários ambientais prospectivos. No presente artigo, é analisado o processo de desenvolvimento dos cenários ambientais do referido projeto, a partir de quatro categorias de análise: relevância, credibilidade, legitimidade e criatividade. De acordo com a análise os cenários possuem: relevância, refletindo as tendências atuais no desenvolvimento do estado de São Paulo e as preocupações da sociedade; credibilidade, pois durante o seu desenvolvimento foram feitos diversos debates e discussões; legitimidade, pois contou com a participação de diversos atores em vários momentos; e criatividade, pois estimularam o pensamento criativo, desafiando a visão de futuro atual. Conclui-se que o projeto Cenários Ambientais 2020 é de grande importância para o planejamento ambiental estadual, uma vez que desenvolveu propostas de políticas públicas para questões atuais, englobando as questões ambientais e a opinião dos diversos atores.

**PALAVRAS-CHAVE:** cenários ambientais, gestão ambiental, planejamento ambiental

## ABSTRACT

Future scenarios represent simulations of different situations, predictions of socioeconomic and environmental conditions in a determined time horizon, being a hypothesis of a plausible and/or desirable future. The scenarios can be used in planning to identify what might happen if certain events occur or certain plans or policies are implemented. In 2007, seeking to structure environmental management, the Environmental Secretariat of the State of São Paulo launched the project *Cenários Ambientais 2020* with the objective of guiding the development of public policy for medium and long term from prospective environmental scenarios. This paper analyzes the scenarios development process in the referred project, based on 4 criteria: relevance, credibility, legitimacy and creativity. According to the analysis, the scenarios have relevance, reflecting the current worldview and societal concerns; credibility because during their development were carried out several debates and discussions, legitimacy, as with the participation of several actors in various times; and creativity because stimulated creative thinking, challenging the current vision of the future. We conclude that the project *Cenários Ambientais 2020* is of great importance for the state planning, once it developed policy proposals for current issues of great importance, encompassing environmental issues and beliefs of different actors.

**KEYWORDS:** environmental scenarios, environmental management, environmental planning

**Ana Paula Maria Regra**  
Bacharel em Ciências  
Biológicas, Mestre em  
Ciências da Engenharia  
São Carlos, SP, Brasil  
apregre@sc.usp.br

**Carla Grigoletto Duarte**  
Engenheira Ambiental,  
Doutora em Ciências pelo  
PPGSEA da EESC/USP  
Pesquisadora de Pós-  
doutorado - Escola  
Politécnica/USP  
São Paulo, SP, Brasil  
carla.duarte@usp.br

**Tadeu Fabrício Malheiros**  
Professor do Departamento  
de Hidráulica e Saneamento  
da Escola de Engenharia de  
São Carlos – USP  
São Carlos, SP, Brasil  
tmalheiros@usp.br

## INTRODUÇÃO

Com a intensificação dos problemas ambientais ao longo dos anos, percebe-se de maneira geral uma crescente preocupação com a necessidade de se realizar planejamentos da utilização, manejo e proteção dos recursos naturais. No Brasil, foi a partir da década de 1980 que o planejamento ambiental passou progressivamente a ser incorporado pelos órgãos governamentais, instituições e organizações, impulsionado principalmente pelo movimento internacional pró-ambiente (BUARQUE, 2003).

De acordo com Santos (2004), o planejamento ambiental é um processo contínuo para chegar a decisões ou a escolhas acerca das melhores alternativas para a utilização dos recursos disponíveis com a finalidade de melhorar o desenvolvimento das sociedades por meio do cumprimento de metas específicas no futuro.

Ainda segundo a autora, a ênfase do planejamento está na tomada de decisões, subsidiada por diagnóstico que ao mesmo tempo identifique e defina melhor o uso possível dos recursos do meio que está sendo planejado, e por meio deste diagnóstico, venha subsidiar a proposição de políticas públicas eficientes.

No contexto do planejamento voltado à proposição de políticas públicas, o desenvolvimento de cenários é útil na tomada de decisão, pois possibilita a avaliação das implicações futuras dos atuais problemas ou o surgimento de novos problemas, além de promover a participação de vários atores sociais no processo de tomada de decisão.

A elaboração de cenários é estudada no Brasil desde a década de 1970. Seu enfoque no planejamento nacional sempre esteve em questões econômicas relacionadas principalmente a cenários de energia. Na área

ambiental, os estudos dessa ferramenta ainda são restritos e as experiências muito recentes (BUARQUE, 2003).

No estado de São Paulo, a Secretaria do Meio Ambiente em parceria com outras secretarias e instituições, apresentou em 2009 o Projeto Ambiental Estratégico (PAE) Cenários Ambientais 2020 no qual foram elaborados cenários ambientais para os principais temas da gestão ambiental estadual, capazes de antecipar problemas e atuar de forma preventiva, de forma a orientar a formulação de políticas públicas.

Nesse artigo, é apresentado e analisado o processo de desenvolvimento dos cenários ambientais do referido projeto. A análise do projeto Cenários Ambientais 2020 buscou ampliar o conhecimento sobre a técnica de desenvolvimento de cenários, principalmente no que se refere à aplicação desta ferramenta em âmbito governamental na área ambiental do estado de São Paulo.

## MÉTODO

O estudo base deste artigo foi desenvolvido em quatro etapas. Na primeira, foi realizada uma pesquisa exploratória para compreensão do contexto e das motivações em que o projeto foi desenvolvido. Para isso foi realizada pesquisa bibliográfica e documental, incluindo consulta a *websites* e impressos oficiais.

Na segunda etapa, foi detalhado o conteúdo do projeto Cenários Ambientais 2020, a partir de documentação indireta, conforme o método proposto por Lakatos (1992), utilizando-se de pesquisas bibliográfica e documental e consulta ao documento final do projeto (SMA/CPLA, 2009).

Na terceira etapa, foi feita ampla pesquisa sobre métodos e boas práticas para o desenvolvimento de cenários, a fim de selecionar critérios de análise a serem aplicados ao caso em estudo.

Como a análise proposta por este trabalho se deu posteriormente ao desenvolvimento do projeto em questão, não foi possível consultar os seus participantes durante o processo, não havendo informações sobre a percepção dos mesmos sobre o desenvolvimento e o resultado do projeto. Por este motivo, entre os critérios levantados foi selecionado o conjunto que possuísse o maior número de critérios de análise possíveis de serem respondidos com as informações disponíveis. Sendo assim, foram selecionados aqueles baseados centralmente na proposta de Alcamo e Henrichs (2008), com quatro categorias principais: relevância, credibilidade, legitimidade e criatividade.

Por fim, foi feita análise do projeto Cenários Ambientais 2020 a partir dos critérios de análise selecionados, classificando cada indicador quanto ao atendimento do critério em: atende, atende parcialmente, não atende e informação não disponível/encontrada. Por serem critérios subjetivos, a justificativa das classificações é apresentada para cada indicador.

Este trabalho é resultado de uma das pesquisas integrantes do projeto O doce e o amargo da cana-de-açúcar: avaliação integrada de sustentabilidade do etanol no contexto brasileiro, financiado – pelo Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia – BIOEN.

## O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO CENÁRIOS AMBIENTAIS 2020

Na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), realizada em 1992, no Rio de Janeiro, pela Organização das Nações Unidas (ONU), 179 países assinaram a Agenda 21 Global, um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases

geográficas, que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica.

De acordo com o Ministério de Meio Ambiente (2004), a construção da Agenda 21 Brasileira, teve como objetivo “redefinir o modelo de desenvolvimento do país, introduzindo o conceito de sustentabilidade e qualificando-o com as potencialidades e as vulnerabilidades do Brasil no quadro internacional”.

Em 2002, a Secretaria do Meio Ambiente (SMA) do estado de São Paulo elaborou o relatório Agenda 21 em São Paulo, sobre a situação do estado no cumprimento da Agenda 21 brasileira. Tal relatório resultou na publicação intitulada Agenda 21: a experiência paulista desde 1992, que identifica as ações realizadas entre os anos de 1992 a 2002 no estado, apresentando um diagnóstico contendo dados como a análise populacional e os principais problemas socioambientais de seus municípios (SMA, 2003).

Em 2007, buscando continuar este processo de desenvolvimento da Agenda 21 local, e estruturar a gestão ambiental no estado, a SMA integrada a outros órgãos do governo do estado, e com parcerias com prefeituras, setor privado, organizações não governamentais e instituições de ensino e pesquisa, estruturou 21 Projetos Ambientais Estratégicos, que abrangem agendas ambientais em diferentes áreas, como a redução da geração de resíduos sólidos, esgoto tratado, qualidade do ar e das águas superficiais e subterrâneas, a descentralização da política ambiental em parceria com os municípios paulistas, entre outras. Entre esses 21 projetos, foi realizado o Cenários Ambientais 2020 que teve como objetivo elaborar propostas de políticas públicas de médio e longo prazo, a partir de cenários ambientais prospectivos.

## A CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS

De forma geral, toda atividade de planejamento parte de uma antecipação, seja para definir onde se pretende chegar e que realidade se deseja construir, ou para antever condições de futuro importantes para que os objetivos possam ser atingidos (BUARQUE, 2008).

Segundo Buarque (2008), há diversos caminhos para se conceber e desenhar futuros, entretanto, o planejamento tem buscado de forma crescente a técnica de cenários.

Para Santos (2004), os cenários futuros representam simulações de diferentes situações, prognósticos das condições socioeconômicas e ambientais em um tempo mais ou menos próximo, sendo hipotéticos de um futuro plausível e/ou desejável, podendo ser usados para auxiliar o planejador a identificar o que poderia acontecer se determinados eventos ocorressem ou certos planos ou políticas fossem implementados.

De acordo com Wright (2005), a construção de cenários é uma abordagem de pensamento estratégico que reconhece a imprevisibilidade do futuro, devendo ser utilizados como ferramenta para delimitar os caminhos possíveis de evolução do presente.

Segundo Buarque (2008) cenários são “configurações de imagens de futuro com base em jogos coerentes de hipóteses sobre o comportamento das variáveis centrais do objeto de análise e de seu contexto”.

Dessa forma, os cenários devem ser entendidos como uma ferramenta administrativa, e não como uma previsão, pois o seu propósito não é acertar o futuro, mas sim orientar a tomada de decisões, desafiando os seus usuários a pensar além do convencional.

Os cenários tiveram sua origem durante a Segunda Guerra Mundial onde era utilizado para prever o comportamento de seus adversários, buscando elaborar planos alternativos se determinado cenário ocorresse. Na década de 1960, o desenvolvimento de cenários evoluiu e passou a integrar o ambiente empresarial, onde a Shell foi pioneira, e por meio de Pierre Wack, veio a se tornar posteriormente referência na utilização de cenários no planejamento empresarial (BUARQUE, 2003). A partir de então a técnica de cenários passou a ser utilizadas por diversas multinacionais.

Alguns anos mais tarde, Peter Schwartz estendeu utilização de cenários de planejamento para os governos, fundando a *Global Business Network*<sup>1</sup> (BUARQUE, 2003).

Hoje o desenvolvimento dos cenários é utilizado em uma ampla variedade de contextos que variam desde a tomada de decisão política ao planejamento empresarial, e de avaliações ambientais globais à gestão da comunidade local (UNEP, 2010). Em 2002, o *Global Scenario Group*<sup>2</sup> publicou um pioneiro conjunto de cenários que estimulou o debate sobre os desafios da sustentabilidade.

<sup>1</sup> Fundada em 1987, a *Global Business Network* é especializada em ajudar as organizações a se adaptar e crescer de forma mais eficaz e mais responsável frente a incerteza sobre seu futuro, através da utilização de ferramentas como o planejamento de cenários. A GBN trabalha em estreita parceria com as principais companhias, governos e organizações sem fins lucrativos para ajudá-los a enfrentar seus desafios mais críticos de longo prazo.

<sup>2</sup> O *Global Scenario Group* (GSG) foi uma equipe de estudiosos do meio ambiente, liderada por Paul Raskin, que usou o desenvolvimento de cenários para analisar os caminhos futuros para o desenvolvimento do mundo em face das pressões ambientais e crises globais.

No Brasil, as primeiras referências acadêmicas sobre técnicas de antecipação de futuro surgiram na década de 1970, e a técnica de cenários passou a ganhar espaço na década de 1980 com estudos como de Hélio Jaguaribe (1986). O governo brasileiro tem grande experiência na utilização de cenários para o planejamento do setor de energia (MME, 2009).

Para a elaboração de cenários é necessário muito rigor e cuidado técnico, para que este seja realmente relevante e plausível, uma vez que a definição de hipóteses sobre o comportamento futuro é a parte central da construção dos cenários.

Borjeson *et al.* (2006) apresentam três etapas para o desenvolvimento de cenários: 1) a *geração de ideias* e coleta de dados, com o objetivo de reunir conhecimentos e pontos de vista

sobre possíveis situações de futuro; 2) a integração onde os dados coletados na etapa anterior são organizados e sistematizados, dando origem a estrutura dos cenários; 3) a análise da consistência dos cenários, para assegurar a coerência entre ou dentro de cenários. As técnicas de cada etapa podem ser observadas na Tabela 1.

## O PROJETO CENÁRIOS AMBIENTAIS 2020

O Projeto Ambiental Estratégico Cenários Ambientais 2020 teve como objetivo a elaboração de cenários ambientais prospectivos para o ano de 2020 capazes de dar suporte à elaboração de políticas públicas de médio e longo prazo (SMA/CPLA, 2009). A metodologia utilizada envolveu a participação de diversos atores

sociais, balizados pelo conhecimento técnico-científico da equipe da SMA.

Para o desenvolvimento dos cenários, 28 temas estratégicos foram prospectados e divididos em três macrotemas (SMA/CPLA, 2009):

\* Planejamento e Desenvolvimento Regional englobando os temas: cobertura vegetal, conflito pelo uso da água, desmatamento, expansão da cana-de-açúcar, novos pólos regionais, planejamento regional, recursos hídricos subterrâneos, reservas minerais, transferências entre bacias hidrográficas, unidades de conservação de proteção integral e expansão da zona costeira;

\* Planejamento e Desenvolvimento Urbano englobando os temas: dinâmica interna das regiões metropolitanas, esgoto doméstico, necessidades habitacionais, resíduos sólidos e transporte urbano;

Tabela 1 – Técnicas para a elaboração de cenários

Fonte: Adaptado de Borjeson *et al.* (2006)

Etapas	Técnicas	Definições/Objetivos
Geração de Idéias	Entrevistas	-Levantamento e identificação da visão de técnicos, especialistas, e atores sociais; -Organizar um conjunto de percepções e interpretações sobre probabilidades de eventos;
	Brainstorming	-Estruturação livre do pensamento; -Construir coletivamente as tendências das incertezas por meio do compartilhamento e confronto de idéias.
	Método Delphi	-Mecanismo de consulta a especialistas por meio do qual se estrutura uma reflexão sobre as hipóteses plausíveis para o futuro das incertezas; -Captar e confrontar a percepção diferenciada sobre a probabilidade de determinados eventos.
	Workshop	- Reunião de grupos de trabalho interessados em determinado projeto ou atividade para discussão e/ou apresentação prática; -Facilitar a ampliação da perspectiva pois podem contar com a participação de todas as partes interessadas;
Integração	Análise de séries temporais	-Se baseia em um conjunto de observações geradas sequencialmente no tempo.
	Modelos explicativos	-São baseados em relações causais na forma de equações de variáveis explanatórias; -Alterando as relações causais, um novo cenário será desenvolvido.
	Modelos de otimização	-Exploração dos dados futuros incertos e informações incompletas, de forma a melhorar a qualidade final do desempenho.
Consistência	Análise de impactos cruzados	-Técnicas que visam avaliar as mudanças na probabilidade de ocorrência de um determinado conjunto de eventos na sequência da real ocorrência de um deles.
	Morphological Field Analysis	- Baseia-se na representação de um problema usando um número de parâmetros (ou variáveis), que estão autorizados a assumir um certo número de condições (ou estados).

Tabela 2 - Estrutura Metodológica do Projeto Cenários Ambientais 2020

Fonte: SMA (2009)

Fase	Etapas	Objetivo	Resultados	Participantes
<b>Pré-projeto</b>	Debate	Estabelecer a melhor metodologia para o PAE “Cenários Ambientais 2020”	Proposta de uma metodologia baseada na metodologia utilizada no “Projeto Brasil 3 Tempos”, do MMA	Técnicos da SMA
	Seminário de apresentação pública da metodologia	Apresentar a metodologia adotada para o PAE “Cenários Ambientais 2020”.	Consolidação da metodologia adotada	160 pessoas – acadêmicos, estudantes, técnicos do governo e profissionais da área.
	Criação do “Comitê de Prospectiva”	Conduzir o projeto, tomando decisões necessárias, apreciar estudos, avaliar e deliberar sobre temas estratégicos, eventos futuros, identificar o grau de influência dos principais atores.	Consolidação do grupo de trabalho principal.	28 pessoas - representantes das instituições do sistema de gestão ambiental do Estado de São Paulo, das demais Secretarias do Estado e de segmentos da sociedade civil (conforme Resolução SMA 49/2008).
<b>Fase I – Diagnóstico: Identificação dos temas estratégicos</b>	Determinação da situação ambiental do Estado	Determinação das Variáveis de Estado	-Definição das quatro dimensões básicas: ar, recursos hídricos, solo e biodiversidade (Relatórios da CETESB, estudo em parceria com o Instituto Florestal) - Inclusão da dimensão “qualidade de vida” - informações apresentadas na forma de indicadores	Comitê de Prospectiva
	Determinação das principais atividades que influenciam na qualidade ambiental do Estado	Determinação das Variáveis de Influência	Estudos diagnósticos sobre as atividades e temas mais importantes: agropecuária, construção civil, demografia, desenvolvimento urbano, economia, energia, institucional, mineração, mudanças climáticas saneamento e transporte.	Comitê de Prospectiva
	Análise de Relevância	Seleção dos Fatos Portadores de Futuro prospectados	-Fatos Portadores de Futuro: 09 Variáveis de Estado e 42 Variáveis de Influência -Processamento das informações em algoritmos	Comitê de Prospectiva

Tabela 2 - Estrutura Metodológica do Projeto Cenários Ambientais 2020 (cont)

Fonte: SMA (2009)

Fase	Etapa	Objetivo	Resultados	Participantes
<b>Fase II - Análise Prospectiva: Identificação dos temas estratégicos a serem prospectados por meio da consulta web-delphi</b>	<i>Brainstorming</i>	Identificar temas estratégicos e respectivos eventos futuros	Definição preliminar dos temas estratégicos	Comitê de Prospectiva
	Reunião de especialistas	Debater a relevância dos temas definidos	Análise dos temas estratégicos	Pelos menos 3 especialistas de cada uma das diversas áreas envolvidas
	Seminário	Submeter os temas estratégicos e os eventos futuros a debates	Consolidação dos temas estratégicos e dos eventos futuros que seriam prospectados por meio da consulta web-delphi	-Comitê de Prospectiva -Especialista e representantes de instituições ligadas as áreas ambientais
	Consulta web-delphi	Permitir ampla participação da sociedade em todos os seus segmentos	Opinião da sociedade sobre a probabilidade e importância dos eventos futuros ocorrerem até 2020	5172 pessoas, entre pesquisadores de universidades, profissionais da área industrial, agropecuária, de comércio e serviços, órgãos públicos, entidades ambientalistas e sociais, federações e associações.
	Modelagem dos temas estratégicos (variáveis de Bernoulli e método de impactos cruzados)	Modelar os temas estratégicos para a construção dos cenários	Construção do Cenário de Referência	Técnicos da SMA
<b>Fase III – Solução Estratégica: Elaboração de uma estratégia de desenvolvimento para que o Estado de São Paulo alcance o melhor futuro possível em termos socioambientais</b>	Identificação do Cenário Ideal	Estabelecer uma direção para o futuro a ser perseguido pela SMA	Construção do Cenário Ideal	Comitê de Prospectiva
	Elaboração de Políticas Públicas	Aproximar o futuro do estado do Cenário Ideal	Conjunto de propostas de políticas públicas	-Comitê de Prospectiva -Técnicos de outras Secretarias do Estado, pesquisadores de Universidades, representantes do setor produtivo e de organizações não governamentais -Público em geral
	Identificação do Cenário Alvo	Determinar o quanto será possível se aproximar do Cenário Ideal considerando as políticas públicas propostas	Construção do Cenário Alvo	Comitê de Prospectiva
	Elaboração do Balanço Socioambiental	Comparar os impactos ambientais do Cenário Alvo em relação ao de Referência.	Balanço socioambiental entre o Cenário Alvo e o de Referência	Comitê de Prospectiva

\* Desenvolvimento Econômico e Infraestrutura englobando os temas: conservação de energia elétrica na indústria, consumo residencial de energia, crescimento econômico, critérios socioambientais de consumo, formalidade da economia, mudanças climáticas, perfil da indústria, pesquisa e desenvolvimento, preço do petróleo, transporte de carga, participação cidadã e qualidade da educação básica.

Para o projeto foram desenvolvidos três cenários: de Referência, Ideal e Alvo.

O Cenário de Referência identifica as principais tendências que poderão ocorrer até o ano de 2020, a partir dos resultados da consulta web-delphi, que envolveu mais de 5 mil participantes.

O Cenário Ideal foi definido como o melhor cenário possível para o estado de São Paulo. Para a definição deste cenário, além do

Tabela 3 - Avaliação dos cenários do PAE “Cenários Ambientais 2020” por meio das categorias de análise proposta por Alcamo e Henrichs (2008)

Categorias	Indicadores	Avaliação	Justificativa
Legitimidade	As mensagens dos cenários são politicamente aceitas e percebidas como justas?	----	Informação não disponível/ encontrada
	Os cenários evitam a manifestação de um determinado conjunto particular de crenças e valores?	☺	A construção de um Comitê de Prospectiva com especialistas variados e realização de um <i>web-delphi</i> é uma tentativa de evitar a manifestação de um conjunto particular de crenças e valores. De forma geral, os cenários manifestam as crenças e valores da sociedade.
	Os potenciais usuários dos cenários estão satisfeitos com o processo utilizado para desenvolver e comunicar os cenários?	----	Informação não disponível/ encontrada
	Houve uma variedade suficiente de partes interessadas e/ou especialistas envolvidos no processo de construção de cenários?	☺	O Comitê de Prospectiva contou com a participação de diversos especialistas. A sociedade também participou em alguns momentos por meio de consultas.
Criatividade	Os cenários provocaram um novo pensamento criativo?	☺	O projeto trouxe uma proposta inovadora que exigiu que os participantes exercitassem sua criatividade.
	Os cenários desafiaram visões atuais sobre o futuro?	☺	O projeto desafiou seus participantes a pensar em possíveis futuros diferentes daqueles estabelecidos na visão atual de futuro (cenário de referência).
	Os cenários informaram o seu público sobre as implicações da incerteza?	----	Informação não disponível/ encontrada
Relevância	Os cenários refletem as necessidades e preocupações de seus usuários alvo?	☺	Refletem as preocupações e necessidades da população, de especialistas, e dos participantes do Comitê de Prospectiva.
	Os cenários são relevantes para as atuais questões científicas e/ou decisões políticas?	☺	Sobre os temas mais importantes levantados foi realizada uma análise de relevância, e selecionados os mais importantes para as questões atuais
	Os resultados dos cenários são instigantes, surpreendentes?	----	Informação não disponível/ encontrada
	Os cenários contestam as crenças e ampliam a compreensão de especialistas, decisores e do público em geral?	☹	Não demonstra em nenhum momento a contestação de crenças, mas por meio dos vários seminários e da consulta pública estimula a ampliação da compreensão dos especialistas e do público em geral.



Tabela 3 - Avaliação dos cenários do PAE “Cenários Ambientais 2020” por meio das categorias de análise proposta por Alcamo e Henrichs (2008) – (cont)

Categorias		Avaliação	Justificativa
Credibilidade	O conteúdo dos cenários (por exemplo, hipóteses de causalidade) é compatível com a compreensão atual do mundo, especialmente a compreensão dos potenciais usuários dos cenários?	😊	A integração de vários temas de grande importância, nacional e internacional, demonstra uma compatibilidade com a compreensão atual de mundo.
	Os desenvolvimentos futuros descritos nos cenários são reconhecíveis no presente?	😊	A construção do Cenário de Referência baseou-se em questões do presente, sendo os desenvolvimentos futuros facilmente reconhecíveis no presente.
	Os pressupostos dos cenários são transparentes e bem documentados?	😐	A maioria das informações utilizadas encontram-se em relatórios da CETESB, entretanto algumas informações geradas durante o processo não estão disponíveis ao público.
	Os responsáveis pelo desenvolvimento de cenários consultaram as referências para este trabalho?	😊	Foram pesquisados, por dois meses, os principais projetos de cenários em âmbito mundial.
	O processo de desenvolvimento foi transparente?	😐	O público em geral teve acesso a algumas partes do desenvolvimento, entretanto os documentos detalhados sobre o desenvolvimento do projeto não foram disponibilizados para o público.
	O processo de desenvolvimento foi cientificamente rigoroso? Por exemplo, os modelos utilizados para gerar resultados quantitativos são confiáveis?	😊	Os métodos utilizados, variáveis de Bernoulli e método de Impactos Cruzados, podem ser considerados confiáveis.

Legenda: (😊) Atende (😐) Atende Parcialmente (😞) Não Atende (----) Informação não disponível/encontrada.

processo de modelagem matemática, houve também uma reunião do Comitê de Prospectiva para discussão dos trade-offs, questões estas que não podem ser resolvidas apenas por modelos matemáticos (SMA/CPLA, 2009). A partir do Cenário Ideal foram desenvolvidas as propostas de políticas públicas que contaram com três momentos diferentes: (1) Proposições de políticas públicas por parte da equipe do projeto; (2) Seminário que contou com a participação de técnicos de outras secretarias, pesquisadores de universidades, representantes do setor produtivo e ONGs; e (3) consulta pública para avaliação das propostas (SMA/CPLA, 2009).

Após a consolidação dessas propostas de políticas públicas, foi possível traçar o Cenário Alvo, o

mais próximo do Cenário Ideal possível de ser concretizado. Por fim, foi elaborado também um balanço socioambiental que consistiu na comparação dos impactos ambientais do Cenário Alvo em relação ao de Referência.

Na Tabela 2 é apresentada a estrutura metodológica do projeto, descrevendo fase, etapa, objetivo, resultados e participantes.

As técnicas utilizadas para a construção dos cenários são compatíveis com as etapas descritas por Borjeson *et al.*, (2006), pois pode-se observar uma etapa de geração de ideias, englobando técnicas como brainstorming, seminários (que são muito similares a workshops), e método Delphi (no caso web-delphi); uma etapa de integração por meio do método de variáveis binárias (variáveis de Bernoulli) e uma etapa de análise

de consistência com a utilização do método de impactos cruzados. Para garantir que o valor de probabilidade de ocorrência do cenário de referência estivesse dentro de um intervalo de confiança de 5% de erro, com 90% de certeza, foram realizadas 20 replicações de 15.000 simulações cada (SMA/CPLA, 2009).

## ANÁLISE DO PROJETO CENÁRIOS AMBIENTAIS 2020

O PAE Cenários Ambientais 2020 foi avaliado segundo as categorias de análise propostas por Alcamo e Henrichs (2008), Relevância, Legitimidade, Credibilidade e Criatividade. Os resultados podem ser observados na Tabela 3.

Os cenários desenvolvidos contemplam, ainda que de forma

Tabela 4 - Resumo das potencialidades e limitações dos cenários construídos no PAE "Cenários Ambientais 2020" a partir das categorias de análise propostos por Alcamo e Henrichs (2008).

Categorias de Análise	Potencialidades e Limitações
<b>Relevância</b>	Os cenários construídos inter-relacionam importantes questões de desenvolvimento socioeconômico com questões ambientais. Estes cenários, que tem como usuários alvo o governo estadual e os governos municipais, aborda uma relação que deve ser levada em conta principalmente nos processos de tomada de decisão destes governos. Entretanto, os cenários prospectados abordam mais as necessidades e preocupações da sociedade do que de seus usuários alvo devido a técnica que foi utilizada para a prospecção dos mesmos. Trata-se um trabalho inovador na medida que resgata as ferramentas de planejamento para a dimensão ambiental. Ampliou, ainda que sutilmente, a compreensão de especialistas, decisores e do público em geral.
<b>Credibilidade</b>	Para a prospecção dos cenários houve 3 seminários, uma consulta web-delphi, consultas públicas e debates para o levantamento dos temas estratégicos e eventos futuros compatíveis com a compreensão atual de mundo, de maneira que os desenvolvimentos futuros descritos nos cenários são reconhecíveis no presente. Entretanto, no projeto não fica claro os indicadores desenvolvidos para se chegar aos Fatos Portadores de Futuro. Apesar de ter sido um processo que envolveu consulta publica em alguns momentos garantindo uma certa transparência do processo, a sociedade não teve acesso aos documentos e relatórios parciais. Os métodos científicos utilizados estão alinhados com as recomendações de Borjeson et al (2006), conforme Tabela 1.
<b>Legitimidade</b>	Não foi possível avaliar se suas mensagens são politicamente aceitas, e se os potenciais usuários estão satisfeitos com o processo utilizado. Porém os cenários gerados contaram com a participação de uma grande variedade de especialistas, técnicos, representantes do setor produtivo, atores sociais etc. Os cenários manifestaram as crenças e valores da sociedade de maneira geral, pois foi a partir da consulta <i>web-delphi</i> que os cenários foram construídos.
<b>Criatividade</b>	Como o projeto desenvolveu outros cenários futuros, além do referencial, é possível inferir que este desafiou as visões atuais sobre futuro. Por ser um projeto inovador estimulou o pensamento criativo, porém faltam informações sobre a percepção dos participantes. Não é possível saber se o projeto informou seu público sobre as implicações da incerteza por falta de informações do desenvolvimento do projeto.

parcial, todas as categorias de análise propostas por Alcamo e Henrichs (2008). Por meio destas categorias foi possível analisar as potencialidades e limitações destes cenários, como pode-se observar na Tabela 4.

## CONCLUSÃO

O PAE Cenários Ambientais 2020 foi um projeto inovador na medida em que resgata ferramentas de planejamento para a dimensão ambiental, apresentando uma nova perspectiva para a gestão desta temática. Além disso, a ferramenta proporciona à administração pública a capacidade de antecipar-se aos problemas emergenciais e adotar ações de caráter preventivo.

A formação de um comitê de prospectiva contendo representantes das diversas

secretarias do estado, e de segmentos da sociedade civil possibilitou uma discussão intersectorial, com uma visão integrada e articulada sobre os diversos temas abordados no projeto. Propiciou enriquecimento no desenvolvimento do trabalho e efetivou as participações institucionais no mesmo.

A metodologia utilizada no projeto contemplou todas as categorias de análise propostas por Alcamo e Henrichs (2008), apesar de não ter conseguido responder todos os indicadores por falta de informações.

Os cenários abordaram questões importantes no atual contexto do desenvolvimento do estado de São Paulo, evidenciando necessidades e preocupações da sociedade, sendo, portanto, de grande relevância.

Pode-se afirmar que os cenários possuem credibilidade, pois muitos debates e discussões foram feitos para que os temas selecionados fossem compatíveis com a realidade do mundo atual.

Grande parte das informações utilizadas para elaborar os cenários estão disponíveis em relatórios da CETESB, porém, não há registro disponível de algumas informações desenvolvidas ao longo do processo, como por exemplo sobre a dimensão qualidade de vida, ou sobre os indicadores elaborados na fase de diagnóstico, o que fragiliza a transparência e comunicação de resultados do processo.

Apesar disso, os cenários foram considerados legítimos no que se refere à participação de diversos atores, pois o processo contou com técnicos e especialistas e envolveu a sociedade em vários

momentos, durante consultas públicas, seminários, e o web-delphi. A categoria Criatividade foi analisada parcialmente, pois seus indicadores exigiam informações mais detalhadas sobre os eventos ocorridos durante o desenvolvimento do projeto e da percepção de seus participantes.

Sendo assim, é possível observar que o PAE Cenários Ambientais 2020 buscou enfrentar dois desafios muito importantes: (i) o de inserir a questão ambiental nas projeções acerca do desenvolvimento do estado de São Paulo; (ii) o de promover a participação social na elaboração de políticas públicas. A proposta de cumprir com estes dois desafios neste projeto representa uma iniciativa de incentivo à implantação das questões da Agenda 21 Local, de promover um planejamento estratégico, por meio da elaboração de visão de futuro em conjunto com vários atores sociais e desta forma. Potencializa, assim, a possibilidade da inserção da questão ambiental conectada com as questões sociais e econômicas, por meio de um processo contínuo.

As categorias utilizadas na análise do projeto Cenários Ambientais 2020 possibilitaram uma visão geral das potencialidades e limitações dos cenários produzidos, em relação à metodologia utilizada para construção dos mesmos. Cabe ressaltar que houve dificuldades na avaliação dos cenários, por se tratar de variáveis qualitativas, sendo necessário um estudo posterior mais aprofundado nesta área para o desenvolvimento de indicadores mais adequados que consigam avaliar os cenários construídos de uma forma mais precisa, e que seja possível identificar onde estão as fragilidades do processo de maneira a remediá-las.

Assim, os resultados dessa pesquisa indicam que o processo de desenvolvimento do projeto Cenários Ambientais 2020 atende a maioria dos critérios aqui adotados para sua análise, configurando-se

então como uma iniciativa com amplo potencial de contribuição ao planejamento ambiental do estado de São Paulo. Certamente seus resultados concretos dependem da implementação das medidas previstas em seu plano de ação e de esforços na avaliação continuada.

## REFERÊNCIAS

ALCAMO, J; HENRICH, T. Environmental futures: the practice of environmental scenario analysis. In: Alcamo J. **Developments in integrated environmental assessment – Volume 2**, ELSEVIER, 2008, p. 13-35 (Chapter two).

BORJESON, L. et al. Scenario types and techniques: Towards a user's guide. **Futures**, v.38, p. 723-739, 2006

BUARQUE, S. C. **Metodologias e técnicas de construção de cenários globais e regionais**. Texto para discussão (IPEA), n. 939, fev 2003.

BUARQUE, S. C. **Construindo o desenvolvimento local sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

JAGUARIBE, H. **Brasil, 2000 – para um novo Pacto Social**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1986.

LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos** / Eva Maria Lakatos, Marina de Andrade Marconi. – 4. ed. – São Paulo: Atlas, 1992.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Agenda 21 brasileira: resultado da consulta nacional / Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional**. 2. ed. Brasília, 2004.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2008/2017 / Ministério de Minas e Energia**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2009.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Coordenadoria de Planejamento Ambiental. **Projeto Ambiental Estratégico Cenários Ambientais 2020**. São Paulo : SMA/CPLA, 2009.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SMA).

**Agenda 21: a experiência paulista desde 1992**. São Paulo, SMA/CETESB, 2003.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME. **GEO Resource Book: Training manual on integrated environmental assessment and reporting**. Nairobi: UNEP, 2010.

WRIGHT, A. Using scenarios to challenge change management thinking. **Total Quality Management**, v.16 (1) p. 87 – 103, 2005.

Recebido em: mai/2012

Aprovado em: out/2013

# Análise da compatibilidade de indicadores de desenvolvimento humano e sustentável do sistema das Nações Unidas com o BellagioSTAMP

## Compatibility analysis of the Human Development Index and Sustainable Development indicators of the United Nations system using the Bellagio Principles

### RESUMO

O presente artigo analisou a compatibilidade de três modelos de indicadores, relacionados com o desenvolvimento humano e sustentável, do sistema das Nações Unidas, em relação aos Princípios do BellagioSTAMP. Para isto, foi utilizado o método comparativo para a análise, que permitiu concluir que os BellagioSTAMP ainda não são atendidos pelo conjunto de sistema de indicadores e indicador - síntese analisados. Alguns princípios, como existência de considerações essenciais e ampla participação, constituem-se como os mais problemáticos, indicando a necessidade de melhoria da qualidade no processo de constituição de indicadores. O IDH-M foi o modelo que menos atendeu aos princípios, seguido pelo IDS. A Metodologia GEO Cidades se destacou como o modelo que mais atendeu aos princípios, sendo sua utilização e a inspiração em seu modelo aconselhável, dentre os modelos estudados, para a criação e o uso de indicadores capazes de aferir o caminho rumo ao desenvolvimento sustentável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Desenvolvimento sustentável, indicadores de sustentabilidade, Princípios do BellagioSTAMP, Indicadores das Nações Unidas

### ABSTRACT

This paper analyzes the compatibility of three models of indicators, related to human and sustainable development, from UN system, regarding the principles of BellagioSTAMP. For this, it was used the comparative method to the analysis, which made it possible to conclude that the studied models do not fully met by the analyzed set of system of indicators and synthetic index. Some principles, such as existence of essential considerations and broad participation, constitute as the most problematic, indicating the need for improvement of quality in the indicator models constitution process. The IDH-M was the model who less met the principles, followed by IDS. The GEO Cities Methodology stood out as the model which best met the principles, being its use and inspiration in this model advisable, among the studied models, for the production and use of indicators able to measure the path towards sustainable development.

**KEYWORDS:** Sustainable development, Indicators, United Nations

**André Giovanini de Oliveira Sartori**

Doutorando em Ciências da Engenharia Ambiental – USP  
São Carlos, SP, Brasil  
brasilandresartori@sc.usp.br

**Ricardo da Silva Siloto**

Doutor em História,  
Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, da Universidade Federal de São Carlos  
São Carlos, SP, Brasil  
rss@ufscar.br.

## INTRODUÇÃO

Um dos dilemas da sociedade atual é a concomitância da saturação, na forma predatória da produção e do consumo dos bens naturais, com a necessidade de uma distribuição socialmente equitativa dos recursos disponíveis no planeta. A difícil construção de consensos na busca de uma forma de desenvolvimento que, seja equilibrado e sustentável, e a estruturação de projetos, programas e políticas, que avancem nessa direção, requer o conhecimento sistemático, e ao mesmo tempo, a sensibilização dos atores sociais envolvidos, contemplando a sua diversidade intrínseca e identificando conflitos.

Nesse sentido, a estruturação de bancos de dados e informações e o emprego de instrumentos de mensuração, avaliação e monitoramento como ferramentas de apoio à gestão, têm se constituído num esforço de diferentes esferas da administração pública. Destaca-se o papel das Nações Unidas (ONU), que vêm se consolidando como a instituição central, tanto na articulação de acordos multilaterais internacionais sobre o tema, como na elaboração de sistemas de indicadores, embasados em relatórios técnicos, sobre desenvolvimento sustentável. A Agenda 21, estabelecida em 1992 na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano, põe-se como um marco temporal nesse processo. Ela ressalta a importância dos indicadores para todo cidadão, provedor e usuário de informação, bem como da sua consistência e da busca da homogeneidade da qualidade das informações.

Em uma condição de ciclo virtuoso, a prática tem demonstrado que a utilização de indicadores na gestão pública tem auxiliado o surgimento de critérios mais objetivos e transparentes nas definições das ações e investimentos públicos (NAHAS, 2002).

Há limites e eles devem ser conhecidos e explicitados. Os indicadores são sempre uma apreensão parcial da realidade e, portanto, não a substituem. Essa percepção leva à adoção de determinados cuidados na sua produção, como a clareza quanto ao seu objetivo, a identificação de seus potenciais usuários, a sua abrangência e a definição das variáveis componentes. As opções necessariamente tomadas em suas diferentes fases - concepção, produção e implantação - trazem, obrigatoriamente o caráter de parcialidade, sejam para indicadores-síntese, conjunto ou sistemas de indicadores. As fases de criação de modelos de indicadores devem contemplar, entre outros fatores mais evidentes, a busca de uma comunicação eficiente com seus usuários - setor público, tomadores de decisão ou sociedade civil -, como condição essencial para a constituição da representatividade necessária ao instrumento (HARDI, ZDAN, 1997; GALLOPIN, 1996).

O potencial destas ferramentas, na avaliação de um progresso rumo ao desenvolvimento sustentável, reside em sua capacidade de servir para o embasamento da tomada de decisão, ao subsidiar informações relevantes para a política e o todo o processo de tomada de decisões, desde o estabelecimento até o acompanhamento das ações pelas partes interessadas. (VAN BELLEN, 2005; MALHEIROS *et al.*, 2008; VEIGA, 2010). Apesar das potencialidades vislumbradas, a tomada de decisão, auxiliada pelo uso de ferramentas de informação e baseada em princípios do desenvolvimento sustentável, em que os aspectos ambientais, econômicos e sociais são levados em consideração, ainda se mostra escassa e, por vezes, ineficaz, como aponta Pintér *et al.* (2012), com relação à realidade dos países da União Europeia e membros da OECD.

Diante desta realidade, algumas constatações podem ser feitas, e a principal delas é a de que se a produção e utilização de modelos de indicadores para o auxílio da tomada de decisão, circunscrita na visão de desenvolvimento sustentável, já é recente e escassa, a análise das suas fragilidades e potencialidades tende a ser ainda mais.

Neste sentido, este artigo busca analisar, qualitativamente, a compatibilidade que três modelos de indicadores ligados ao desenvolvimento e à sustentabilidade, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M); Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IDS); e Metodologia GEO Cidades possuem em relação com o BellagioSTAMP, referência na análise de indicadores de desenvolvimento sustentável.

Objetivou-se pontuar quais são os modelos mais aptos para retratar o estágio de desenvolvimento de um dado espaço, em escala local, regional ou nacional, perante a visão do desenvolvimento sustentável.

## BELLAGIOSTAMP

A organização de princípios e critérios norteadores para a elaboração de modelos de indicadores de desenvolvimento sustentável recebeu uma significativa contribuição em 1996 quando, sob a promoção e coordenação da IISD – International Institute for Sustainable Development -, um grupo de cientistas e lideranças na área organizou, sintetizou e sistematizou as diretrizes gerais para sua consecução. Dessa forma surgiram os Princípios de Bellagio, em alusão à comunidade italiana que sediou o encontro. Esses princípios, que foram amplamente disseminados, se mostram úteis para guiar, em uma perspectiva holística, o desenvolvimento de sistemas de indicadores e avaliações capazes de gerar informações relevantes e

confiáveis acerca do desenvolvimento de uma determinada realidade, em relação à busca pelo desenvolvimento sustentável (PINTÉR *et al.*, 2012; BOSSEL, 1999; HARDI, ZDAN, 1997). Segundo Bakkes (2012), os princípios servem para auxiliar as avaliações na formulação das perguntas que devem ser respondidas nas avaliações; escolha do método que as avaliações utilizarão; definição da escala espacial, temporal e temática das avaliações; e na maximização de seu impacto perante os tomadores de decisão e o público em geral.

Para mantê-los atualizados

com as mudanças no contexto das mensurações, o IISD, em parceria com a Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento - OECD -, promoveu nova reunião de especialistas, sendo boa parcela deles participantes da reunião que gerou os princípios originais, para realizarem uma revisão crítica dos Princípios de Bellagio, no final de 2009 na Coréia do Sul. Sob o novo nome de “BellagioSTAMP” (HARDI, ZDAN, 2009), os princípios foram retrabalhados, de modo que ambiguidades e duplicações foram eliminadas, a fim de se tornar os princípios mais sucintos. Como

resultado, os dez princípios originais foram reduzidos para oito. O BellagioSTAMP se constitui como um novo conjunto de princípios orientadores dos indicadores utilizados para medir e avaliar a tendência, ou não, de rumo à sustentabilidade.

No que se refere aos usuários potenciais dos princípios, estes foram definidos como sendo comunidades envolvidas no desenvolvimento de sistemas métricos alternativos; comunidades, em geral, focadas na avaliação integrada e sua comunicação; e pessoas envolvidas em projetos ou

Tabela 1 - Comparação entre casos estudados em relação ao atendimento aos Princípios do Selo de Bellagio

BellagioSMART		CASOS ESTUDADOS		
		IDS	IDHM	GEO
<b>Princípio 1: Estabelecimento de visões</b>	Proporcionar bem-estar dentro da capacidade da biosfera e mantê-la em condição para as gerações futuras			
<b>Princípio 2: Considerações essenciais</b>	Bem-estar dos subsistemas e interação entre eles			
	A adequação dos mecanismos de governança			
	Dinâmicas, tendências atuais e padrões de mudança			
	Riscos, incertezas e limites			
	Implicações para o tomador de decisão			
<b>Princípio 3: Escopo adequado</b>	Horizonte de tempo apropriado			
	Escopo geográfico apropriado			
<b>Princípio 4: Estrutura e indicadores</b>	Domínio dos principais indicadores			
	Inferir tendências e criação de cenários			
	Métodos padronizados de medição			
	Comparação dos valores com metas e padrões			
<b>Princípio 5: Transparência</b>	Indicadores e resultados sejam acessíveis para o público			
	Tornar clara as escolhas, suposições e incertezas			
	Revelar as fontes de dados e métodos			
	Revelar fontes de financiamento e conflitos de interesse			
<b>Princípio 6: Comunicação efetiva</b>	Utilizar-se de linguagem clara e simples			
	Apresentar informações de forma justa e objetiva			
	Usar ferramentas visuais e gráficos inovadores			
	Tornar os dados disponíveis			
<b>Princípio 7: Ampla participação</b>	Refletir o ponto de vista do público			
	Envolver usuários da informação			
<b>Princípio 8: Continuidade e capacidade</b>	Repetição de mensuração			
	Capacidade de resposta à mudança			
	Desenvolvimento e capacidade adequada			
	Aprendizado e melhoria contínua			

Fonte: Baseado em Hardi e Zdan (2009)

políticas focadas na avaliação (PINTÉR *et al.*, 2012).

Como elemento central da análise realizado neste trabalho, os princípios BellagioSTAMP são apresentados na Tabela 1.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O presente artigo buscou analisar a compatibilidade que modelos de indicadores de desenvolvimento humano e sustentável do sistema das Nações Unidas possuem em relação aos princípios do BellagioSTAMP. A primeira etapa consistiu na definição do universo de análise, por meio da seleção de três modelos de indicadores relacionados com o desenvolvimento sustentável.

Dois critérios foram utilizados para a seleção da amostra dos casos a serem estudados. O primeiro foi a vinculação do indicador com o Sistema ONU, sendo que os indicadores originados de produção direta, parceria, ou até inspirados em modelos do Sistema ONU, amplamente conhecidos em escala internacional, foram escolhidos. Isto se deve ao fato de a ONU ter liderado e aglutinado esforços para a criação de indicadores, da década de 1990, com a participação de especialistas do mundo todo, no desenvolvimento de estruturas e metodologias que serviram de referência para a criação de outros indicadores. Levou-se em conta também a capacidade institucional dessa entidade para manter o funcionamento e a melhoria contínua de suas produções, além da sua capacidade de divulgação dos resultados para o mundo, de forma geral.

O segundo critério foi a existência de edição dos casos estudados em território nacional, já inspirado ou adaptado à realidade brasileira. Por último, o terceiro critério se baseou na escolha de um modelo que melhor representasse o estudo do desenvolvimento humano, outro que representasse a

análise do desenvolvimento focado no meio ambiente (impacto da urbanização no meio ambiente), e um terceiro que buscasse abarcar tanto o ponto de vista social, quanto ambiental.

Assim, foram selecionados: Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IDS); Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) e Metodologia GEO Cidades. O resultado da definição da amostra a ser estudada culminou, então, em diferentes tipos de indicadores (conjuntos, índices e sistemas) que abordam diferentes aspectos do desenvolvimento sustentável (desenvolvimento sustentável, desenvolvimento humano e meio ambiente), de maneira a existir grande heterogeneidade entre eles, na forma e nos objetivos.

A análise qualitativa foi feita a partir da observação da existência ou não de cada princípio do BellagioSTAMP nos modelos estudados. Para isso, foram analisadas as edições, conjuntos de informações e web sites de cada modelo, sendo a quantidade de informação vista delimitada pelo seu livre acesso para o cidadão comum, o que coaduna com o princípio da transparência, no que diz respeito à acessibilidade às informações para todo o público. Sendo assim, buscou-se analisar a existência dos princípios do BellagioSTAMP nas visões, princípios, metas, mecanismos e outros fatores de cada caso estudado, sempre se julgando o modelo como um todo, e não cada indicador de forma separada.

Cada princípio e cada modelo foram analisados individualmente. Para efeito de comparação entre os modelos, houve a criação de uma matriz relacional (Tabela 1), que vinculou o estágio de atendimento dos princípios do BellagioSTAMP com cores, de forma a facilitar o entendimento do estudo. Os graus de atendimento foram identificados como “princípio atendido” (cor

verde), “princípio parcialmente atendido” (cor amarela) e “princípio não atendido” (cor vermelha). A aplicação do BellagioSTAMP serve para identificar e ressaltar as potencialidades e aptidões que os modelos possuem em relação com aquilo que é entendido como ideal.

## ANÁLISE DOS MODELOS DE INDICADORES

### Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – IDS

Fruto de um esforço nacional para a elaboração de um sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável, o IBGE publicou, nos anos de 2002, 2004, 2008 e 2010, os Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – IDS (IBGE, 2010).

Este trabalho se remete à proposição das Nações Unidas de testar a metodologia do Livro Azul. A motivação para a construção do Sistema de Indicadores proveio da realização da Conferência Mundial do Meio Ambiente de 2002, na cidade de Johannesburgo, conhecida como Rio + 10, e teve como principal premissa oferecer à sociedade brasileira, principalmente pesquisadores e formuladores de políticas públicas, integrantes dos setores público e privado e das organizações sociais, uma informação estruturada, voltada para a avaliação da trajetória do país em relação ao desenvolvimento sustentável e, em particular, à Agenda 21.

De acordo com o IBGE (2010), os indicadores componentes do sistema foram elaborados para retratar fenômenos de curto, médio e longo prazo, a fim de identificar variações, comportamentos, processos e tendências, com o objetivo também de informar características comparáveis entre as regiões brasileiras e outros países. Sua meta final foi concebida no

sentido de incidir, enquanto ferramenta de informação, positivamente no levantamento das necessidades e prioridades para a formulação, monitoramento e avaliação de políticas.

A composição do Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IDS) coube a um grupo de técnicos do IBGE e se baseou nas instruções das Nações Unidas, mais especificamente no modelo do Livro Azul, constando apenas uma modificação quanto à divisão em subtemas proposta pela CSD no Livro Azul, que não foi adotada pelo IBGE. Scandar Neto (2006) catalogou o Conjunto de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável, produzido pelo IBGE, como um sistema de indicadores. Seu método se embasou estruturalmente na definição de quatro grandes dimensões – social, ambiental, econômica e institucional –, em que cada dimensão foi constituída por indicadores. Essas dimensões devem ser analisadas individualmente.

O IDS é composto por 55 indicadores no total, onde: 19 indicadores pertencem à dimensão social; 20 indicadores à dimensão ambiental; 11 indicadores à dimensão econômica; e 5 indicadores à institucional.

Análise da compatibilidade do IDS em relação os princípios do BellagioSTAMP:

- Princípio 1 (Estabelecimento de visões): O princípio é atendido totalmente, pois, por ter adaptado a metodologia proposta pelo Livro Azul, o IDS segue a conceituação de desenvolvimento sustentável aceita mundialmente e utilizada pelo Sistema das Nações Unidas, e seus objetivos consagram a implementação e o estudo do desenvolvimento sustentável de acordo com o estabelecido pela Agenda 21.
- Princípio 2 (Considerações essenciais): a propriedade bem-estar dos subsistemas e interação entre eles é parcialmente atendida, pois

trabalha com elementos essenciais à sustentabilidade somente em relação à dimensão ambiental, não abordando temas importantes como a urbanização, que era trabalhada pelo Livro Azul e que corresponde a um espaço geográfico em que há grande interação entre a sociedade e a natureza, onde mais de 83% da população brasileira reside. A propriedade adequação aos mecanismos de governança não é atendida, pois somente existe o levantamento da existência deles, tais como órgãos ambientais. Fato a ser repensado, neste sentido, é capacidade de acoplamento que o sistema pode ter, mediante adaptação, com os objetivos da Agenda 21, visto que ele trabalha aspectos comuns com a mesma. A propriedade ligada ao estudo entre as dinâmicas atuais e os padrões de mudança não é atendida, o que pode ocorrer é vislumbrado a partir da comparação entre as versões produzidas pelo sistema, não havendo ferramentas que proporcionem o desenho de cenários futuros, o que também reflete no não atendimento da propriedade relacionada aos riscos, incertezas e limites à sustentabilidade, que sequer é mencionada. Outra propriedade não atendida diz respeito às implicações para o tomador de decisão, que não existem justamente pelo fato de não haver definição sobre quem é o tomador de decisão idealizado como utilizador do sistema.

- Princípio 3 (Escopo adequado): atende parcialmente à propriedade horizonte de tempo apropriado, pois o objetivo de capturar tanto efeitos de curto, médio e longo prazo é alcançado quando se aproveita análises históricas e gráficos que demonstram a tendência, ao longo dos últimos tempos, dos objetos estudados. Porém, o desdobramento das ações atuais só é possível de ser constatada de acordo com a produção das edições do sistema. Já a propriedade do escopo geográfico é parcialmente

atendida, tendo em vista que parte da escala nacional, mas também constata situações locais, como o estudo da dinâmica e situação atual de biomas brasileiros. No entanto, não aborda a urbanização, fenômeno que, partindo da escala local, ocasiona mudanças em escalas maiores.

- Princípio 4 (Estrutura e indicadores): a propriedade do domínio dos principais indicadores é atendida pelo fato de o IDS ter passado por modificações, ao longo de suas edições e, assim, ter criado um terreno fértil para a análise dos resultados. No entanto, a propriedade relativa a inferir tendências e criação de cenários é parcialmente atendida, pois o modelo foi desenvolvido para a identificação de tendências somente em curto prazo, não havendo previsões ou cenários para efeitos no futuro. A variável relativa aos métodos padronizados de medição e a comparação dos valores com metas e padrões, é parcialmente atendida, pois há inconsistências tanto na série histórica dos dados, quanto na existência de poucos indicadores de comparação com alvos e valores de referências predeterminados para o seu entendimento, o que abre precedente para uma análise dos resultados própria a cada usuário. Apesar disso, o foco prático é posto em destaque.

- Princípio 5 (Transparência): a propriedade relativa à acessibilidade dos indicadores e resultados para o público é totalmente atendida. Isto se dá porque todo indicador é analisado de forma didática, pois há uma estrutura lógica, em que o indicador é descrito, justificado, comentários são tecidos, indicados relacionados são enumerados e, após isso, gráficos e figuras didáticas são utilizadas. Quanto a tornar claras as escolhas, suposições e incertezas, o princípio é parcialmente atendido, pois há transparência no uso de dados, e não nas suposições e escolhas, que são parcialmente



explicadas. Tais dados são acessíveis para os formuladores do indicador, o que não garante a facilidade para um cidadão comum obtê-los, dependendo de um processo burocrático. As fontes de dados e métodos são reveladas, denotando o atendimento da propriedade, sendo que os dados são cedidos por empresas e secretarias públicas, como o IBGE, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e outras. Isto garante, em tese, o direito ao acesso a estes dados, o que ocorre quando o motivo de seu uso é explicitado. No que diz respeito à propriedade relativa às fontes de financiamento e aos possíveis conflitos de interesse, não há menções sobre os últimos, porém, a fonte, ao que tudo indica, é a própria instituição que responsável pela produção do modelo, ou seja, a propriedade é parcialmente atendida.

- **Princípio 6 (Comunicação efetiva):** a propriedade ligada à utilização de linguagem clara e simples é totalmente atendida, pois a redação é bem didática e usa de linguagem clara e concisa. A apresentação de informações de forma justa e objetiva é outra propriedade totalmente atendida, pois há gráficos e tabelas fáceis de ser compreendidos e que estão vinculados à argumentação presente, que denota o atendimento à propriedade justamente ligada ao uso de ferramentas visuais e gráficos inovadores. A disponibilidade dos dados é propriedade totalmente atendida, pois, dentro do website do IBGE há um espaço pertencente ao IDS, e nele o acesso a todas as produções, dados, mapas e toda espécie de conhecimento gerado a partir do uso do modelo são de livre acesso a qualquer indivíduo.

- **Princípio 7 (Ampla participação):** por ter partido da adaptação do Livro Azul, sem que houvesse participação pública e tampouco consultas ostensivas à comunidade científica brasileira,

pode-se constatar que o sistema foi moldado à característica de seus idealizadores e suas ideias relativas à participação, portanto a propriedade relacionada ao modelo refletir o ponto de vista do público não é atendida. Da mesma forma e pelo mesmo motivo, não é atendida a propriedade que leva em conta o envolvimento dos usuários no processo de criação e melhoria do modelo.

- **Princípio 8 (Continuidade e capacidade):** a repetição da mensuração é uma propriedade totalmente atendida, pois o IDS já possui quatro versões, que vem sendo refinadas, buscando a solidificação de uma tradição na utilização deste indicador. A capacidade resposta à mudança é parcialmente atendida, pois o IDS possui a característica de ser adaptável a novas tendências, porém, isso ocorre em relação à percepção do grupo responsável por sua concepção, ou seja, suas potencialidades para ajustes interativos e para a aprendizagem coletiva ficam circunscritas apenas na comunidade técnica responsável pelo mesmo. Quanto ao desenvolvimento e a sua capacidade, a propriedade é totalmente atendida pelo fato de o IDS ser formulado e executado pelo IBGE, instituição que tem um histórico positivo de coleta, produção e sistematização de informações. O mesmo ocorre para o atendimento total da propriedade que diz respeito sobre o aprendizado e melhoria contínua, que vem ocorrendo ao longo das quatro versões do modelo.

## ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO MUNICIPAL – IDHM

O Índice de Desenvolvimento Humano, criado pela ONU no início da década de noventa, representou o surgimento de uma nova fórmula de mensuração da riqueza das nações.

Sua ideia de subversão de valores foi inédita e marcou a ascensão de uma nova mentalidade, na qual as pessoas são a riqueza das nações.

No Brasil, o IDH foi considerado como uma ferramenta de subsídios para a escolha de políticas públicas. Dado o sucesso de sua utilização, uma parceria entre o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e a Fundação João Pinheiro, buscou adaptar o IDH para a realidade brasileira e em uma escala local. Assim surgiu, em 1996, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, o IDH-M. Esse novo índice, que teve a sua primeira publicação apenas em 2003, foi concebido, segundo o PNUD (2003), para permitir a avaliação do desenvolvimento humano em municípios brasileiros. Ele segue o modelo IDH, porém, por adotar a escala municipal, algumas alterações foram necessárias.

Assim como o IDH, o IDH-M possui as mesmas três dimensões (educação, longevidade e renda) que são mensuradas por indicadores próprios, pensados em torno da ideia de sistema aberto, diferentemente do modelo original do IDH, que trata a sociedade – escala nacional – como um sistema fechado.

As dimensões educação (indicadores “taxa de alfabetização de adultos” e “taxa bruta de frequência escolar”), longevidade (indicador “esperança de vida ao nascer”) e renda (indicador renda municipal per capita) recebem pontuação de 0 a 1 e, posteriormente, as três dimensões são calculadas a partir do pressuposto de que todas possuem o mesmo peso, sendo o índice a soma dos pesos dividida por três, em que o resultado final é o IDH de cada município. Existe, então, um ranking no qual os municípios são classificados em diferentes grupos, segundo os resultados de cada um. Dessa forma, de acordo com IPEA e

al. (2003), os municípios com pontuação de 0 até 0,499 são classificados como municípios com índice de desenvolvimento humano baixo; aqueles com pontuação entre 0,500 a 0,799 são classificados como municípios com desenvolvimento humano médio; já aqueles com pontuação igual ou superior a 0,800 são classificados como municípios com desenvolvimento humano alto. Cabe dizer que o PNUD está trabalhando para a formulação de novas bases metodológicas para a aplicação do IDH-M, considerando o fato de o Censo 2010, produzido pelo IBGE, ter possibilitado o uso de informações mais atuais sobre os municípios brasileiros, desagregadas para o nível local, mais especificamente a escala intra-urbana.

#### Análise da compatibilidade do IDH-M em relação os princípios do BellagioSTAMP:

- Princípio 1 (Estabelecimento de visões): o IDH-M é baseado em uma visão limitada de desenvolvimento humano, que apenas leva em conta aspectos quantitativos, não atendendo preocupações ambientais referentes à capacidade da biosfera, portanto, o princípio um é parcialmente atendido.
- Princípio 2 (Considerações essenciais): o bem-estar dos subsistemas e interação entre eles não é uma propriedade atendida, já que não há elementos essenciais mesmo em relação ao desenvolvimento humano. A propriedade de mecanismos de governança não é atendida, pois eles são previstos. Já as dinâmicas, tendências atuais e padrões de mudança são uma propriedade parcialmente atendida, pois os relatórios de desenvolvimento humano, onde os indicadores fazem parte dele, problematizam com mais profundidade os resultados e os contextos e a dinâmica recente em

que os indicadores estão inseridos. A identificação de riscos, incertezas e limites à sustentabilidade é uma propriedade não atendida, pois não é trabalhada no modelo. Também não há definição sobre quem é o tomador de decisão ideal para a utilização do IDH-M, fazendo com que a propriedade das implicações para o tomador de decisão não sejam atendidas.

- Princípio 3 (Escopo adequado): como apenas o desenvolvimento humano é estudado a escala de tempo adotada é antrópica, sendo tal propriedade parcialmente atendida. Já o escopo geográfico é focado no local, mas que repercute substancialmente nas escalas local e global, sendo uma propriedade totalmente atendida, já que o modelo está focado no município.

- Princípio 4 (Estrutura e indicadores): o domínio dos principais indicadores é uma propriedade totalmente atendida, pois o IDH-M possui um número limitado de indicadores, que se relacionam com as questões chave abordadas, permitindo uma compreensão satisfatória ao usuário. Já a propriedade relacionada ao ato de inferir tendências e criação de cenário não é atendida, pois não há meios para isso dentro do modelo, a não ser pela série histórica. Métodos padronizados e medição mostram-se como uma propriedade totalmente atendida, visto que o número de indicadores já é bem limitado, e eles não sofreram mudanças radicais ao longo de suas edições. Já os valores e indicadores de comparação para a sua utilização constituem uma propriedade não atendida, pois não existem nos resultados do sistema, havendo possibilidade de isso apenas ocorrer com a análise sequencial das edições lançadas.

- Princípio 5 (Transparência): a propriedade relativa à acessibilidade dos indicadores e resultados para o público é totalmente atendida, pois, pelo fato de ser um indicador-síntese, sua

simplicidade facilita a compreensão de todos. A clareza do processo de produção é uma propriedade totalmente atendida, já que foram lançadas publicações que trataram especificamente do método, das escolhas dos indicadores e as razões para elas. As fontes de dados e métodos, conseqüentemente, foram reveladas e o princípio foi totalmente atendido. No que diz respeito aos possíveis conflitos de interesse, não há menções, mas as fontes financiamento, ao que tudo indica, foram as instituições responsáveis pela formulação do modelo, sendo assim, a propriedade foi parcialmente atendida.

- Princípio 6 (Comunicação efetiva): a simplicidade, compreensibilidade e aceitação do IDH-M serviram como um marco na utilização de indicadores, como ferramentas de auxílio ao processo de tomada de decisão. Desta forma, a propriedade referente ao uso de linguagem clara e simples é totalmente atendida. A apresentação das informações, de forma justa e objetiva, é outro princípio totalmente atendido, que remete a simplicidade na apresentação dos dados e também no número limitado de variáveis que compõe o modelo. Quanto à propriedade que se refere ao uso de ferramentas visuais e gráficos inovadores, cabe dizer que pelo fato de o IDH-M ser um indicador sintético e seus resultados estarem dispostos em um ranking, a necessidade de grandes inovações gráficas para apresentação dos resultados pode ser minimizada, pois a simplicidade está no cerne de seu funcionamento. Sendo assim, o atendimento desta propriedade pode ser classificado como parcial, pois, apesar da natureza do modelo, inovações poderiam ser propostas para aumentar a compreensibilidade dos usuários e os estimular visualmente, amplificando a facilidade para a assimilação dos resultados. A disponibilidade dos dados é uma propriedade parcialmente atendida, tendo em

vista que as produções já existentes são de livre acesso a todos os indivíduos, porém elas estão dispersas em web sites relacionados às diferentes instituições que estão envolvidas com sua criação e desenvolvimento, sendo o processo para aquisição mais complicado para o usuário.

- Princípio 7 (Ampla participação): refletir o ponto de vista do público certamente é uma propriedade não atendida pelo IDH-M, pois apenas os pesquisadores envolvidos na criação, desenvolvimento e utilização do modelo participaram e ainda interferem, de forma importante, na sua utilização e em seu melhoramento contínuo. Mesmo caso para o não atendimento da propriedade relacionada ao envolvimento dos usuários da informação nos processos do modelo.

- Princípio 8 (Continuidade e capacidade): a repetição da mensuração é uma propriedade totalmente atendida pelo IDH-M, pois não houve mudanças nos indicadores e em sua forma de cálculo ao decorrer de suas edições. A capacidade de resposta à mudança é uma propriedade parcialmente atendida e isto se deve ao fato de que o IDH-M produz um relatório que extravasa o conteúdo dos indicadores, sendo nele abordado outros assuntos, como a preocupação com o meio ambiente e entre outras, mostrando, assim, que os indicadores fazem parte de um modelo maior de análise, que busca captar mudanças e que poderá, em breve, incluí-las através da criação de novos indicadores. O desenvolvimento e capacidade adequadas são bem ancorados na capacidade institucional que IPEA, Fundação João Pinheiro e PNUD possuem, constituindo o atendimento desta propriedade. Já o aprendizado e melhoria contínua é uma propriedade totalmente atendida, já que o modelo mostra evolução em suas análises, voltada não só para o desenvolvimento

humano, mas como também em outras variáveis, como a ambiental, presente nos últimos relatórios do modelo.

## Metodologia GEO Cidades – GEO

O projeto GEO Cidades é parte da série de relatórios GEO, desenvolvida pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) que, desde 1995, produz, de forma periódica, informações sobre o estado do meio ambiente em nível global, regional, sub-regional, nacional e local. A metodologia GEO Cidades trata da análise da interação entre o desenvolvimento urbano e o meio ambiente, analisada com o uso da matriz Pressão – Estado – Impacto – Resposta (PEIR). Em 1995, o PNUMA aprimorou o modelo ao acrescentar o elemento “impacto”. Assim, os relatórios GEO Cidades foram formulados com o objetivo de avaliar o impacto da urbanização sobre o meio ambiente, especialmente sobre os recursos naturais e os ecossistemas locais. Os seus componentes remetem a uma concatenação lógica de questões básicas, onde: estado se refere a o que está acontecendo com o meio ambiente; a pressão é relacionada ao por que o estado do meio ambiente se encontra em sua forma atual; o impacto responde as consequências da pressão sobre o estado do meio ambiente; a resposta remete ao que está acontecendo, em termos de ações, em relação ao impacto da pressão sobre o estado do meio ambiente. Há também um fator diacrônico nesta análise, que é o do cenário futuro, uma ferramenta que permite a análise do estado do meio ambiente, em médio e longo prazo, de acordo com o tipo de resposta a ser tomado pela sociedade. Consideram-se respostas que surtiram efeito, a inexistência das mesmas ou a sua insuficiência. O uso

desta ferramenta emergiu no sentido de conscientizar o tomador de decisão em relação às consequências de suas ações.

O relatório GEO Cidades delimita quais são os fatores referentes aos impactos, chamados de forças motrizes. Na escala urbana, eles são relativos a três componentes: o demográfico, o econômico e a ocupação territorial. Baseado na priorização do que precisa ser mensurado, a metodologia GEO Cidades estabeleceu um grupo de indicadores para a análise da Matriz PEIR. Foram formulados oito indicadores de estado, 14 indicadores de pressão, 16 indicadores de impacto e 15 indicadores de resposta, constituindo um total de 53 indicadores. Quanto às suas características, os indicadores são classificados em cinco categorias de recurso, que são: água, ar, solo, biodiversidade e meio ambiente construído. O mesmo indicador pode ser comum a mais do que uma categoria, ou seja, pode estar relacionado diretamente ao recurso, água, ar, solo e outros simultaneamente. Os indicadores também são relacionados a cada força motriz pelo qual mantém uma relação direta. Dessa forma, os mesmos vinculam-se aos fatores: dinâmica demográfica, ocupação do território, desigualdade social e outros.

## Análise da compatibilidade da Metodologia GEO Cidades em relação os princípios do BellagioSTAMP:

- Princípio 1 (Estabelecimento de visões): atende totalmente ao princípio, pois diz respeito à identificação do estado do meio ambiente no meio urbano, estabelecendo a necessidade de levantamentos periódicos das condições do meio ambiente para, em um longo prazo, servir ao planejamento e à gestão ambiental,

a fim de melhorar a qualidade de vida dos cidadãos.

- **Princípio 2 (Considerações essenciais):** trabalha com elementos essenciais à sustentabilidade somente em relação à dimensão ambiental, atendendo a propriedade relacionada ao bem-estar do subsistemas e interação entre eles de maneira parcial, pois foca sua análise primordialmente no meio ambiente. O modelo permite a sua adequação a mecanismos de governança local, sendo esta uma propriedade totalmente atendida. Dentro de sua estrutura, o modelo reserva espaço para mudanças e inclusões de temas e indicadores emergentes que se relacionem com novos padrões, e também possui ferramentas e formas de análise de tendências atuais e padrões de mudança o que faz com que esta propriedade esteja totalmente atendida. Essas mesmas condições permitem estudos dos riscos, incertezas e limites à sustentabilidade, possibilitando a adição de novos elementos na estrutura da metodologia, o que caracteriza essa propriedade como totalmente atendida. As implicações para o tomador de decisão, definido como profissional que atua na gestão urbano-ambiental local, é uma propriedade totalmente atendida, pois ele tem consigo informações necessárias para identificar os *trade-offs* inerentes ao sistema, assim como as sinergias, que podem ser amplificadas, pois o sistema é aberto a modificações.

- **Princípio 3 (Escopo adequado):** a propriedade relativa ao horizonte de tempo é totalmente atendida, pois o modelo se caracteriza por ser um sistema que permite a possibilidade de mensuração em uma escala de tempo mais ampla, que busca acomodar a escala humana e a da natureza, sob um intervalo em que possa ser possível haver identificação de alterações da qualidade ambiental. Em sua estrutura, os indicadores são materializações da abordagem de

forças motrizes que moldam o estado do meio urbano, sendo estas forças passíveis de se modificarem. A propriedade relativa ao escopo geográfico é totalmente atendida, pois respeita o fato de o modelo estar voltado para a área urbana mas, ao mesmo tempo, tem dentro de sua metodologia a consideração de que impactos nacionais e regionais podem interferir na qualidade do meio ambiente em escala local.

- **Princípio 4 (Estrutura e indicadores):** O domínio dos principais indicadores é uma propriedade totalmente atendida, pois há uma classificação de diferentes tipos de indicadores e sua importância, que visa a manutenção de aspectos mínimos para que o modelo não seja desvirtuado na prática e, ao mesmo tempo, espaço para a inclusão de indicadores que adicionam conhecimento sobre as especificidades de cada localidade a ser estudada. O estudo de tendências e criação de cenários é outra propriedade totalmente atendida, ao ponto que a Metodologia GEO Cidades tem incluso em sua estrutura o desenho de cenários futuros como uma ferramenta vital para seu funcionamento, pois permite o vislumbamento das consequências que podem ocorrer com a resposta da sociedade frente aos impactos que pressionam a qualidade do meio ambiente. A padronização dos métodos de medição é mais uma propriedade atendida, já que o modelo necessita disto como uma das condições mínimas para seu funcionamento. A comparação dos valores com metas e padrões também é uma propriedade totalmente atendida, visto que os valores dos indicadores são tabelados, fazendo com que a análise destes permita a identificação dos padrões médios, mínimos e máximos, para que se possa ser discutido o que é ideal, por exemplo.

- **Princípio 5 (Transparência):** A acessibilidade dos indicadores e

resultados para o público é uma propriedade totalmente atendida, já que a metodologia prega que transparência e acessibilidade devem estar presentes em sua aplicação, de modo a estarem disponíveis, em web sites relacionados à implementação do modelo, informações e as edições já publicadas. A clareza do processo de escolhas, suposições e incertezas é outra propriedade totalmente atendida pelo modelo, além do mais, sua flexibilidade, abertura para inclusão de novos fatores e existência de ferramentas para o desenho de cenários futuros, estão intrinsecamente ligadas à existência desta propriedade. As fontes de dados e métodos também estão acessíveis, como todo o modelo e sua metodologia, para o público em geral, sendo outra propriedade totalmente atendida. Já a propriedade referente às fontes de financiamento e possíveis conflitos de interesse é parcialmente atendida, pois as fontes de financiamento estão expostas nas figuras das instituições que participaram do processo de confecção do modelo, já os possíveis conflitos de interesse não são trabalhados.

- **Princípio 6 (Comunicação efetiva):** a propriedade referente à existência de linguagem clara e simples é totalmente atendida, pois a forma de comunicação é voltada para públicos que possuem diferentes níveis de conhecimento, desde aqueles que já compreendem o funcionamento da matriz PEIR, aos iniciantes no estudo da gestão ambiental e ferramentas de informação, como os indicadores. A forma e objetividade da apresentação das informações é outra propriedade bem atendida, mas cabe lembrar que pode ocorrer, por parte do usuário iniciante, uma ocasional confusão acerca de qual indicador refere-se à pressão, estado ou impacto, que pode acarretar em dificuldades para a interpretação dos dados e funcionamento do modelo. O uso de

ferramentas visuais e gráficos inovadores mostra-se como mais uma propriedade totalmente atendida pelo modelo, e isto se dá pela necessidade de simplificação na forma de apresentação dos resultados, visto que a matriz PEIR traz, em seu cerne, algumas dificuldades para o entendimento de seus resultados. A disponibilidade dos dados é mais uma propriedade totalmente atendida, sendo os websites das instituições responsáveis pelos modelos locais virtuais onde estão armazenadas as edições, dados e outras informações envolvidas com a implantação do modelo.

- Princípio 7 (Ampla participação): a Metodologia GEO Cidades prega a participação ampla dos diretamente envolvidos em sua aplicação, bem como a formulação de um comitê responsável por sua aplicação, buscando-se envolver tomadores de decisão e população afetada. Este fato denota que tanto as propriedades relacionadas à reflexão do ponto de vista do público quanto ao envolvimento dos usuários são totalmente atendidas.
- Princípio 8 (Continuidade e capacidade): o princípio de repetição da mensuração é totalmente atendido pelo modelo, pois, ao mesmo tempo em que existe abertura para a inclusão de novas variáveis no modelo, o uso das variáveis consideradas “núcleo duro” da metodologia é obrigatória, dessa forma, há possibilidade de comparação entre diferentes produções, pois elas possuem indicadores e análises de variáveis em comum. A capacidade de resposta à mudança é mais uma propriedade totalmente atendida, e está relacionada à existência de flexibilidade e admissão de incertezas inerentes ao modelo, que faz com que ele possa adicionar novas variáveis em sua estrutura. O desenvolvimento e a capacidade adequada remetem à capacidade institucional que seus autores, PNUMA e Ministério do Meio Ambiente, possuem, desta forma, é

uma propriedade totalmente atendida. Já o aprendizado e a melhoria contínua representam uma propriedade que é totalmente atendida e, mais do que isso, mostra-se inerente ao caráter dinâmico e flexível que a metodologia GEO Cidades possui.

## DISCUSSÕES

Os oito princípios foram analisados de acordo com suas propriedades inerentes, num total de 26. Como foram analisados três modelos, infere-se que, no geral, o percentual de propriedades, relativas aos princípios, totalmente atendidas foi de 56,4%, enquanto que aquelas parcialmente atendidas representaram 25,6% e, por fim, em 18% dos casos as propriedades não foram atendidas. Observou-se que os princípios dois, quatro e sete possuíram a maioria de suas propriedades não atendidas pelos sistemas IDS e IDH-M. Enquanto isso, o princípio oito foi aquele mais bem atendido pelos três casos estudados. Em relação a cada sistema, a Metodologia GEO teve o maior número de propriedades atendidas, 88,5% no total. Já IDS obteve números próximos entre aquelas propriedades totalmente atendidas e as parcialmente atendidas, sendo, respectivamente, 42,3% e 34,6%, enquanto que as propriedades não atendidas somaram 23,1%. O IDHM seguiu a mesma tendência observada no estudo do IDS, pois a porcentagem de propriedades totalmente atendidas, 38,4%, foi semelhante aos números das propriedades parcialmente atendidas e não atendidas, 30,8%.

A maioria das propriedades não atendidas está ligada com características comuns à sustentabilidade, como a falta de abordagem voltada para a análise do bem-estar dos subsistemas e interação entre eles; não inclusão de problemas em uma escala intergeracional de tempo; inexistência de abertura para a

participação do público e dos usuários da informação; falta de informações acerca do tomador de decisão e de suas necessidades.

Muitos aspectos podem ser destacados dentro desta análise comparativa entre os indicadores. Entre eles, observa-se que há uma fragmentação conceitual das partes a serem estudadas, que abordam determinado aspecto e relegam os demais à utilização de indicadores tradicionais. Outros dois pontos merecem destaque: o da participação dos diretamente envolvidos que, por vezes, se resume aos técnicos e especialistas e a falta de transparência dos processos de concepção, produção e implantação.

Há de se ressaltar a afirmação de Bakkes (2012)<sup>1</sup>, quando diz que os formuladores dos Princípios de Bellagio provavelmente se utilizaram do projeto GEO como seu modelo principal. Isso ajuda a explicar o alto índice de atendimento dos princípios por parte da Metodologia GEO.

De forma geral e com exceção feita à Metodologia GEO, diante da análise do atendimento dos Princípios de Bellagio STAMP, por parte dos indicadores estudados, torna-se possível concordar com Veiga (2009), no que se refere à persistência de “sérias clivagens e bloqueios, tanto conceituais quanto operacionais, para que ele seja cumprido” (Veiga, 2009, p. 3). Algumas fragilidades ainda existem, apesar das alterações imbricadas já realizadas, tanto nos princípios, quanto nos indicadores.

## CONCLUSÕES

Os resultados da pesquisa mostram que os modelos estudados possuem capacidade institucional, objetivos bem delineados,

<sup>1</sup> Nota: “Global Environment Outlook (GEO) of the United Nations Environment Programme has probably been used as the main template” (Bakkes, 2012, p. 7).

comunicação efetiva e aceitabilidade e difusão em suas respectivas áreas. Os modelos IDS e IDH-M, que menos se adequaram ao BellagioSTAMP necessitam de maiores transformações para que possam aferir o desenvolvimento sustentável com aperfeiçoamentos em aspectos como a interação entre subsistemas, inclusão da escala intergeracional, abertura e ajustes com relação às necessidades do tomador de decisão, que se evidenciam como pontos de alavancagem essenciais para adequá-los aos princípios. Porém, é prudente dizer que estas melhorias podem não se restringir aos indicadores, e os relatórios e os estudos oriundos de tais modelos, necessariamente, ultrapassam o reducionismo inerente à ferramenta indicador, e podem complementá-la nos aspectos mencionados.

A Metodologia GEO Cidades se destacou como a que melhor atendeu aos princípios, o que a credencia como um exemplo bem sucedido de modelo de indicadores capaz de auxiliar no aprimoramento de estratégias, ações de políticas públicas, e na democratização da informação necessária à qualificação da participação das pessoas nas questões de interesse coletivo. A utilização e a replicação de seu modelo, em diferentes escalas e com objetivos distintos, que extravasem ou enfoquem outros aspectos além do meio urbano, mostra-se como um horizonte viável para o aperfeiçoamento de indicadores para aferir a compatibilização entre o biofisicamente possível com o que é social e eticamente desejável.

De forma geral, os modelos apresentados podem servir de exemplo, diante das potencialidades evidenciadas de cada um, para a criação de novos indicadores, e estes podem mirar a adequação ao BellagioSTAMP como um *benchmarking*, a fim de se tornarem modelos eficazes no monitoramento e na avaliação de um

desenvolvimento que se preconiza que seja sustentável.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP – pelo financiamento da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

BAKKES, J. 1. Bellagio Sustainability Assessment and Measurement Principles (BellagioSTAMP) – Significance and Examples from International Environment Outlooks. **Sustainable Development, Evaluation and Policy-Making: Theory, Practice and Quality Assurance**, p. 241, 2012.

GALLOPIN, G. C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A system approach. **Environmental Modeling & Assessment**. v. 1, n. 3, p. 101-117, 1996.

HARDI, P.; BARG, S. **Measuring sustainable development**: Review of current practice. Winnipeg: IISD, 1997.

HARDI, P.; ZDAN, T. **Assessing Sustainable Development – Principles in Practice**. Winnipeg: IISD, 1997.

HARDI, P.; T. ZDAN. **Bellagio STAMP** (Sustainability Assessment and Measurement Principles). Winnipeg: IISD, OCDE, 2009. Available at: <[http://www.iisd.org/pdf/2009/brochure\\_bellagiostamp.pdf](http://www.iisd.org/pdf/2009/brochure_bellagiostamp.pdf)>. Access in: 14. Apr. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010.

IISD – INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT.

**Bellagio Principles**. Winnipeg: IISDnet, 2000.

IISD – INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Sustainable Development Indicators**: proposals for a way forward. Winnipeg: IISDnet, 2005.

IPEA, PNUD, FJP. **Atlas do desenvolvimento humano no Brasil**. Brasília, 2003.

NAHAS, M. I. P. **Bases Teóricas, metodologia de elaboração e aplicabilidade de indicadores intra-urbanos na gestão municipal da qualidade de vida**: o caso de Belo Horizonte. 2002. 373 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais), Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), São Carlos, 2002.

OECD – ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Environmental Indicators**: Indicateurs d'environnement. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development, 1994.

OECD – ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. In: 3<sup>o</sup> OECD World Forum: Charting Progress, Building Visions, Improving Life, 2009, Busan. **3<sup>o</sup> OECD World Forum**. Busan: OECD, 2009.

PINTÉR, L.; HARDI, P.; MARTINUZZI, A.; HALL, J. Bellagio STAMP: Principles for sustainability assessment and measurement. **Ecological Indicators**, v. 17, p. 20-28, 2012.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Entenda o cálculo do IDH Municipal (IDH-M) e saiba quais os indicadores usados**. Brasília, 2003. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br>>. Acesso em: 20 abr. 2010.

PNUMA – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **Metodologia para elaboração de relatório GEO Cidades**: Manual de aplicação. Rio de Janeiro: PNUMA, v. 2, 2004.

SCANDAR NETO, W. J. **Síntese que organiza o olhar**: uma proposta para construção e representação de indicadores de desenvolvimento sustentável e sua aplicação para os municípios fluminenses. 2006. 119 p. Dissertação (Mestrado em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais), Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE), Rio de Janeiro, 2006.

VEIGA, J. E. Indicadores socioambientais: evolução e perspectivas. **Revista de Economia Política**, v. 29, n. 4, p. 421-435, 2009.

VEIGA, J. E. Indicadores de sustentabilidade. **Estudos Avançados**, n. 68, Jan-Abr, 2010.

Recebido em: nov/2011  
Aprovado em: nov/2013



**ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**

Av. Beira-Mar, 216, 13º andar  
Castelo | Rio de Janeiro | RJ | Brasil | CEP 20021-060  
Tel: (21) 2277-3900 Fax: (21) 2262-6838

[www.abes-dn.org.br](http://www.abes-dn.org.br)