

Indicadores de sustentabilidade para a educação básica por modelagem fuzzy

Luiz Octavio Gavião, Gilson Brito Alves Lima
Universidade Federal Fluminense (UFF)

Resumo

A educação para o desenvolvimento sustentável representa uma oportunidade de transformação das sociedades. A preservação dos recursos naturais e produtivos para as gerações futuras pode ser potencializada através da educação básica. A Austrália utiliza um programa bem sucedido desde 2005, sendo utilizado como referência nessa pesquisa. O objetivo do trabalho é apresentar um conjunto de 16 indicadores de sustentabilidade para aplicação na rede de ensino básico do país, sendo distribuídos nas dimensões educacional, ambiental, social e econômica. Esses indicadores foram agregados por modelagem fuzzy, através do software MATLAB R2013a. Uma hipótese de trabalho foi formulada para ilustrar as etapas do processo de um sistema fuzzy. Duas análises de sensibilidade permitem avaliar o modelo quanto ao ponto de equilíbrio entre os resultados e quanto aos diferentes métodos de defuzzificação do sistema. Os resultados do teste foram satisfatórios e indicam a possibilidade de prosseguimento das pesquisas para a coleta de dados em posterior pesquisa de campo.

1. Introdução

O tema sustentabilidade protagoniza a agenda internacional nas últimas décadas. Para Phillis e Andriantiatsaholainaina (2001), a sustentabilidade ganhou destaque em 1987 no Relatório da Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento, denominada Comissão Brundtland, adquirindo relevância mundial nas Conferências das Nações Unidas Rio-92 e Rio+20. As iniciativas da UNESCO (2013) no programa “*UN Decade of Education for Sustainable Development (2005-2014)*” evidenciam a importância do assunto no campo da educação (COMISSÃO BRUNDTLAND, 1991; ONU, 1992).

A educação ambiental tornou-se um tema relevante no cenário nacional a partir da década de 1980 e a legislação brasileira evidencia esse aspecto. Em 1981, a Lei nº 6.938 dispôs sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, estendendo a educação ambiental a todos os níveis escolares, inclusive à educação da comunidade. Em 1988, a Constituição Federal incluiu no artigo 225 a necessidade de promover a educação ambiental em todos os níveis. Em 1998, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) do Ministério da Educação estabeleceram o “meio ambiente” como tema transversal, com abordagem sistemática, abrangente e interdisciplinar. Em 1999, a Lei nº 9.795, que institui a Política Nacional de Educação Ambiental, descreve a educação ambiental como “componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal”. Finalmente, em 2012, a Lei nº 12.608 incluiu a educação ambiental na Lei de Diretrizes e Bases da Educação (BRASIL, 1981, 1988, 1996, 1998, 1999, 2012).

Na esfera acadêmica, diversos autores compartilham a importância da educação ambiental de forma multidisciplinar. Segundo Guarim (2002), a educação ambiental se relaciona com a responsabilidade social, pois permite ao indivíduo e à comunidade participar na construção de novos valores sociais e éticos, para conservação e utilização adequada dos recursos naturais. Gama e Borges (2010) destacam a educação ambiental como um processo crítico, participativo e que valoriza o uso sustentável dos recursos naturais, com abordagens ecológicas, sociais, econômicas, políticas e culturais. Castro (2000) enfatiza que a temática ambiental transcende o envolvimento de profissionais como biólogos, geógrafos e ecólogos, entendendo-se a todos os cidadãos, ou melhor, a todos os atores sociais, pois todos estão sujeitos aos efeitos dos problemas ambientais.

No que se refere à inclusão de atividades práticas à educação ambiental na escola, alguns autores ressaltam a relevância do “aprender fazendo”, agregando valor à teoria da sala de aula. Medina (2002) destaca que incluir estudantes na execução dos projetos ambientais os torna responsáveis pela realização de tarefas concretas relativas ao tema, atuando em equipe e exercitando, na prática, a cooperação e o trabalho coletivo. Segundo Pádua (2000), a participação dos alunos facilita o despertar por assuntos socioambientais, a percepção do dever de contribuir para a conservação ambiental e o comportamento ético-cidadão.

Por outro lado, diversos países têm desenvolvido programas nacionais de inclusão da sustentabilidade nas escolas. Dentre os trabalhos pesquisados, coube destacar o projeto da Austrália (2005, 2010), que criou indicadores para avaliar a sustentabilidade das instituições de ensino.

Diante desses aspectos supra mencionados, o artigo traz como objetivo apresentar a proposta de desenvolvimento de um conjunto de indicadores de desempenho das práticas de ensino da sustentabilidade de instituições de ensino, sob perspectiva multidisciplinar, a partir da utilização da lógica *fuzzy* como algoritmo de agregação dos indicadores (GAVIÃO; LIMA, 2013).

A lógica *fuzzy* é aderente à subjetividade da elaboração e medição de indicadores de sustentabilidade. Segundo Zadeh (1973), na medida em que a complexidade de um sistema aumenta, a capacidade do ser humano em descrever seu comportamento de forma precisa diminui. Nesse contexto, Zadeh (op. cit.) acrescenta que problemas complexos não se traduzem em números, mas em rótulos de conjuntos *fuzzy*.

A estrutura do artigo é composta por cinco partes. A primeira parte, introdutória, traz uma abordagem contextual dos indicadores de sustentabilidade escolar. Na segunda, é apresentada a estratégia de fundamentação da aplicação da modelagem por lógica *fuzzy*. Na terceira, apresenta-se a abordagem metodológica adotada pelos autores para a elaboração e aplicação dos indicadores de sustentabilidade escolar *fuzzy*. Na quarta parte, realiza-se a análise e discussão dos resultados a partir da comparação entre as aproximações propostas no artigo para a elaboração do modelo e os dados obtidos como resultados. Na quinta e última parte, são apresentadas as conclusões da pesquisa.

1. Indicadores de sustentabilidade escolar

No escopo das Nações Unidas, a educação ambiental apresenta considerável histórico. A degradação ambiental por ação humana foi o fator motivador para a realização da Conferência de Estocolmo, em 1972, reunindo 113 países e 250 organizações governamentais (OG) e não-Governamentais (ONG). A recomendação nº 96 dessa Conferência abordou especificamente sobre a necessidade de estabelecer um programa internacional de educação sobre o meio ambiente, de enfoque interdisciplinar e com caráter escolar e extra-escolar, que abarque todos os níveis de ensino e que seja dirigido ao público em geral, especialmente ao cidadão que vive nas áreas rurais e urbanas, ao jovem e ao adulto indistintamente, para lhes ensinar medidas que dentro de suas possibilidades, possam assumir para ordenar e controlar seu meio ambiente (BRASIL, 2014).

Uma série de eventos promovidos pela ONU e UNESCO foram realizados, com a finalidade de enfatizar a importância da educação em sustentabilidade e fomentar sua inclusão nos sistemas educativos formais e não-formais. Em 1975, a cidade de Belgrado, na Sérvia, sediou o Seminário Internacional de Educação Ambiental; em 1977, Tbilisi, na Geórgia, sediou a Conferência Intergovernamental sobre Educação Ambiental.

A ONU tem participado ativamente na questão de indicadores de sustentabilidade. Em 1992, no Rio de Janeiro, a Conferência Rio-92 produziu um documento, denominado “Agenda 21”, cujo capítulo 36 se refere especificamente à questão educacional (ONU, 1992).

O capítulo 40 da referida Agenda 21 menciona a importância da participação dos países e da comunidade internacional para o desenvolvimento de indicadores de desenvolvimento sustentável. Em 1997, a Conferência de Tessalônica, na Grécia, elaborou o documento “Educação para o futuro sustentável: uma visão transdisciplinar para uma ação concertada”; em 2002, Johannesburgo, na África do Sul, sediou a Rio+10, onde surge a proposta para a ONU instituir, a partir de 2005, a “Década da Educação para o Desenvolvimento Sustentável 2005-2014 (DEDS)”, formalizada posteriormente na Resolução nº 254 da ONU, com a finalidade de implementar o capítulo 36 da Agenda 21 (ONU, 1992; BELLEN 2005; BRASIL MMA, 2014).

A Comissão de Desenvolvimento Sustentável (CDS) da ONU (2007) desenvolve indicadores desde 1994 e seu relatório de diretrizes e metodologias apresenta cinco indicadores educacionais. Com

base nesse relatório, o IBGE (2012) desenvolveu seus próprios indicadores, incluindo três de natureza educacional na dimensão social da sustentabilidade: a taxa de frequência escolar, a taxa de alfabetização e a taxa de escolaridade da população adulta.

Dentre os programas internacionais de sustentabilidade pesquisados, com especial atenção aos indicadores educacionais em ambiente escolar, a Austrália mostrou-se como principal referência no tema. Desde 1970, quando a Academia de Ciências promoveu a Conferência “*Education and the Environmental Crisis*”, a Austrália associa o conceito de sustentabilidade à educação. Em 2002, os estados Australianos de *New South Wales* e *Victoria* receberam recursos do governo para criar o *Australian Sustainable Schools Initiative* (AuSSI), cujo sucesso se estendeu aos demais estados, culminando em um programa nacional integrado pela *National Environmental Education Network* (NEEN). Em aperfeiçoamento a esse programa, o *Brisbane Urban Environmental Education Centre* detalhou os indicadores de sustentabilidade escolar, utilizados como referencial teórico nesse artigo (AUSTRÁLIA; 2005, 2010).

O grupo especial de trabalho sobre iniciativas de sustentabilidade escolar vinculado à Rede Nacional de Educação Ambiental Australiana desenvolveu os primeiros indicadores de sustentabilidade escolar para instituições de ensino. O programa desenvolvido propôs um total de 31 indicadores, agrupados em oito dimensões: educacional, meio ambiente, social, econômica, água, eletricidade, resíduo e campi escolar (AUSTRÁLIA, 2005).

Um exemplo da estrutura proposta pelo grupo de trabalho é apresentado na figura 1, a seguir:

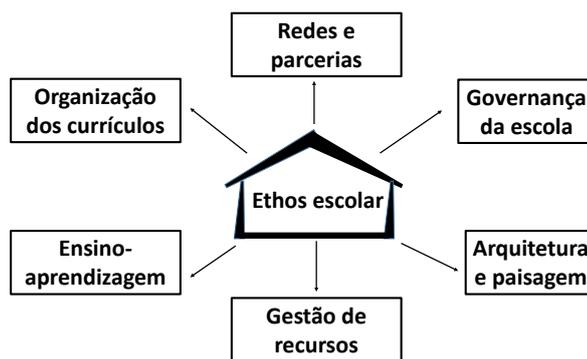


Figura 1 - A estrutura do programa Australiano

Fonte: Australia (2005)

No contexto deste artigo, os autores selecionaram o programa australiano de indicadores de sustentabilidade educacional como premissa de análise para o desenvolvimento da pesquisa. O programa realiza o acompanhamento de todo o período de formação acadêmica e curricular do discente, bem como a análise de aspectos de sustentabilidade socioeconômica e ambiental na formação do corpo docente, nas atividades administrativas das escolas, nas ações de extensão desenvolvidas com a comunidade, nos fornecedores dos materiais escolar e nos demais públicos de interesse envolvidos com a promoção da sustentabilidade no meio escolar.

3. Estratégias de modelagem por lógica fuzzy

Desde 1965, quando Lotfi Zadeh publica o artigo sobre a teoria dos conjuntos *fuzzy*, surgiram diversos trabalhos acadêmicos e aplicações práticas em lógica *fuzzy*. A Universidade de Berkeley afirma

que nesse período os EUA já registraram mais de 16 mil patentes relacionadas ao uso da lógica *fuzzy* e o Japão mais de 7 mil (BISC, 2013).

A lógica *fuzzy* é a lógica baseada na teoria dos conjuntos *fuzzy*. Ela difere dos sistemas lógicos tradicionais em suas características e seus detalhes. Nesta lógica, o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, sendo interpretado como um processo de composição de relações nebulosas (GOMIDE et al, 2014).

Na lógica *fuzzy*, o valor verdade de uma proposição pode ser um subconjunto *fuzzy* de qualquer conjunto parcialmente ordenado, ao contrário dos sistemas lógicos binários, onde o valor verdade só pode assumir dois valores: verdadeiro (1) ou falso (0). Nos sistemas lógicos multi-valores, o valor verdade de uma proposição pode ser ou um elemento de um conjunto finito, num intervalo, ou uma álgebra booleana. Na lógica nebulosa, os valores verdade são expressos linguisticamente, (e.g.: verdade, muito verdade, não verdade, falso, muito falso, dentre outros), onde cada termo linguístico é interpretado como um subconjunto *fuzzy* do intervalo unitário.

Neste sentido, segundo Ginalber (2001), basicamente, controladores lógicos *fuzzy* são sistemas baseados em conhecimento que incluem regras *fuzzy* e funções de pertinência *fuzzy* para incorporar o conhecimento humano em sua base de conhecimento, ou melhor, um conjunto de sentenças linguísticas ou regras de inferência constituídas por uma parte antecedente condicional “se” e uma parte consequente “então”, descrevendo as ações a serem tomadas em face a um evento particular.

Tecnicamente, ainda segundo Ginalber (2001) um controlador lógico *fuzzy* (sigla, em língua inglesa, FLC) é composto por uma interface de *fuzzificação*, um sistema de inferência, uma interface de *defuzzificação* e uma base de conhecimento que compreende uma base de dados e uma base de regras, conforme mostrado na Figura 2.

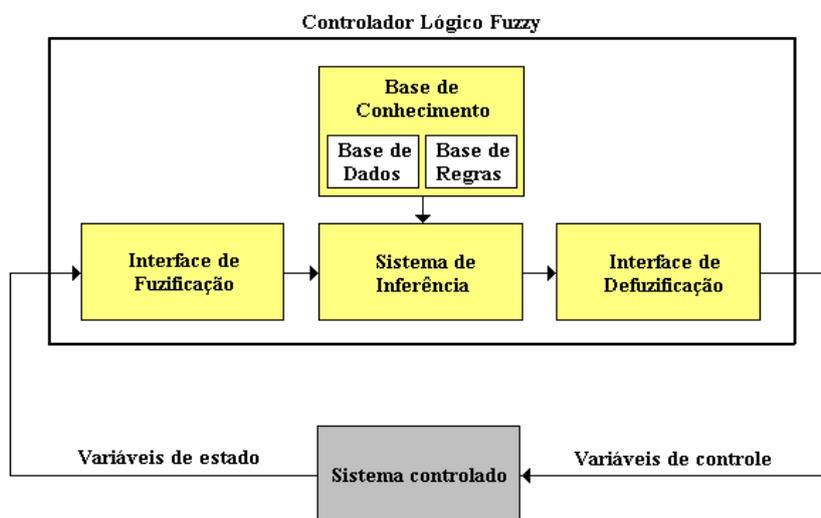


Figura 2 - Estrutura genérica de um Controlador Lógico Fuzzy

Fonte: Ginalber (2001)

Ainda segundo Ginalber (2001) a base de conhecimento codifica o conhecimento do especialista por meio de um conjunto de regras de controle *fuzzy*. Uma regra de controle *fuzzy* é uma declaração condicional da forma “se” (*conjunto de condições satisfeitas*) “então” (*conjunto de consequências podem ser inferidas*) no qual o antecedente é uma condição em seu domínio de aplicação, o consequente

é uma ação de controle a ser aplicada no sistema controlado e tanto o antecedente como o conseqüente são associados com conceitos *fuzzy*, isto é, termos linguísticos.

Assim, a base de conhecimento é composta por dois componentes: *base de dados e base de regras*. A base de dados contém as definições dos rótulos linguísticos das regras de controle *fuzzy*, isto é, as funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* especificando o significado dos termos linguísticos. A base de regras é constituída pela coleção de regras de controle *fuzzy* representando o conhecimento do especialista.

Para fins de simplificação, no presente artigo, os autores adotaram a hipótese de estruturação da base de conhecimento a partir de uma base de regras de controle *fuzzy* desenvolvidas com suporte da experiência de especialistas, por ser o método mais comum e por ser eficiente quando usado pelo especialista para controlar o sistema em termos de regras de controle.

As regras mais usadas por meio deste processo são do tipo Mamdani, visto que apresentam uma forma adequada para representar o conhecimento do especialista. Mamdani emprega regras nas quais o conseqüente é uma outra variável *fuzzy* (GINALBER, 2001), respectivamente:

$$SE X_1 \text{ é } A_1 \text{ e } \dots \text{ e } X_n \text{ é } A_n \text{ ENTÃO } Y \text{ é } B$$

Onde, X_i e Y são variáveis linguísticas, e A_i e B são conjuntos *fuzzy* especificando o significado das variáveis linguísticas.

A literatura apresenta ampla variedade de métodos e técnicas para a modelagem dos indicadores de sustentabilidade. As pesquisas de Bellen (2005) e Gamage (2011) identificaram 39 diferentes métodos e modelos, desenvolvidos entre 1987 e 2010, dentre os quais somente o modelo desenvolvido por Yannis Phillis e Luc Andriantiatsaholiniana, em 2001, associa indicadores de sustentabilidade à lógica *fuzzy*. Esses autores denominaram o método de *Sustainability Assessment by Fuzzy Evaluation* (SAFE) (PHILLIS; ANDRIANTIATSAHOLINIANA, 2001).

O SAFE utiliza dois indicadores primários: a sustentabilidade ecológica (ECOS) e a sustentabilidade humana (HUMS), que se subdividem em quatro novos indicadores secundários; o ECOS em qualidade da água; integridade da terra; qualidade do ar; e biodiversidade; o HUMS em aspectos políticos; bem-estar econômico; saúde; e educação. Cada indicador secundário se subdivide em três indicadores terciários: pressão; estado atual; e resposta, que correspondem aos inputs do sistema *fuzzy*. A maior parte desses indicadores utiliza parâmetros internacionalmente padronizados, como PIB, despesas governamentais, emissões de carbono, por vezes definidos por diferentes órgãos ou comitês. Dessa forma, não parece possível uma aplicação direta do SAFE para mensurar a sustentabilidade de uma escola (PHILLIS; ANDRIANTIATSAHOLINIANA, 2001).

3.1 Elaboração dos indicadores *fuzzy*

A abordagem metodológica para a elaboração dos indicadores *fuzzy* foi desenvolvido a partir da busca do referencial teórico dos indicadores aplicados em instituições de ensino, o que foi possível através da leitura do modelo de Gavião e Lima (2013). Esse modelo adaptou o programa Australiano desenvolvido em 2005, sendo considerado o *benchmark* do estudo. O modelo utilizou dados hipotéticos para o teste do sistema *fuzzy*, sem contextualizar os indicadores ao ambiente educacional brasileiro (AUSTRÁLIA, 2005, 2010).

O software MATLAB (2013), versão R2013a, e seu aplicativo “*Fuzzy Logic Toolbox*” foram utilizados como referenciais teóricos para a modelagem. Os autores adaptaram o método apresentado no guia do usuário desse aplicativo em seis etapas, por julgarem que essa divisão contribuiria didaticamente à compreensão do sistema (MATHWORKS, 2014).

Os indicadores inicialmente propostos por Gavião e Lima (2013) totalizavam 15, compondo posteriormente 16 (dezesseis), agrupados em 4 (quatro) dimensões: social, econômica, ambiental e político-institucional. As medidas para a coleta de dados também foram reavaliadas, com a finalidade de simplificar a pesquisa dos docentes e discentes em sua própria escola. Por se tratar de ambiente escolar, a dimensão político-institucional foi denominada “educacional”.

✓ Dimensão educacional

- Indicador 1: desenvolvimento dos profissionais da escola. Indica a formação acadêmica dos administradores, professores e funcionários em sustentabilidade. Coleta de dados: percentual de profissionais (docentes e staff da escola) com experiência em sustentabilidade (i.e. formação acadêmica, experiência prática, dentre outros), com amplitude de 0% a 100%;
- Indicador 2: sustentabilidade no currículo da escola. Indica a inclusão de disciplinas e/ou assuntos de sustentabilidade nos cursos. Coleta de dados: percentual de horas-aula curriculares com temas de sustentabilidade, com amplitude de 0% a 100%;
- Indicador 3: participação da comunidade acadêmica na gestão da sustentabilidade. Indica o quanto diretores, professores, funcionários, alunos e associações conveniadas à escola (i.e. associação de pais e mestres, dentre outras) são engajados em sustentabilidade. Coleta de dados: percentual de elementos da comunidade acadêmica (profissionais da escola, alunos, associações de pais, organizações comunitárias locais) que participam de eventos de sustentabilidade, com amplitude de 0% a 100%;

✓ Dimensão ambiental

- Indicador 4: plano de gestão ambiental (PGA). Indica o grau de maturidade da escola no planejamento dessa dimensão. Coleta de dados: percentual de metas atendidas do PGA, com amplitude de 0% a 100%;
- Indicador 5: registro de dados ambientais e inspeções, por meio de consultorias e/ou auditorias. Indica o interesse da escola em aperfeiçoar e certificar capacitações em sustentabilidade. Coleta de dados: quantidade de consultorias e/ou auditorias ambientais realizadas anualmente na escola, com amplitude de 0 a 12;
- Indicador 6: conservação de água. Indica o grau de maturidade da escola nesse aspecto. Coleta de dados: atividades bem sucedidas na gestão da água (pontuação de 0 a 3, resultante da soma das atividades 1, 2 e 3):
 - Atividade 6.1: a superação de metas de redução de consumo, com evidente controle e adoção de medidas para atingi-las e/ou superá-las (pontuação de 0 a 1);
 - Atividade 6.2: a prática de medidas de conservação, por meio de campanhas de orientação extensiva a docentes, discentes e staff em geral (pontuação de 0 a 1);
 - Atividade 6.3: reaproveitamento do recurso natural, como utilização de águas pluviais, dentre outras tecnologias (pontuação de 0 a 1);

- Indicador 7: eficiência energética. Indica o grau de maturidade da escola nesse aspecto. Coleta de dados: atividades bem sucedidas na gestão de energia (pontuação de 0 a 3, resultante da soma das atividades 1, 2 e 3):
 - Atividade 7.1: a superação de metas de redução de consumo, com evidente controle e adoção de medidas para atingi-las e/ou superá-las (pontuação de 0 a 1);
 - Atividade 7.2: a prática de medidas de conservação, por meio de campanhas de orientação extensiva a docentes, discentes e staff em geral (pontuação de 0 a 1);
 - Atividade 7.3: reaproveitamento do recurso natural, como plantas de energia solar, dentre outras tecnologias (pontuação de 0 a 1);
 - Indicador 8: gestão dos resíduos. Indica o grau de maturidade da escola nesse aspecto. Coleta de dados: atividades bem sucedidas na gestão de resíduos (pontuação de 0 a 3, resultante da soma das atividades 1, 2 e 3)
 - Atividade 8.1: A superação de metas de redução de resíduos, com evidente controle e adoção de medidas para atingi-las e/ou superá-las (pontuação de 0 a 1);
 - Atividade 8.2: A prática de medidas de conservação, por meio de campanhas de orientação extensiva a docentes, discentes e staff em geral (pontuação de 0 a 1);
 - Atividade 8.3: Adequação do arranjo físico das instalações para facilitar a gestão de resíduos ou adequá-las às normas vigentes (pontuação de 0 a 1);
 - Indicador 9: uso do solo. Indica o grau de maturidade da escola nesse aspecto. Coleta de dados: Atividades bem sucedidas na gestão do solo (pontuação de 0 a 3, resultante da soma das atividades 1, 2 e 3);
 - Atividade 9.1: a prática do paisagismo (jardinagem), tanto como medida educativa ou mesmo para urbanização das instalações, com vistas à redução do consumo em refrigeração de ambientes, dentre outras possibilidades (pontuação de 0 a 1);
 - Atividade 9.2: iniciativas de reflorestamento ou reinserção de espécies nativas para incentivar a biodiversidade no terreno da escola (pontuação de 0 a 1);
 - Atividade 9.3: prática do plantio alimentar (horta), como projeto educativo ou mesmo para a alimentação escolar (pontuação de 0 a 1);
- ✓ Dimensão social
- Indicador 10: parcerias externas. Indica o interesse da escola em ampliar conhecimentos e boas práticas com instituições, organizações e especialistas em sustentabilidade. Coleta de dados: parcerias externas anuais com especialistas em sustentabilidade, com amplitude de 0 a 12;
 - Indicador 11: projetos de extensão que beneficiem a sociedade. Coleta de dados: projetos de extensão anuais em sustentabilidade para a comunidade, com amplitude de 0 a 12;
 - Indicador 12: relacionamento adequado e respeito ao público interno. Coleta de dados: atividades bem sucedidas no relacionamento com o público interno (pontuação de 0 a 3, resultante da soma das atividades 1, 2 e 3);
 - Atividade 12.1: a escola realiza pesquisas de satisfação com o público interno, analisa sugestões e implementa mudanças (pontuação de 0 a 1);
 - Atividade 12.2: a escola cumpre integralmente a legislação trabalhista e assistencial relacionada ao público interno (pontuação de 0 a 1);

- Atividade 12.3: a escola incentiva oportunidades iguais, gerando emprego para minorias e portadores de necessidades especiais (pontuação de 0 a 1);
- Indicador 13: relacionamento adequado e respeito ao público externo. Coleta de dados: atividades bem sucedidas no relacionamento com o público externo (pontuação de 0 a 3, resultante da soma das atividades 1, 2 e 3);
 - Atividade 13.1: apoio da Comunicação Social em pesquisas e projetos junto ao público externo, gerando imagem positiva da escola junto à comunidade (pontuação de 0 a 1);
 - Atividade 13.2: apoio de Associações de Pais, Associações classistas e/ou de residentes locais, indicando uma convivência pacífica e construtiva (pontuação de 0 a 1);
 - Atividade 13.3: apoio da Ouvidoria e/ou Assessoria Jurídica para solucionar conflitos com o público externo, privilegiando o consenso entre as partes (pontuação de 0 a 1);
- ✓ Dimensão econômica
- Indicador 14: redução de custos por prática da sustentabilidade. Indica a redução de custos em relação à alguma meta estabelecida ou de exercício anterior, resultante das iniciativas dos indicadores 6, 7, 8 e 9. Coleta de dados: efetiva aplicação do retorno financeiro bem sucedido na gestão da água, de energia, de resíduos e do solo (pontuação de 0 a 4, resultante da soma das atividades 1, 2, 3 e 4);
 - Atividade 14.1: projetos de sustentabilidade em água bem sucedidos e se reverteram em melhorias na própria escola (pontuação de 0 a 1);
 - Atividade 14.2: projetos de sustentabilidade em energia bem sucedidos e se reverteram para melhorias na própria escola (pontuação de 0 a 1);
 - Atividade 14.3: projetos de sustentabilidade em resíduos bem sucedidos e se reverteram para melhorias na própria escola (pontuação de 0 a 1);
 - Atividade 14.4: projetos de sustentabilidade em solo bem sucedidos e se reverteram para melhorias na própria escola (pontuação de 0 a 1);
- Indicador 15: contribuições/doações externas. Indica o montante em apoio financeiro e/ou material da sociedade, sob a forma de contribuições/doações e captação de recursos em reconhecimento ao serviço da escola em sustentabilidade. Coleta de dados: atividades de captação de recursos externos para projetos de sustentabilidade (pontuação de 0 a 3, resultante da soma das atividades 1, 2 e 3);
 - Atividade 15.1: a escola obtém êxito na aplicação de recursos externos nos projetos de sustentabilidade (pontuação de 0 a 1);
 - Atividade 15.2: os recursos obtidos são efetivamente materializados em melhorias dos projetos existentes ou criação de novos projetos (pontuação de 0 a 1);
 - Atividade 15.3: distribuição desses recursos para projetos de sustentabilidade em água, energia, resíduos e solo (pontuação de 0 a 1);
- Indicador 16: sustentabilidade dos concessionários. Indica a participação/engajamento dos concessionários que exercem atividades econômicas na escola, referente ao cumprimento dos planos/orientações de sustentabilidade estabelecidos. Coleta de dados: atividades que

evidenciam o comprometimento dos concessionários nos projetos de sustentabilidade (pontuação de 0 a 3, resultante da soma das atividades 1, 2 e 3);

- Atividade 16.1: os concessionários são formalmente mencionados nos planos de sustentabilidade, integrando a comunidade acadêmica nesses processos (pontuação de 0 a 1);
- Atividade 16.2: os concessionários cumprem suas metas em sustentabilidade e apresentam feedback de suas atividades para atendê-las (pontuação de 0 a 1);
- Atividade 16.3: existência de sanções ou substituição de concessionários que não cumprem as metas de sustentabilidade (pontuação de 0 a 1);

3.2 Modelagem do sistema *fuzzy*

A modelagem do sistema *fuzzy* foi dividida em seis etapas. Na primeira, construíram-se conjuntos *fuzzy*, em gráficos, para as variáveis discretas (*crisp*) de entrada e saída, e foram plotados os valores exatos dessas variáveis nos gráficos para a obtenção das pertinências. A segunda etapa consistiu em criar as regras de inferência. Essas regras foram do tipo “se *p e q e r* então *s*”, sendo “*p*”, “*q*” e “*r*” variáveis de entrada (antecedentes) e “*s*” a variável de saída (consequente). A terceira etapa envolveu a aplicação dos operadores *fuzzy* sobre os antecedentes das regras de inferência. A quarta etapa aplicou o método de implicação sobre os consequentes das regras de inferência. A quinta etapa realizou a agregação dos resultados das regras de inferência. A sexta etapa transformou o resultado da etapa anterior na saída do sistema *fuzzy*, produzindo uma variável exata, que indica em painel “virtual” se a escola é sustentável ou insustentável. As figuras 3 e 4 ilustram as seis etapas do processo.

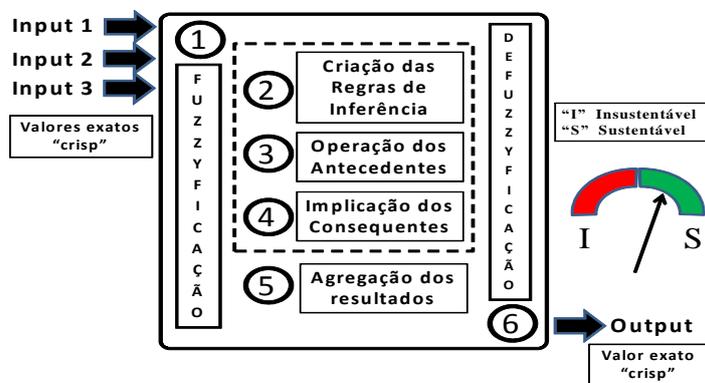


Figura 3 – Etapas do sistema *fuzzy* para dimensão educacional

Fonte: Gavião e Lima (2013)

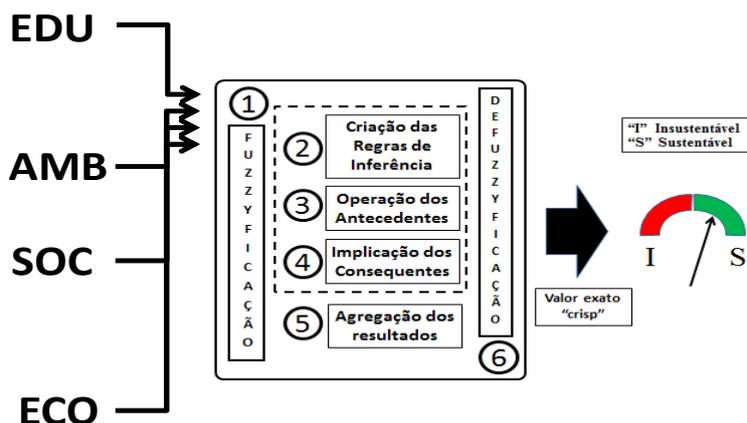


Figura 4 – Sistema *fuzzy* para as quatro dimensões
Fonte: Gavião e Lima (2013)

Uma hipótese de trabalho, formulada para testar o modelo e simplificar a explicação das diversas etapas que compõem o funcionamento do sistema *fuzzy*, operou com os seguintes parâmetros para a dimensão educacional:

- Input 1: indicador 1, com valor de 60%;
- Input 2: indicador 2, com valor de 45%;
- Input 3: indicador 3, com valor de 30%.

3.2.1 Etapa 1: fuzzyficação dos inputs

Essa etapa envolveu duas fases. Na primeira fase ocorreu a criação dos conjuntos *fuzzy* para os inputs e output da hipótese de trabalho, com a construção dos gráficos de pertinência (figuras 5 e 6); na segunda fase ocorreu a plotagem dos inputs nesses gráficos, para a identificação dos valores de pertinência.

Os eixos das ordenadas são padronizados de 0 a 1, por definição da função de pertinência. Na medida em que os dados históricos desses inputs estiverem disponíveis à escola, seja pela frequente coleta de dados na escola ou por importação de dados de outras instituições de ensino, é possível reavaliar os valores dos eixos das abscissas. Segundo Oliveira (1999), as interseções dos conjuntos difusos são importantes, pois conferem maior consistência e precisão à modelagem.

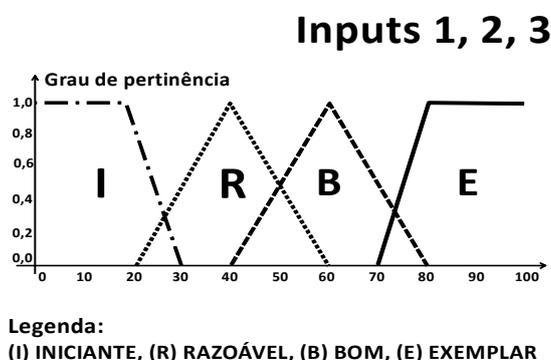


Figura 5 – conjunto *fuzzy* dos inputs 1, 2 e 3. Fonte: Gavião e Lima (2013)

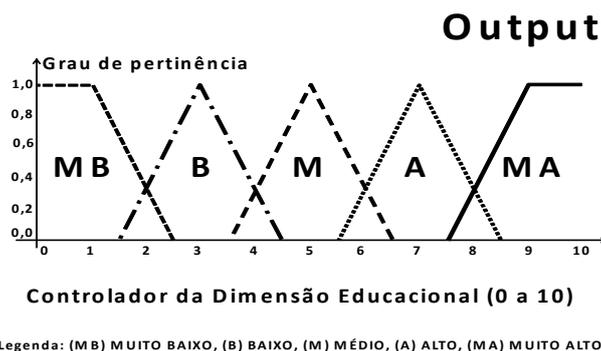


Figura 6 – conjunto *fuzzy* do output. Fonte: Gavião e Lima (2013)

A segunda fase consistiu em plotar as medidas de entrada da hipótese de trabalho nos gráficos, para identificar as respectivas funções de pertinência (figura 7). Esses resultados, correspondentes a valores entre 0 e 1 foram os *inputs* da 2ª etapa. Cabe ressaltar que o input 2 produziu dois resultados diferentes, com suas respectivas funções de pertinência.

A interpretação desse aspecto ilustra a característica típica da lógica *fuzzy*, no que se refere à subjetividade acerca do quanto cada elemento pertence ou não a determinado conjunto. Assim, o *input* 2 pode ser considerado um indicador com função de pertinência de 0,3 ao conjunto “bom” e, simultaneamente, com 0,7 de pertinência ao conjunto “razoável”.

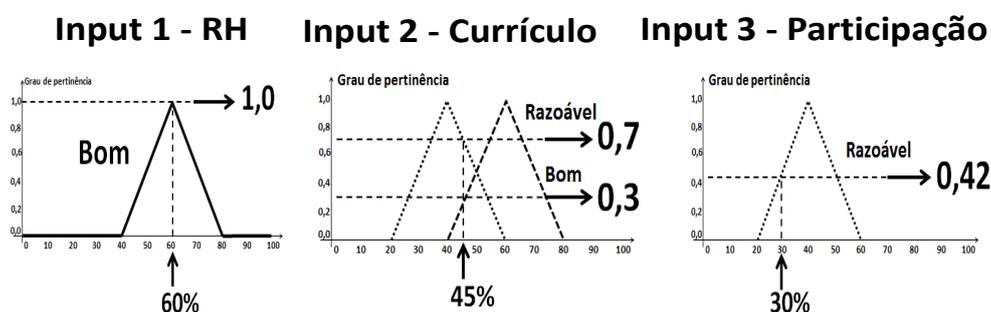


Figura 7 – *fuzzyficação* dos inputs. Fonte: Gavião e Lima (2013)

3.2.2 Etapa 2: criação das regras de inferência

Os *inputs* são combinados em regras de inferência para produzirem saídas *fuzzy*. As regras de inferência do sistema *fuzzy* são do tipo “SE-ENTÃO”, sendo divididas em termos antecedentes (“SE”) e termos consequentes (“ENTÃO”). Nessa modelagem, os inputs 1, 2 e 3 podem assumir quatro resultados difusos (“iniciante”, “razoável”, bom” e “exemplar”) e o output pode assumir cinco resultados difusos (“muito baixo”, “baixo”, “médio”, “alto” e “muito alto”).

Os autores optaram por regras de inferência que considerassem os três inputs como antecedentes, produzindo assim 64 diferentes arranjos para a dimensão educacional, em anexo. Evitou-se incluir regras de inferência com um ou dois inputs somente, para reduzir a quantidade de regras e, consequentemente, a complexidade da modelagem.

Os *inputs* da hipótese de trabalho ativaram somente as regras 41 e 47:

- Regra 41: SE input 1 é “bom” E input 2 é “razoável” E input 3 é “razoável” ENTÃO output é “médio”;
- Regra 47: SE input 1 é “bom” E input 2 é “bom” E input 3 é “razoável” ENTÃO output é “alto”.

As regras de inferência para a dimensão educacional, necessárias para a aplicação da hipótese de trabalho, são apresentadas no apêndice “A” deste artigo (tabela 2).

Um método de elaboração das regras de inferência com a utilização de operadores “OU” ao invés de “E” pode reduzir significativamente a quantidade de regras. Para o modelo proposto nessa dimensão educacional, verifica-se a necessidade de elaboração de 64 regras de inferência, tendo em vista a existência de 4 conjuntos *fuzzy* para cada variável de entrada (i.e 4x4x4). O método URC, pesquisado por Comb (1997), reduziria de 64 para 12 regras, com os mesmos resultados. Esse novo método não será explorado nesse artigo, que manterá os dados da pesquisa original de Gavião e Lima (2013), por serem suficientes para a compreensão das diversas etapas de um sistema de inferência *fuzzy*.

3.2.3 Etapa 3: aplicação dos operadores *fuzzy* nos antecedentes

Com a ativação das regras de inferência 41 e 47, aplicou-se o operador “E” no modo “mínimo” sobre os antecedentes. Os inputs 1, 2 e 3 produzem como resultados as seguintes pertinências (figuras 8 e 9):

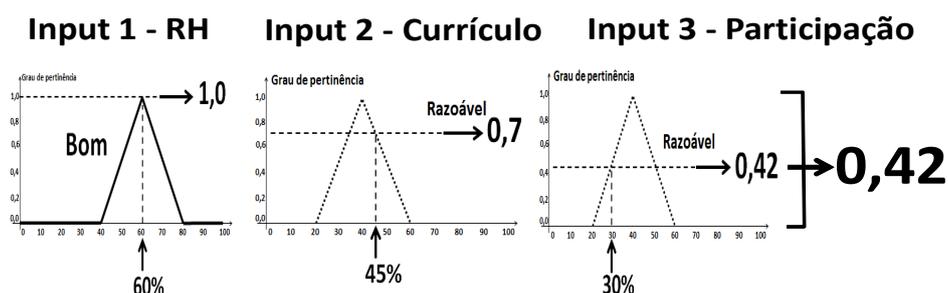


Figura 8 – operador “E-mínimo” nos antecedentes da regra 41. Fonte: Gavião e Lima (2013)

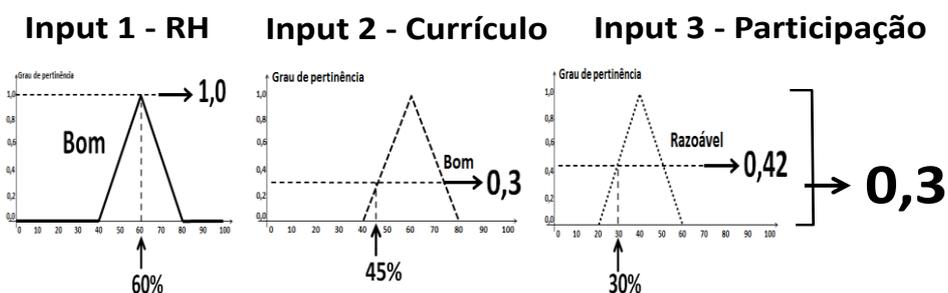


Figura 9 – operador “E-mínimo” nos antecedentes da regra 47. Fonte: Gavião e Lima (2013)

3.2.4 Etapa 4: implicação dos consequentes

Os resultados da etapa anterior foram plotados graficamente sobre os consequentes das regras de inferência. Assim, foram consideradas as seguintes pertinências para cada regra:

- Regra 41 – pertinência “0,42” ao conjunto difuso “médio” (consequente);

- Regra 47 – pertinência “0,3” ao conjunto difuso “alto” (consequente).

A seguir, essas pertinências plotadas produzem uma superfície gráfica, que correspondem aos *inputs* da próxima etapa (figuras 10 e 11).

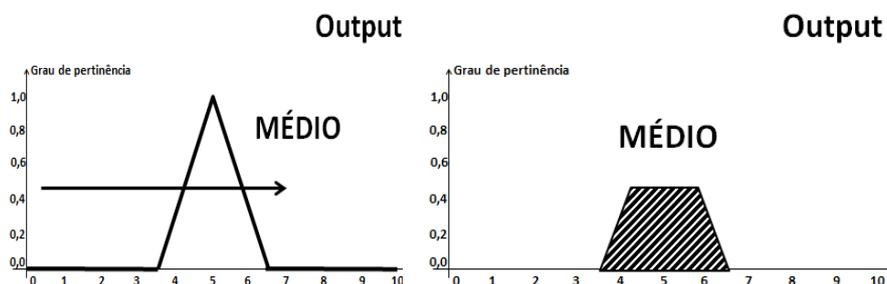


Figura 10 – implicação do consequente da regra 41. Fonte: Gavião e Lima (2013)

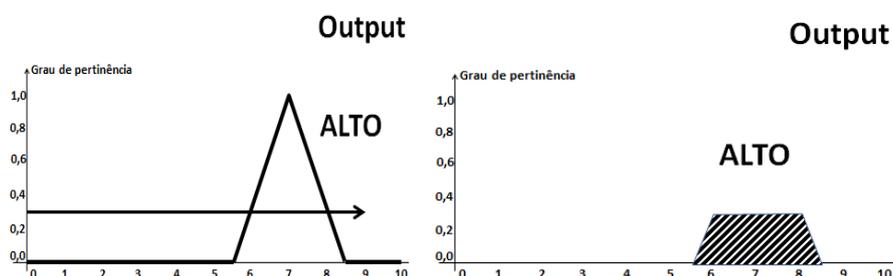


Figura 11 – implicação do consequente da regra 47. Fonte: Gavião e Lima (2013)

3.2.5 Etapa 5: agregação dos resultados

Os gráficos resultantes da etapa anterior são agregados em um único, produzindo um polígono. A figura 12 apresenta o resultado da hipótese de trabalho.

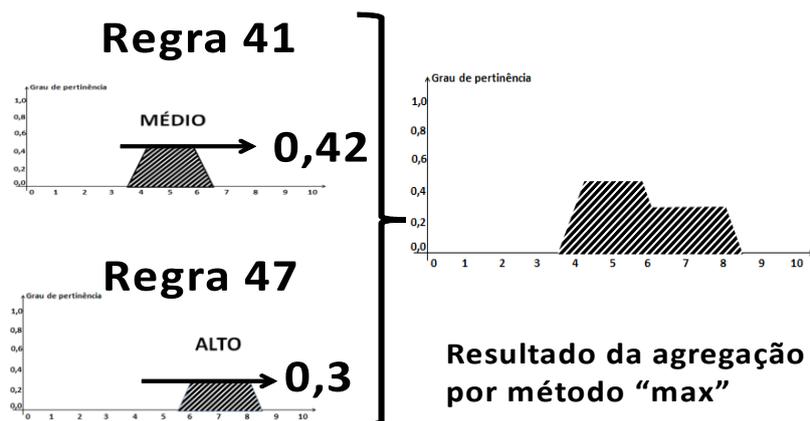


Figura 12 – agregação dos resultados. Fonte: Gavião e Lima (2013)

3.2.6 Etapa 6: defuzzyficação

Nessa última etapa, o polígono resultante da etapa anterior será utilizado para produzir a saída do sistema, que será uma variável discreta (“*crisp*”), em processo denominado “*defuzzyficação*”. O

método mais comum para deduzir o resultado do polígono é por centro de gravidade, também denominado centroide, representando o *output* do sistema *fuzzy*. No contexto dessa pesquisa, considerou-se um *output* superior a “5” como indicador de uma escola “sustentável” e inferior a “5” como indicador “insustentável”. A figura 13 ilustra essa etapa do processo realizado no software MATLAB.

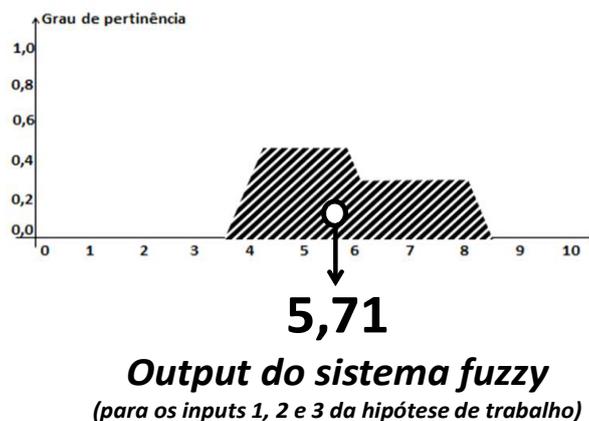


Figura 13 – agregação dos resultados. Fonte: Gavião e Lima (2013)

Outros métodos de *defuzzificação* podem produzir resultados diferentes para o mesmo polígono. A figura 14 ilustra os métodos de defuzzificação e sua posição relativa no polígono, para a resultante de um processo de inferência fuzzy. Não existe um melhor método, embora o centroide seja suficiente para a maioria dos sistemas fuzzy, principalmente aqueles que não requeiram precisão de controladores automáticos, como sistemas informacionais de apoio à decisão, onde se enquadra essa pesquisa (MATHWORKS, 2014).

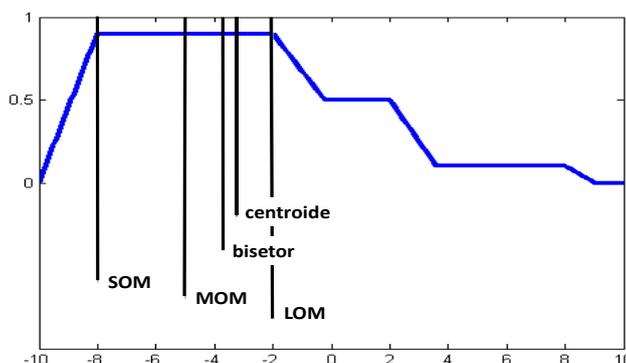


Figura 14 – métodos de defuzzificação. Fonte: adaptado de Mathworks (2014)

A figura 14 ilustra os tipos de *defuzzificação* por centroide, por maior dos máximos (LOM), por média dos máximos (MOM), menor dos máximos (SOM) ou bisetor (linha vertical que divide o polígono em áreas iguais).

4. Análise dos resultados

O resultado obtido com a hipótese de trabalho foi satisfatório. Os inputs 1, 2 e 3 (60%, 45% e 30%, respectivamente) são intuitivamente elevados para as condições de sustentabilidade na educação

nacional, descritas no início do artigo. A modelagem por sistema *fuzzy* produziu um output com valor 5,71, representando assim um índice de sustentabilidade da dimensão educacional considerado “sustentável”.

Em seguida, realizou-se uma análise de sensibilidade com a hipótese de trabalho, buscando identificar os valores de equilíbrio entre diferentes índices “sustentáveis” (superiores a 5,0) e “insustentáveis” (iguais ou inferiores a 5,0). O procedimento foi manter dois *inputs* fixos, variando o restante, para identificar na hipótese de trabalho os eventuais suportes/resistências do indicador submetido à variação. A tabela 1 apresenta alguns dos valores discretos utilizados para ilustrar uma possibilidade para a análise de sensibilidade do modelo.

Tabela 1 – Análise de sensibilidade da hipótese de trabalho

Indicadores 1, 2, 3 (%)	Índice EDU
(60; 45; 30)	5,7115
(60; 45; 27)	4,8940
(60; 45; 28)	5,1156
(60; 40; 30)	5
(60; 41; 30)	5,2003
(40; 45; 30)	5
(41; 45; 30)	5,2003

Fonte: Gavião e Lima (2013)

Posteriormente, efetuou-se uma análise de sensibilidade com as diferentes metodologias de *defuzzificação*, para avaliar a variedade de resultados. A partir de 50 diferentes entradas aleatórias para os indicadores 1, 2 e 3, analisou-se a sensibilidade das respostas à *defuzzificação* por centróide, bissetor, maior dos máximos, menor dos máximos e média dos máximos. O apêndice “B” apresenta a tabela 3, com os dados com os respectivos resultados.

O gráfico da figura 15 reúne os resultados da *defuzzificação* por centróide, bissetor e média dos máximos. Verifica-se que os métodos por centróide e bissetor fornecem resultados aproximadamente equivalentes, enquanto o método por média dos máximos apresenta elevada irregularidade em relação aos demais resultados. Os diversos patamares na faixa dos 10 pontos para o índice educacional, a partir de dados de entrada de valores intermediários demonstram que tal método pode induzir os usuários do modelo a conclusões equivocadas a respeito do grau de maturidade da escola avaliada. Nesse contexto, verifica-se que o método default do software (centróide) é suficiente para produzir resultados coerentes com os dados da hipótese de trabalho.

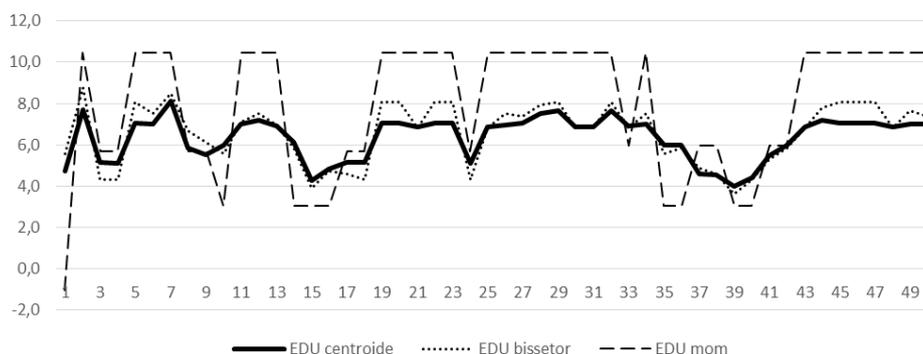


Figura 15: Métodos de *defuzzificação* da hipótese de trabalho. Fonte: os autores.

5. Conclusão

O artigo apresentou uma proposta de um conjunto de indicadores de desempenho para avaliar o índice de sustentabilidade escolar, como ferramenta didática a docentes e discentes, contribuindo ao ensino da sustentabilidade nas instituições de ensino.

Os indicadores de desempenho foram adaptados de um programa Australiano, em vigor desde 2005, tendo seus indicadores e métricas adaptados ao contexto da educação brasileira, com base em entrevistas com especialistas. Tal adaptação é essencial ao uso dos indicadores, tendo em vista que aquele país apresenta sólido engajamento em projetos de educação ambiental e sustentabilidade, sob contexto diferente do que o Brasil apresenta em termos comparados.

Os indicadores propostos se mostraram adequados para suportar o processo de diagnosticar do grau de maturidade do ensino da educação ambiental, num contexto holístico da sustentabilidade. De forma simultânea, os indicadores podem ser utilizados de forma acadêmica pelos docentes, para estender o ensino da sala de aula para a prática, dentro do próprio ambiente da escola. Em paralelo, o artigo também buscava aplicar a lógica *fuzzy*, como algoritmo de agregação dos indicadores, para a produção do índice final.

Em relação à lógica *fuzzy*, os autores propuseram uma abordagem mais didática aos iniciantes desse tema, detalhando os procedimentos em seis etapas, com as ilustrações que facilitassem a compreensão. Buscou-se a abordagem das quatro dimensões da sustentabilidade, adequando as diversas fontes pesquisadas à realidade do ambiente escolar brasileiro, ainda imaturo no ensino e na prática da sustentabilidade.

A ampla gama de variações para análise de sensibilidade do sistema *fuzzy*, principalmente em relação às regras de inferência e alternância dos operadores (inferência, implicação, agregação e *deffuzzyficação*) oferecem diversas oportunidades de aprofundamento de novas pesquisas nessa área do conhecimento.

Uma série de novas pesquisas nessa área do conhecimento permitiria aprofundar os resultados obtidos, tais como: produção de série histórica dos 16 indicadores propostos, a partir da medição em diferentes instituições de ensino; inclusão de novos indicadores com ênfase na simplicidade e facilidade de aplicação pelos estudantes; ajustes das escalas de medição das variáveis de entrada; e, por fim,

realização de uma simulação de Monte Carlo com os 16 indicadores, para obtenção dos parâmetros estatísticos do modelo, permitindo comparar os resultados dos dados coletados nas escolas.

Referências Bibliográficas

AUSTRALIA. **Indicators for a Sustainable School**. 2010. Disponível em: <<http://www.maroochycatchmentcentre.org.au/catchment/wp-content/uploads/2010/04/How-Sustainable-is-Your-School.pdf>> Acesso em: 14 abr. 2013.

_____. **Educating for a Sustainable Future: a national environmental education statement for Australian schools**. 2005. Disponível em: <<http://www.environment.gov.au/education/publications/pubs/sustainable-future.pdf>> Acesso em: 11 abr. 2013.

BELLEN, H. **Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: FGV editora. 2005.

BISC. **The Berkeley Initiative in Soft Computing**. California: University of Berkeley. Disponível em: <<http://www.cs.berkeley.edu/~zadeh/stimfl.html>>. Acesso em: 10 abr. 2013.

BRASIL. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n.116, 18 jun. 2012. Seção 1, p. 70-71. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/visualiza/index.jsp?data=18/06/2012&jornal=1&pagina=70&totalArquivos=320>> Acesso em: 15 mar. 2013.

_____. Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Política nacional do meio ambiente**. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm. Acesso em: 02 abr. de 2014.

_____. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 02 jun. de 2014.

_____. Lei Nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Lei de diretrizes e bases da educação nacional**. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm. Acesso em: 02 abr. de 2014.

_____. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais: terceiro e quarto ciclos: Temas transversais**. Brasília: MEC/SEF, 1998.

_____. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. **Política Nacional de Educação Ambiental**. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acesso em: 02 jun. de 2014.

_____. Lei Nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Política nacional de proteção e defesa civil**. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm. Acesso em: 02 abr. de 2014.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Diretoria de Educação Ambiental. **Diretório de Documentos sobre a Década das Nações Unidas da Educação para o Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/sdi/ea/deds/>. Acesso em: 02 abr. de 2014.

CASTRO, R.S. A formação de professores em educação ambiental possibilita o exercício desta no ensino formal? In: VIANNA, L.P. (Org). **Panorama da Educação Ambiental no Ensino Fundamental**. Oficina de trabalho realizada em março de 2000. Brasília: MEC, 2001. p. 49-53 Disponível em: http://www.crmariocovas.sp.gov.br/pdf/pol/panorama_educacao.pdf >. Acesso em: 20 jun. 2014.

COMB, W.E. **The Combs method for rapid inference**, 1997, Disponível em: http://athena.ecs.csus.edu/~hellerm/EEE222/Atricles/Combs_Fuzzy_Logic/Combs_Rapid_Inference.htm>. Acesso em: 03 jun. 2014.

COMISSÃO BRUNDTLAND. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso Futuro Comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV editora, 1991.

GAMA, L. U.; BORGES, A.A.S. Educação ambiental no ensino fundamental: a experiência de uma escola municipal em Uberlândia (MG). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, Brasília, v.5, n.1, 2010, p.18-25.

GAMAGE, G. **A New Model for Assessing Sustainability of Complex Systems Integrating LCA and RA for Sustainability**. 2011. 291f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental). The University of Auckland, Nova Zelândia, 2011. Disponível em: <https://researchspace.auckland.ac.nz/bitstream/handle/2292/8348/01front.pdf?sequence=5> > Acesso em: 10 jul. 2014.

GAVIÃO, L.O., LIMA, G.B.A. Educação da Sustentabilidade: uma proposta de indicadores de sustentabilidade escolar por lógica *fuzzy*. In: XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). **Anais...** Salvador, 2013.

GINALBER L.O.S. **Computação Evolutiva e Sistemas Fuzzy**. Curso de Computação Evolucionária. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Coordenação de Pós-Graduação. Universidade Estadual de Campinas, 2001.

GOMIDE, F.A.C.; GUDWIN, R.R.; TANSCHKEIT, R. **Conceitos Fundamentais da Teoria dos Conjuntos Fuzzy, Lógica Fuzzy e Aplicações**. Disponível em: <http://vm1-dca.fee.unicamp.br/pub/docs/gudwin/publications/ifsa95.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2014.

GUARIM, V.L.M.S. **Barranco Alto: uma experiência em educação ambiental**. Cuiabá: UFMT, 2002.

IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2012**. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/indicadores_desenvolvimento_sustentavel/2012/ids2012.pdf> Acesso em: 10 abr. 2013.

MATLAB. **Software**. Versão Student R2013a. The Mathworks Inc., 2013.

MATHWORKS. **Fuzzy Logic Toolbox User's Guide - R2014a**. The MathWorks Inc, 2014. Disponível em: <http://lsc.fie.umich.mx/~juan/Materias/Posgrado/IdSis/IEEE/fuzzy_tb.pdf> Acesso em: 08 abr. 2014.

MEDINA, N.M. Formação de multiplicadores para educação ambiental. In: PEDRINI, A.G. (Org). **O contrato social da ciência, unindo saberes na educação ambiental**. Petrópolis: Vozes, 2002.

OLIVEIRA, H. A. **Lógica Difusa: aspectos práticos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 1999.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 21**. 1992. Disponível em: <<http://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>> Acesso em: 10 abr. 2013.

_____. **Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies**. 3 ed. The Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat. New York: United Nations, 2007.

PÁDUA, S.M. A educação ambiental: um caminho possível para mudanças. In: VIANNA, L.P. (Org). **Panorama da Educação Ambiental no Ensino Fundamental**, Brasília: MEC; SEF, 2001. 149p. p. 77-81. (Oficina de trabalho realizada em março de 2000). Disponível em: <http://www.crmariocovas.sp.gov.br/pdf/pol/panorama_educacao.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2014.

PHILLIS Y.A; ANDRIANTIATSAHOLINIAINA L.A. Sustainability: an ill-defined concept and its assessment using *fuzzy* logic. **Ecological Economics**, vol 37, issue 3, 2001, p. 435-456.

UNESCO. **Education for Sustainable Development**. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/en/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainable-development/>>. Acesso em: 08 abr. 2013.

ZADEH, L. A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process. **Revista IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, vol. SMC-3, nº1, jan. 1973, p. 28-44.

APÊNDICE A

Tabela 2 – Regras de inferência da hipótese de trabalho

REGRA	SE IND1 e	SE IND2 e	SE IND3	ENTÃO ÍNDICE
1	I	I	I	MB
2	I	I	R	MB
3	I	R	I	MB
4	R	I	I	MB
5	I	I	B	MB
6	I	B	I	MB
7	B	I	I	MB
8	I	I	E	B
9	I	E	I	B
10	E	I	I	B
11	I	R	R	B
12	R	I	R	B
13	R	R	I	B
14	I	R	B	B
15	I	B	R	B
16	R	I	B	B
17	R	B	I	B
18	B	I	R	B
19	B	R	I	B
20	I	R	E	M
21	I	E	R	M
22	R	I	E	M
23	R	E	I	M
24	E	I	R	M
25	E	R	I	M
26	I	B	B	M
27	B	I	B	M
28	B	B	I	M
29	I	B	E	M
30	I	E	B	M

REGRA	SE IND1 e	SE IND2 e	SE IND3	ENTÃO ÍNDICE
31	B	I	E	M
32	B	E	I	M
33	E	I	B	M
34	E	B	I	M
35	I	E	E	A
36	E	I	E	A
37	E	E	I	A
38	R	R	R	M
39	R	R	B	M
40	R	B	R	M
41	B	R	R	M
42	R	R	E	A
43	R	E	R	A
44	E	R	R	A
45	R	B	B	A
46	B	R	B	A
47	B	B	R	A
48	R	B	E	A
49	R	E	B	A
50	B	R	E	A
51	B	E	R	A
52	E	R	B	A
53	E	B	R	A
54	E	R	E	MA
55	E	E	R	MA
56	R	E	E	MA
57	B	B	B	M
58	B	B	E	MA
59	B	E	B	MA
60	E	B	B	MA
61	B	E	E	MA
62	E	B	E	MA
63	E	E	B	MA
64	E	E	E	MA

Fonte: Gavião e Lima (2013)

APÊNDICE B

Tabela 3: Análise de sensibilidade por métodos de *defuzzyficação*

SÉRIE	IND 1	IND 2	IND 3	EDU centroide	EDU bissetor	EDU mom	EDU lom	EDU som
1	0	10	2	4,7	5,6	-1,0	-2,0	0,0
2	2	13	4	7,7	8,8	10,5	11,9	9,1
3	4	15	0	5,1	4,3	5,7	11,9	0,0
4	6	16	0	5,1	4,3	5,7	11,9	0,0
5	12	20	4	7,0	8,1	10,5	11,9	9,1
6	18	21	7	7,0	7,5	10,5	11,9	9,1
7	29	18	2	8,1	8,5	10,5	11,9	9,1
8	30	15	0	5,8	6,7	5,7	11,9	0,0
9	25	13	0	5,5	6,1	5,7	11,9	0,0
10	18	10	1	6,0	5,6	3,0	3,0	3,0
11	20	8	4	7,0	7,1	10,5	11,9	9,1
12	22	6	9	7,2	7,5	10,5	11,9	9,1
13	22	3	4	6,9	7,0	10,5	11,9	9,1
14	20	4	3	6,1	5,8	3,0	3,9	2,2
15	18	5	1	4,3	3,9	3,0	3,0	3,0
16	17	8	1	4,8	4,7	3,0	3,0	3,0
17	15	13	0	5,1	4,6	5,7	11,9	0,0
18	13	16	0	5,1	4,3	5,7	11,9	0,0
19	10	18	4	7,0	8,1	10,5	11,9	9,1
20	7	20	8	7,0	8,1	10,5	11,9	9,1
21	5	24	2	6,9	6,8	10,5	11,9	9,1
22	8	26	1	7,0	8,1	10,5	11,9	9,1
23	9	30	1	7,0	8,1	10,5	11,9	9,1
24	12	32	0	5,1	4,3	5,7	11,9	0,0
25	15	35	2	6,9	6,8	10,5	11,9	9,1
26	17	28	1	7,0	7,5	10,5	11,9	9,1
27	20	26	4	7,1	7,4	10,5	11,9	9,1
28	25	24	6	7,5	7,9	10,5	11,9	9,1
29	26	21	2	7,6	8,1	10,5	11,9	9,1
30	27	18	1	6,9	6,8	10,5	11,9	9,1

SÉRIE	IND 1	IND 2	IND 3	EDU centroide	EDU bissetor	EDU mom	EDU lom	EDU som
31	30	15	1	6,9	6,8	10,5	11,9	9,1
32	26	13	5	7,6	8,1	10,5	11,9	9,1
33	20	12	2	6,9	6,8	6,0	6,0	6,0
34	18	11	8	7,0	7,5	10,5	11,9	9,1
35	16	10	1	6,0	5,6	3,0	3,0	3,0
36	15	8	3	6,0	5,8	3,0	3,0	3,0
37	20	5	2	4,6	4,9	6,0	6,0	6,0
38	18	4	2	4,5	4,6	6,0	6,0	6,0
39	15	3	1	4,0	3,6	3,0	3,0	3,0
40	13	6	1	4,4	4,3	3,0	3,0	3,0
41	10	9	2	5,5	5,3	6,0	6,0	6,0
42	8	10	2	6,0	5,8	6,0	6,0	6,0
43	5	13	2	6,9	6,8	10,5	11,9	9,1
44	3	14	3	7,2	7,8	10,5	11,9	9,1
45	3	17	1	7,0	8,1	10,5	11,9	9,1
46	9	19	7	7,0	8,1	10,5	11,9	9,1
47	10	22	5	7,0	8,1	10,5	11,9	9,1
48	14	24	2	6,9	6,8	10,5	11,9	9,1
49	16	26	1	7,0	7,7	10,5	11,9	9,1
50	19	27	5	7,0	7,4	10,5	11,9	9,1

Fonte: os autores.

OBS.: o indicador 3 sofreu adaptação em sua métrica, para coletar a frequência de eventos anuais em sustentabilidade na escola, tendo sua amplitude reajustada para 0 a 12, por sugestão de especialistas consultados em pesquisa em andamento pelos autores.