

Um modelo para a avaliação de sustentabilidade no Brasil a partir dos sistemas fuzzy baseados em regras*

Sandra R M Masalskiene Roveda¹, José Arnaldo F Roveda¹, Weldon A Lodwick²

¹ Instituto de Ciência e Tecnologia. UNESP _ Univ. Estadual Paulista
Sorocaba, São Paulo – Brasil

Email: sandra@sorocaba.unesp.br, roveda@sorocaba.unesp.br.

² Department of Mathematics, University of Colorado, Denver, CO, USA.

Email: Weldon.Lodwick@ucdenver.edu

Resumo

A promoção da sustentabilidade como modelo de desenvolvimento, privilegiando uma produção e um consumo sustentável, tem sido motivo de investimentos e de ações por parte dos governos de todo o mundo. Diante dessa tendência, a avaliação da sustentabilidade tem sido utilizada para subsidiar o processo decisório, auxiliando os tomadores de decisão a propor medidas para tornar a sociedade sustentável. De modo geral, o processo de avaliação da sustentabilidade tem sido bastante diversificado como mostram os estudos de Ness et al [1] que descrevem mais de trinta instrumentos diferentes de avaliação e Singh et al [2] que apresentam uma revisão sobre as metodologias que vem sendo empregadas. Dados subjetivos dos indicadores e a implícita necessidade de se avaliar também qualitativamente os indicadores para gerar medidas de sustentabilidade motivaram os estudos de Phillis et al [3] que apresentam um modelo elaborado a partir da teoria dos conjuntos fuzzy para medir a sustentabilidade de vários países. O objetivo deste estudo é desenvolver um modelo a partir dos sistemas baseados em regras fuzzy para avaliar a condição de sustentabilidade do Brasil. O modelo proposto considera 53 indicadores, sendo 12 para a dimensão ambiental, 23 para a social, 9 para econômica e outras 9 para a institucional. Os indicadores foram selecionados de acordo com o Relatório de Desenvolvimento Sustentável publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [4] e com os propostos por Kronemberger et al [5]. Foram construídos sistemas baseados em regras fuzzy em três níveis. O primeiro nível agrega os indicadores em temas dentro de cada dimensão. O segundo nível agrega os temas para expressar a condição de sustentabilidade de cada dimensão e, por fim, o terceiro nível agrega as dimensões para expressar a condição de sustentabilidade do país. Para exemplificar, a dimensão ambiental é subdividida em cinco temas: atmosfera, terra, oceano, biodiversidade e saneamento. No primeiro nível foram elaborados sistemas para avaliar cada um dos temas. Os indicadores: consumo industrial de substâncias destruidoras da camada de Ozônio, número de veículos per capita e queimadas e incêndios florestais foram utilizados para mensurar o tema atmosfera. Para o tema Terra foram utilizados 3 indicadores, para o tema Saneamento 5 indicadores e para os temas Oceano e Biodiversidade um indicador por tema. Esses cinco temas foram então agregados por meio de um novo sistema fuzzy para retratar a condição de

*Este trabalho é parcialmente financiado pela FAPESP projeto #2015/07714-4, Capes projeto #1846-15-9 e CNPq projeto #400754/2014-2.

sustentabilidade da dimensão ambiental. O mesmo procedimento foi utilizado para as demais dimensões, que posteriormente são também agregadas por um novo sistema. Em cada um dos níveis as variáveis de entrada foram fuzzificadas por meio de funções de pertinência triangulares e cinco conjuntos fuzzy: insustentável, potencialmente insustentável, intermediário, potencialmente sustentável e sustentável. O domínio de cada conjunto foi extraído da Escala de Desempenho de Indicadores proposta em [5]. Os conjuntos de saída de cada sistema também utilizaram os mesmos conjuntos fuzzy. As regras que relacionam os antecedentes e os consequentes foram elaboradas segundo metodologia proposta por [3], na qual cada conjunto fuzzy antecedente recebe um número de 0 a 4 e ao consequente é atribuído a soma desses valores. Considerando, por exemplo, um sistema com três variáveis de entrada, se o consequente possuir soma 0 ou 1, lhe é atribuído o conjunto insustentável, para 2,3,4 potencialmente insustentável, para 5,6,7 intermediário, para 8,9,10 potencialmente sustentável e para 11,12 sustentável. Este procedimento algébrico para elaboração das regras permite uma representação sistemática e compacta para a base de regras. A inferência foi feita pelo método de Mamdani, que utiliza a regra composicional Max-Min e para a defuzzificação foi considerado o método do centróide. O modelo foi implementado no toolbox fuzzy do software Matlab, versão 7.10.0-R2010a. Os resultados preliminares obtidos do conjunto de dados de 2002 e 2011 mostram que o modelo fuzzy comporta-se de modo mais restritivo do que os resultados apresentados no modelo que usa a metodologia do barômetro da sustentabilidade [3] para avaliar a sustentabilidade do país. Este fato já era esperado pois a metodologia do barômetro representa sempre a situação média dos indicadores que o compõem. Dessa forma, o modelo fuzzy oferece um modo de agregação que procura retratar de forma mais próxima a composição dos diferentes estados dos indicadores. Embora o estudo de Phillis et al [3] avalie a condição de sustentabilidade do Brasil, não é possível compará-lo ao modelo aqui proposto pois os indicadores são distintos. O próximo passo desse estudo é incorporar no modelo as interrelações existente entre os indicadores provavelmente utilizando pesos na base de regras e realizar testes estatísticos para avaliar o desempenho do modelo proposto.

Palavras-chave: sistemas baseados em regras, sustentabilidade, gestão

Referências

1. Ness, B et al. Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological economics*, v. 60, n. 3, p. 498-508, 2007.
2. Singh, R K et al. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*, v. 15, n. 1, p. 281-299, 2012.
3. Phillis, Y. A., Grigoroudis, E., & Kouikoglou, V. S. (2011). Sustainability ranking and improvement of countries. *Ecological Economics*, 70(3), 542-553.
4. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2008). *Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2008*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
5. DiSano, J. (2002). *Indicators of sustainable development: Guidelines and methodologies*. United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York.