

Análise da estrutura e dos critérios na elaboração de um índice de sustentabilidade

Analysis of the structure and criteria in the elaboration of a sustainability index

Alexandre André Feil^a

Dusan Schreiber^b

^aProfessor Adjunto do Centro de Gestão Organizacional do Curso de Ciências Contábeis, Universitário Univates, Lajeado, RS, Brasil
End. Eletrônico: alexandre.feil1@gmail.com

^bProfessor dos programas de Pós-graduação de Indústria Criativa e Qualidade Ambiental, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil
End. Eletrônico: dusan@feevale.br

doi:10.18472/SustDeb.v8n2.2017.xxx

Recebido em 05.12.2016

Aceito em 26.06.2017

ARTIGO - VARIA

RESUMO

A sustentabilidade do sistema ambiental-humano representa, na atualidade, a melhor opção para a sua continuidade. A identificação da direção da sustentabilidade pode ser realizada utilizando-se um índice de sustentabilidade, porém, este é considerado complexo e subjetivo. Portanto, este estudo objetiva analisar o processo de elaboração do índice de sustentabilidade, identificando as principais definições, a estrutura e os métodos. A metodologia utilizada quanto ao tipo de pesquisa é qualitativa e a coleta dos dados realizou-se com base em uma revisão bibliográfica, e sua análise ocorreu por meio do processo de interpretação. Os resultados revelam que a estrutura de um índice de sustentabilidade ocorre diante da identificação do objetivo e do sistema ambiental-humano, da seleção dos indicadores, normalização, ponderação, agregação, assim gerando o índice. Conclui-se que o processo de elaboração do índice de sustentabilidade não tem um modelo único, assim, os diferentes processos podem ser utilizados, mas diferenciam-se diante da qualidade da mensuração do nível de sustentabilidade. Além disso, a escolha de um processo está relacionada com as informações que estão disponíveis no subsistema a ser mensurado. Nesse sentido, recomenda-se muita cautela, pois o índice gerado pode apresentar resultados insatisfatórios e irrealistas.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Indicadores; Normalização; Ponderação; Agregação.

ABSTRACT

The sustainability of human-environmental systems currently represents the best choice for its continuity. Sustainability index can be used for possibly identifying the direction of sustainability, although regarded as complex and subjective. Therefore, this study aims to analyze the process of constructing a sustainability index, by identifying main definitions, structure and methods. The used methodology

included qualitative research, with data collection from literature review and interpretation analysis. The results illustrate that the structure of a sustainability index is developed by identifying the aims and the human-environmental system, by the selection, normalization, ponderation and aggregation of indices, thus generating the index. We conclude that there is no single model for the process of elaborating sustainability index, so different processes can be used, differing in their quality of measurement of sustainability. Additionally, the choice for a process is related to the available information on the measured subsystem. In this context, it is recommended great attention, once the generated index could present unsatisfactory and unrealistic results.

Keywords: Sustainability; Indicators; Standardization; Weighting; Aggregation.

1 INTRODUÇÃO

Há um reconhecimento global de que a qualidade de vida só pode ser mantida no futuro caso as atividades humanas tornem-se mais sustentáveis (GREATOREX; LINDHOLM; PARUCH, 2007). Assim, a mensuração e o monitoramento dessa sustentabilidade ocorrem por intermédio de indicadores e índices (HÁK; JANOUŠKOVÁ; MOLDAN, 2012). Esses indicadores simplificam e quantificam os fenômenos do sistema ambiental-humano (SINGH et al., 2012).

O ambiental-humano consiste na interação mútua, conectada e incorporada do sistema ambiental (solo, água, plantas, animais, ar, entre outros) e do sistema humano (indústrias, máquinas, humanos, social, entre outros) (FEIL; SCHREIBER; TUNDISI, 2015). Assim, esses autores defendem que a sustentabilidade se viabiliza tendo-se uma visão holística e integrada desse sistema ambiental-humano.

A ideia de sustentabilidade, neste estudo, é entendida como uma alteração da qualidade identificada mediante as propriedades do sistema ambiental-humano (BELL; MORSE, 2008). A sustentabilidade preocupa-se com a qualidade desse sistema ambiental-humano, avaliando por meio de indicadores as propriedades e características, ou seja, o nível da sustentabilidade. Esta é complexa e nenhuma abordagem simples será encontrada com a capacidade de manejar essa complexidade (LINHARES; ROMERO, 2014). Porém, a sustentabilidade é uma questão prioritária na agenda das preocupações globais.

Os indicadores e índices de sustentabilidade são poderosas ferramentas na formulação de políticas públicas e no fornecimento de informações sobre o desempenho de países e empresas (SINGH et al., 2012). Os índices de sustentabilidade podem ser ferramentas eficientes, mas somente quando são elaborados de forma adequada, pois, caso contrário, podem ser enganosos (MAYER, 2008). Apesar da vasta literatura sobre índices de sustentabilidade, apenas alguns têm sido reconhecidos, validados e utilizados, pois seu processo de elaboração e o resultado necessitam maior clareza (LINARES; ROMERO, 2014).

Nesse sentido, o objetivo central deste estudo é analisar o processo de elaboração do índice de sustentabilidade, identificando as principais definições, estruturas e os métodos vinculados à concepção da sustentabilidade.

A justificativa deste estudo centra-se no alerta dado por Kozic, Kresic e Mikulic (2015) de que há a necessidade de uma profunda reflexão sobre a aplicabilidade de determinados processos na elaboração dos índices de sustentabilidade. Destaca-se que processos de elaboração de índices de sustentabilidade não convergem, o que gera diferentes perspectivas na sua elaboração e de seus resultados. Um pré-requisito para a elaboração de um índice de sustentabilidade é o entendimento, pelo pesquisador, de suas variadas questões conceituais e metodológicas (MAYER, 2008).

2 METODOLOGIA: DADOS E ANÁLISE

O tipo desta pesquisa é qualitativa, pois consiste na análise e interpretação de informações textuais, compreendendo conceitos, discussões, análises e as principais conclusões de publicações científicas. O procedimento técnico utilizado é o da revisão bibliográfica sistemática, onde a bibliografia refere-se a documentos, livros e artigos elaborados com rigor científico.

A pesquisa bibliográfica sistemática realizou-se com base na proposta de Lakatos e Marconi (2012) que contém oito etapas, a saber: a) Escolher o tema: o tema índice de sustentabilidade foi escolhido em função da necessidade de aprofundamentos teóricos na sua elaboração; b) Elaborar o plano do estudo: esquematizou-se a espinha dorsal deste estudo, contendo as seções, subseções e a formulação do objetivo; c) Identificar: houve a seleção das palavras-chave *index, sustainability, aggregation, normalization, indicators, sensitivity analysis, uncertainty analysis* por meio de um grupo de pesquisadores¹; d) Localizar: selecionou-se a base de periódicos com auxílio dos pesquisadores supracitados. Os critérios de seleção abrangem o grau de impacto das publicações, a disponibilidade da bibliografia e a qualidade das discussões; e) Compilar: a compilação ocorreu por meio de arquivo eletrônico agrupando as informações por semelhanças e afinidades; f) Fazer o fichamento: as informações das bibliografias analisadas foram organizadas em quadros abarcando, por exemplo, o autor e ano, objetivo do estudo, principais resultados, críticas e benefícios; g) Analisar e interpretar: analisaram-se as informações do fichamento com rigor científico; e h) Redigir: a redação ocorreu por meio da descritiva-textual.

As bibliografias utilizadas na revisão bibliográfica foram pesquisadas nas bases da *Science Direct* e do *Google Scholar*. Essas bibliografias abrangem apenas o idioma em inglês (nacionais e estrangeiras), pois segundo Schütz (2010) em torno de 85% das publicações de cunho científico em nível mundial estão no idioma inglês. Salienta-se que o marco inicial da pesquisa ocorreu com a obra de Charnes, Cooper e Rhodes (1978) sobre o processo de análise *Data Envelopment Analysis (DEA)*, e o marco final, com publicações de 2015.

As palavras-chave foram inseridas na aba da busca avançada dos periódicos selecionados e obteve-se um retorno de 93 bibliografias pelo *Google Scholar* e 30 pelo *Science Direct*, totalizando, assim, 123 bibliografias. Esse processo de seleção inicial e coleta das bibliografias ocorreu em outubro de 2014. Na sequência dessa coleta, foi realizada a leitura de todos os 123 *titles*, *abstracts* e das *references*. A leitura das *references* foi com o objetivo de ampliar a pesquisa bibliográfica, pois as *references* são essenciais no entendimento e na ampliação do tema.

As bibliografias dessas *references*, que se vinculavam às palavras-chave, também foram recuperadas, e seus *titles*, *abstracts* e as *references* também foram lidos. Portanto, após a leitura inicial dos *titles*, *abstracts* e as *references*, excluem-se 40 bibliografias, pois não estavam aderentes aos critérios preestabelecidos deste estudo, e o escopo final de bibliografias desta pesquisa compreende 83 textos.

As 83 bibliografias resultantes foram integralmente lidas, e seu texto interpretado no período de novembro e dezembro de 2014. Cabe ressaltar que este estudo não teve a pretensão de coletar e analisar todas as bibliografias vinculadas ao tema supracitado, mas coletar informações suficientes para satisfazer, de forma adequada, o objetivo geral.

A leitura integral das 83 produções, bem como a sua análise interpretativa, foi realizada com o intuito de sintetizar as ideias e ter compreensão profunda dos textos. Segue-se nesta etapa a proposta de Severino (2007), ou seja, busca-se uma interpretação das ideias expostas, compreendendo também uma associação das ideias no texto com outras que tenham recebido outra abordagem semelhante, sem nenhum tipo de interferência. A última etapa da interpretação é a crítica: apresenta-se uma construção de um juízo crítico, posicionando-se ante o texto interpretado.

3 RESULTADOS E ANÁLISES DOS CRITÉRIOS NA ELABORAÇÃO DO ÍNDICE DA SUSTENTABILIDADE

Na construção de um índice de sustentabilidade, necessita-se de métodos científicos sólidos para cada uma das etapas, a saber: seleção de indicadores; normalização; ponderação; agregação; formação do índice; e análise de sensibilidade e incerteza.

3.1 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

Os indicadores de sustentabilidade objetivam quantificar os processos do sistema ambiental-humano, com equidade (DAHL; HAK; MOLDAN, 2007). Para Linke et al. (2013), compreendem medidas sistemáticas, precisas, consistentes e transparentes das dimensões *Triple Bottom Line* (TBL) da sustentabilidade relacionadas ao ambiental, social e econômico.

A simplificação de processos complexos e diversificados em medidas reduzidas e simples, independentemente da quantidade ou sofisticação, não consegue traduzir todas as questões envolvidas (AZAPAGIC, 2004). Salienta-se que sempre haverá uma margem de perda de informação, porém, sua utilização ainda continua sendo a melhor opção para mensurar a sustentabilidade.

A identificação e a seleção de indicadores de sustentabilidade podem ocorrer com base na abordagem *top-down* e *bottom-up* (LAHTINEN et al., 2014). Ainda destacam que a abordagem *top-down* consiste na utilização de especialistas na identificação de indicadores, em nível macro. Já a abordagem *bottom-up* consiste na identificação de indicadores por intermédio da participação sistemática dos *stakeholders*, em nível local, considerando suas adversidades (LAHTINEN et al., 2014). Portanto, o processo de identificação de indicadores de sustentabilidade deve ser definido a partir de opiniões (especialistas ou *stakeholders*), e isso corrobora com as qualidades desejáveis na identificação e seleção de indicadores apresentadas por Bossel (1999) e Azapagic (2004).

As atuais tendências na identificação de indicadores de sustentabilidade abrangem de forma híbrida as abordagens *top-down* e *bottom-up*. Os indicadores com abordagem *top-down* (principais), podem ser aplicados a qualquer instituição, e podem ser visualizados no *Global Reporting Initiative* (GRI, 2013), na *Commission on Sustainable Development* (CSD, 2007), no *Institution of Chemical Engineers* (IChemE, 2002), no *Wuppertal Institute for Climate, Environment, Energy* (BONNIOT; SPANGENBERG, 1998), e na *International Organization for Standardization 14031:2013* (ISO, 2013), entre outros.

Os indicadores com abordagem *bottom-up* (complementares) são aplicados para situações específicas, considerando o porte, a região, entre outras. Dessa forma, esses indicadores complementares devem ser identificados em cada caso específico (JOUNG et al., 2012). A definição dos indicadores de sustentabilidade deve ocorrer com base na abordagem de opinião dos *stakeholders*, pois estes refletem as prioridades locais. Portanto, na definição de indicadores é essencial observar essas questões apresentadas, pois auxiliam na robustez e consistência do índice, que, por sua vez, refletem a realidade do sistema analisado da forma mais próxima possível.

3.2 PROCESSOS DE NORMALIZAÇÃO

Os indicadores de sustentabilidade, na maioria dos casos, são mensurados por diferentes unidades, escalas e intervalos (JACOBS et al., 2004). Logo, necessitam ser padronizados (normalização) apropriadamente de modo que sua gama de variabilidade seja constante antes de sua agregação (MAYER, 2008).

A normalização é um método que, quando aplicado a um conjunto de dados que são incomensuráveis, que apresentam unidades de medidas diferentes, traz essas unidades a uma mesma medida, tornando-as comparáveis (REISI et al., 2014). A normalização das variáveis evita a dominação de valores extremos ou atípicos (FREUDENBERG, 2003). Destarte, esses valores extremos – mais afastados da média – são mais propensos a refletirem informações subjacentes.

A normalização de dados implica juízo de valores (NARDO, 2005). Assim, é necessário identificar o procedimento de normalização apropriado para a série de dados, considerando as unidades de medidas e os possíveis valores extremos. A utilização de diferentes métodos de normalização de um conjunto de dados iguais pode gerar resultados diferentes, principalmente no processo de agregação, que gera o valor do índice.

Os métodos de normalização disponíveis na literatura são diversos, mas sua conceptualização e a metodologia de instrumentalização são escassas, principalmente as direcionadas à sustentabilidade. Os principais métodos, seus conceitos e limitações estão descritos na sequência:

a) *Ranking*: consiste em ranquear os indicadores em posições ordinais, e sua principal desvantagem é a perda da informação em nível absoluto (JACOBS et al., 2004). As vantagens são a simplicidade na aplicação e a independência ante os valores extremos (NARDO et al., 2005);

b) *Padronização do z-score*: consiste em converter todos os indicadores para uma escala comum, assumindo uma distribuição normal, quando todos os indicadores terão uma média zero e um desvio padrão 1 (JACOBS et al., 2004). Os valores positivos (negativos) para um determinado indicador assinalam acima (abaixo) do desempenho médio (FREUDENBERG, 2003). Nesse caso, os valores extremos possuem maior efeito sobre o índice (OECD, 2008);

c) *Re-scaled values*: assegura que os indicadores normalizados tenham um valor relativo em relação aos valores máximos e mínimos, compreendendo entre 0 (pior) e 1 (melhor) (ZHENG et al., 2013). Nesse método, a normalização tem como base a gama (máxima e mínima) em vez do desvio padrão, mas pode não ser confiável em relação aos valores extremos (NARDO et al., 2005). Os valores extremos, nesse método, poderiam distorcer o índice mais que o método z-score (OECD, 2008);

d) *Escalas Categóricas*: para cada indicador é atribuída uma pontuação (escore categórico), que pode ser numérica ou qualitativa (FREUDENBERG, 2003). As escalas categóricas são altamente subjetivas, pois dependem dos limites que podem ser selecionados de forma arbitrária (JACOBS et al., 2004). As escalas categóricas omitem grande quantidade de informações sobre a variação e, além disso, se houver pouca variação nos valores dos indicadores, essa alteração não é refletida caso a escala for muito distante uma da outra (JACOBS et al., 2004). Uma possível solução para essa última desvantagem seria o ajuste dos suportes com o auxílio de indicadores individuais, para obter distribuições categóricas quase normais, corroborado pela OECD (2008);

e) *Número de indicadores acima (abaixo) da média*: esse método pontua os indicadores que estão acima (1) e abaixo (-1), com base em um limite arbitrário definido em torno da média (0) (NARDO et al., 2005). Diante disso, utiliza-se a diferença entre o número de indicadores acima e abaixo da média (JACOBS et al., 2004). A principal desvantagem é a perda de informação do nível de intervalo, por exemplo, 10% ou 100% (superior à média) são classificados como acima da média. Já a vantagem desse método é a robustez em relação aos dados extremos (OECD, 2008);

f) *Transformação logarítmica*: consiste na aplicação logarítmica nas unidades de medidas, ou seja, a utilidade marginal da melhoria de um indicador diminui à medida que o desempenho melhora. Portanto, a transformação considera uma ponderação mais elevada para a melhoria da unidade de baixo nível de desempenho em comparação com o nível mais alto de desempenho (JACOBS et al., 2004).

Os métodos de normalização possuem questões que orientam a sua seleção apropriada para uma determinada situação (NARDO et al., 2005), a saber: a) se os dados tangíveis ou intangíveis estão disponíveis; b) se os valores extremos devem ser recompensados ou penalizados; c) se as informações compreendem níveis absolutos; d) se o *benchmarking* de um indicador é necessário; e e) se as variações dos indicadores necessitam ser apuradas.

Em suma, nota-se que o processo de normalização preocupa-se com os ajustes de escalas, principalmente relacionados aos valores extremos existentes. Nessa perspectiva, julga-se necessário minimizar que os dados normalizados transmitam os reflexos dos valores extremos ao índice de sustentabilidade.

Portanto, a escolha de um método adequado de normalização não é trivial, pois são as características das unidades de medidas dos indicadores e os objetivos da construção do índice quem o define.

3.3 PROCESSO DE PONDERAÇÃO

O processo de ponderação enfatiza a contribuição de alguns aspectos de um conjunto de dados na geração de um resultado, atribuindo-lhes mais (menos) peso (importância) na análise (SINGH et al., 2012). Os pesos influenciam na geração do índice. Geralmente, é atribuído mais peso aos indicadores com maior importância ou atenção (MIKULIC et al., 2015). Esse processo é complexo (ZHENG et al., 2013) e surgem a partir dele os principais desafios científicos e questões democráticas (BOULANGER, 2008), além de ser altamente subjetivo (PISSOURIOS, 2013).

Os indicadores que são agregados em um índice devem ser ponderados mediante pesos iguais ou diferentes. Os métodos de ponderação são classificados em três categorias (SAISANA, 2011): a) peso igual; b) base em opiniões – Opinião pública, Alocação orçamentária, *Analytic Hierarchy Process* (AHP); c) base em modelos estatísticos – *Factor Analysis* (FA); *Principal Component Analysis* (PCA), e DEA.

O método de ponderação com pesos iguais é mais utilizado em função de sua simplicidade (HUANG; LEE, 2007), significando que todos os indicadores têm a mesma importância para a sustentabilidade (REISI et al., 2014). Para Jacobs et al., (2004) os pesos iguais são atribuídos a indicadores quando não há motivos estatísticos ou empíricos para a escolha de outra categoria de ponderação.

O risco desse método é a dupla contagem de indicadores similares (FREUDENBERG, 2003). Logo, esse método não reflete as diferentes importâncias dos vários indicadores, o que prejudica sua utilização (LIU, 2014). Porém, a ponderação utilizada com maior frequência, cerca de 40% dos casos, relaciona-se aos pesos iguais (SINGH et al., 2012).

Na ponderação com base em opiniões, a informação sobre a importância atribuída a cada indicador é extraída dos julgamentos subjetivos (MIKULIC et al., 2015). As principais técnicas de ponderação com base em opinião são: a) AHP; b) Dotação orçamentária; e c) Opinião pública.

O método de ponderação AHP tem como base os pareceres onde as opiniões são sistematicamente extraídas por meio de comparações de pares (SAATY, 1987). Nesse método, ambos os aspectos, qualitativos e quantitativos, de um problema são incorporados no processo de avaliação, o qual é realizado entre pares de indicadores, solicitando que os especialistas identifiquem qual é mais importante e em quanto (SAATY, 1987). Os entrevistados expressam suas preferências em uma escala de 1 (igual importância) a 9 (nove vezes mais importante) (REISI et al., 2014).

Esse método é recomendado na combinação de no máximo 10 indicadores (SAISANA, 2011), o que, para Zheng et al. (2013), é uma desvantagem, pois limita a quantidade de indicadores. Os pesos desse método são atribuídos com base na escolha do conjunto de especialistas. Dessa forma, quando comparado com as qualidades desejáveis na sustentabilidade, a melhor escolha seriam especialistas de distintas áreas do conhecimento.

Na ponderação com base na dotação orçamentária, os participantes recebem um orçamento de n pontos a serem distribuídos entre os indicadores, revelando suas preferências pelas maiores despesas com os indicadores de maior importância (JACOBS et al., 2004). A vantagem da dotação orçamentária é que os pesos são estipulados com base em consulta a especialistas e não em manipulações técnicas, legitimando o índice. Já as desvantagens são que os pesos refletem condições locais, e o método é suscetível de inconsistências quando superior a 10 indicadores; a ponderação não mede a importância do indicador, mas sua urgência e necessidade (NARDO et al., 2005).

Na opinião pública, como método de ponderação, os pesos são determinados pelo público em geral em vez de especialistas (MIKULIC et al., 2015). Nesse método os entrevistados refletem a preocupação, ou seja, destacam para cada indicador muita ou pouca preocupação (JACOBS et al., 2004). Nardo et al. (2005) apontam que as vantagens compreendem o envolvimento com temas da agenda política e

faculta que os *stakeholders* expressam sua preferência. Cabe destacar também que a literatura não apresenta uma quantidade desejável de entrevistados utilizados na pesquisa de opiniões. Portanto, sugere-se que a quantidade seja no mínimo estatisticamente significativa dentro da categoria de entrevistados escolhidos.

As ponderações com base em opiniões são subjetivas e arbitrárias, assim, os modelos estatísticos seriam mais apropriados. Os métodos estatísticos mais utilizados na literatura compreendem (REISI et al., 2014): o DEA; o FA; e o PCA.

O método estatístico DEA utiliza ferramentas de programação linear para identificar a fronteira da eficiência de um conjunto de indicadores, e utiliza essa fronteira como um *benchmarking* para medir o desempenho do conjunto em função da distância entre os indicadores, de forma multidimensional (NARDO et al., 2005). Portanto, os pesos são determinados com base nessa medição da distância. O DEA permite que cada unidade de tomada de decisão atribua pesos elevados para fatores que são eficientes e baixos aos demais (REISI et al., 2014).

As limitações do DEA relacionam-se à classificação da unidade de tomada de decisão em dois grupos (eficazes e ineficazes); porém, na maioria das vezes, os dois grupos são essenciais (REISI et al., 2014). As contribuições do DEA: a) resolvem os desacordos entre especialistas e *stakeholders* em relação à ponderação (CHERCHYE et al., 2007); b) facilitam a interpretação dos resultados (CHERCHYE et al., 2007); c) sua invariância das unidades de medida acarreta no fato de que a fase da normalização pode ser ignorada (CHERCHYE et al., 2007); d) o *benchmarking* oferece uma medida de desempenho com base em dados reais (MURIAS et al., 2008); e e) permite que cada indicador tenha pesos individuais, respeitando suas características individuais (MURIAS et al., 2008).

Os métodos FA/PCA agrupam indicadores que são colineares, por meio da correlação, com a capacidade de capturar o máximo de informação (REISI et al., 2014). A lógica desses métodos consiste na obtenção de agrupamentos de indicadores individuais que compartilham uma variância em comum (MIKULIC et al., 2015). As informações devem ser comparáveis e o índice gerado depende da dimensão estatística dos dados (JACOBS et al., 2004). Logo, esses métodos têm como base exclusiva a variação e covariação da matriz dos dados na construção dos pesos (SHEN; ZHANG; WU, 2011). O FA/PCA na ponderação apenas intervém na correção das informações sobrepostas de indicadores correlacionados e não é uma medida de importância (NARDO et al., 2005).

O FA/PCA possui a vantagem de não manipular os pesos em decorrência das opiniões, e promove a solução para o problema da dupla contagem (NARDO et al., 2005). As desvantagens compreendem (NARDO et al., 2005): a) apenas pode ser utilizado em indicadores correlacionados; b) sensível à alteração de dados básicos: a revisão e/ou alteração desses dados pode alterar o conjunto de pesos; c) sensível diante de valores extremos; d) sensível a problemas de pequena amostra ou escassez de dados, gerando dificuldades na identificação e interpretação estatística; e e) as correlações podem não se vincular ao mundo real e às relações subjacentes entre os indicadores e os fenômenos medidos (JACOBS et al., 2004).

Em vista disso, percebe-se que a utilização de métodos estatísticos pode realizar a análise mútua dos indicadores de forma (bi)multivariada. Porém, apenas com base no nível de significância encontrado, pode não refletir se as correlações serão correspondentes às ligações reais entre os indicadores (FREUDENBERG, 2003).

A reflexão sobre a essência da sustentabilidade revela que entre as dimensões desta deve haver equidade (ZHENG et al., 2013). Essas dimensões referem-se à ambiental (ar, água, solo, mineral, energético, entre outros); social (recursos humanos internos, população externa, participação dos *Stakeholders*, desempenho macrossocial, entre outros) e a dimensão econômica (saúde financeira, desempenho econômico, benefícios financeiros, oportunidades comerciais, entre outros) (AZAPAGIC, 2004). Nessa lógica, os indicadores de sustentabilidade podem ter diferentes pesos distribuídos entre eles em uma mesma dimensão, desde que cada dimensão tenha um peso igual, ou seja, sua soma corresponda a 100%.

Entende-se que, independente do método de ponderação a ser utilizado, o processo de ponderação dos indicadores é, essencialmente, juízo de valores, e pode variar de forma significativa, dependendo do método utilizado (MIKULIC et al., 2015). Assim, não existe uma metodologia consensual para a ponderação, mas a ponderação utilizada deve ser clara e sua robustez testada.

3.4 PROCESSO DE AGREGAÇÃO

A agregação é um processo que condensa as informações dos indicadores em um único item de informação (BOULANGER, 2008). Os componentes resultantes dessas técnicas de redução e agregação devem preservar o comportamento total do sistema, apenas simplificando a observação e sua interpretação.

O objetivo da agregação é obter uma visão geral de um sistema. Porém, os métodos de agregação diferem entre si em relação à quantidade de informações que é perdida (ANG; POH; ZHOU, 2006). Logo, a utilização de diferentes métodos de agregação resulta em diferentes índices agregados, mesmo que utilizados em um mesmo conjunto de dados. Dessa forma, a existência de vários métodos de agregação dificulta a escolha do mais adequado (TRAN et al., 2007).

A agregação pode ser realizada em três níveis (LINDHOLM et al., 2007): 1) A não agregação, caso os indicadores satisfaçam as necessidades de forma separada; 2) A agregação em dimensões (ambiental, social e econômica) e, para cada uma das dimensões, apurar um índice; e 3) com base no nível 1 ou 2, os indicadores são ponderados e agregados em um índice geral.

Os métodos de agregação estatísticos, em função de sua neutralidade, são os prováveis métodos, menos tendenciosos, na agregação de indicadores de sustentabilidade, pois são agrupados pelo comportamento estatístico (MAYER, 2008).

Ebert e Welsch (2004) identificam quatro classes genéricas de agregação (Tabela 1), e que são consideradas requisitos básicos na geração de um índice significativo.

Tabela 1 – Regras de agregação de variáveis

	Não comparáveis	Comparáveis
Escala intervalar	Ordenação ditatorial	Média aritmética
Escala de razão	A média geométrica	Qualquer função homotética

Fonte: Adaptado de Ebert e Welsch (2004).

A escala intervalar compreende uma unidade de medida que pode ser transformada em outra, por intermédio de uma transformação linear, por exemplo, de graus *Celsius* em *Fahrenheit*. Porém, a escala de razão é transformada em outra unidade de medida mediante a proporção, como escalas de comprimento, peso, entre outros (EBERT; WELSCH, 2004).

As regras para a agregação de variáveis (subindicadores) são viáveis em função de suas escalas e propriedades matemáticas e podem ser classificadas em quatro situações (EBERT; WELSCH, 2004): a) escala intervalar não comparável: se as escalas de intervalo não são comparáveis, não faz sentido agregá-las, à exceção de uma ordenação ditatorial (determinada), que gera um índice com fraca representação dos dados; b) escala intervalar comparável: a agregação deve ser realizada com base na média aritmética, que gera um índice com forte representatividade dos dados; c) escala de razão não comparável: a agregação pode ser realizada com base na média geométrica, que gera um índice com forte representatividade dos dados; d) escala de razão comparável: qualquer função homotética pode ser utilizada para gerar um índice com forte representatividade dos dados.

Entretanto, em muitos casos, na *práxis* essas regras de agregação são negligenciadas (BOHRINGER; JOCHEM, 2007). Dessa forma, a agregação de variáveis não comparáveis exige uma média geométrica e, em muitos casos, por exemplo, é utilizada a média aritmética (enganosa) (BOHRINGER; JOCHEM, 2007).

Os métodos quantitativos de agregação, classificados como agregação aditiva, têm as seguintes especificações: a) podem ocorrer por meio do cálculo do *ranking* por meio dos indicadores e do somatório das ordenações resultantes (OECD, 2008); b) pelo número de indicadores abaixo e acima da média: agrega com base no número de indicadores que estão acima (abaixo) de um determinado ponto de referência (OECD, 2008); c) mediante média aritmética ponderada: soma dos indicadores ponderados e normalizados, ou seja, utiliza-se esse método quando todos os subindicadores possuem a mesma unidade de medida e as ambiguidades resultantes dos efeitos da escala foram neutralizadas (ZHENG et al., 2013).

A OECD (2008) salienta que a agregação aditiva tem importantes implicações na interpretação dos pesos, e a compensação de valores de desempenhos baixos em desempenhos elevados. Além disso, apresenta uma forma natural de agregação para a maioria dos tomadores de decisão (TRAN et al., 2007). Porém, a função aditiva pode não refletir com precisão as condições reais da sustentabilidade, principalmente se os indicadores compreendem as três dimensões (MAYER, 2008).

Além dessas agregações aditivas (Tabela 1), ainda pode-se destacar a média geométrica ponderada, que é apropriada quando os subindicadores não são comparáveis, estritamente positivos e expressos em diferentes escalas, e caracteriza-se como não linear (LIU, 2014).

Salienta-se que uma condição necessária para utilizar a agregação linear ou geométrica consiste na ausência de conflitos entre os indicadores (NARDO et al., 2005). A agregação linear recompensa os indicadores proporcionalmente aos pesos, já a geométrica recompensa os com maior pontuação.

Os métodos de agregação possuem vieses os quais podem trazer implicações na geração do índice (MAYER, 2008), considerando que o somatório pode ocultar a ponderação de conjunto de indicadores que estão correlacionados positivamente (GONZALEZ; MIKKELSON; PETERSON, 2007). Portanto, os métodos que perdem maior quantidade de informação são os sistemas menos capacitados, de acordo com a essência da sustentabilidade, para serem utilizados no processo de agregação.

Considera-se prudente observar que no processo de agregação não é recomendável a ocorrência da compensação dos pesos entre dimensões e/ou indicadores, pois um sistema que é insustentável em uma dimensão da TBL geralmente não é sustentável.

3.5 ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE

Índice de sustentabilidade é um método de medição que utiliza da agregação para combinar vários indicadores e/ou dimensões em um único valor comparável (SINGH et al., 2007). Logo, ele mensura os aspectos multidimensionais da sustentabilidade, os quais não podem ser completamente capturados na avaliação de indicadores individuais (SAISANA, 2011; ZHOU et al., 2006).

O índice de sustentabilidade tem sido amplamente aceito como uma ferramenta de desempenho, *benchmarking*, análise de políticas e comunicações endógenas e exógenas (ZHOU et al., 2006). Esse índice é útil para formulação de políticas, em função da capacidade de simplificar medições complexas da sustentabilidade (SINGH et al., 2007).

Apesar do uso extensivo dos índices, existem duas visões conflitantes: os críticos destacam que índice único não pode responder a todas as perguntas, em consequência disso, há a necessidade de múltiplos índices (JOLLANDS; LERMIT; PATTERSON, 2003); e que o índice não é confiável, pois envolve alguns estágios na sua elaboração que necessitam de julgamentos subjetivos (PÉREZ et al., 2013). Nardo et al. (2005) afirmam que essas escolhas subjetivas podem ser utilizadas para manipular os resultados. Por outro lado, segundo Freudenberg (2003), os índices são ferramentas de comunicação de informação

valiosas e essenciais nas tomadas de decisões, pois limitam a informação apresentada, permitindo comparações rápidas e fáceis. Os índices de sustentabilidade de sucesso fornecem informações que são úteis e instrutivas às comunidades e organizações (ZHENG et al., 2013).

Na elaboração dos índices de sustentabilidade deve-se observar os seguintes requisitos básicos (BOHRINGER; JOCHEM, 2007; MAYER, 2008): a) ser coerente com as concepções da sustentabilidade; b) utilizar indicadores relevantes que representem uma visão holística das dimensões da TBL (LIU, 2014); c) ter disponibilidade de dados para mensuração da sustentabilidade em horizontes de longo prazo; d) selecionar os indicadores via processo; e) identificar objetivos políticos, caracterizando as mudanças que devem ser abordadas, facilitando, assim, a evolução na direção da sustentabilidade; f) ter a normalização, a agregação e a ponderação adequadas dos indicadores; g) ser compreensível e utilizável pelo público em geral; h) ser transparente em termos de estrutura; i) permitir que sejam feitas comparações entre índices de diferentes períodos de tempo e/ou organizações (LIU, 2014).

A estrutura de elaboração dos índices de sustentabilidade existentes é distinta (CASTELLANI; SALA, 2009). E, além disso, a terminologia associada aos componentes dessas estruturas não é padronizada (ZHENG et al., 2013). Pérez et al. (2013) afirmam que os métodos e estruturas utilizados na elaboração do índice dependem mais da habilidade de quem o concebeu do que das normas aceitas para construí-lo. Portanto, o analista deve escolher o método de acordo com a informação a ser mensurada, incluindo o nível de pertinência e adequação dos indicadores, normalização, ponderação e a agregação (afirmado também por NARDO et al., 2005). Zhou et al. (2006) afirmam que a utilidade de um índice depende da ponderação e da agregação utilizadas, pois, dependendo do método utilizado, o índice pode tornar-se inútil.

A construção de índices de sustentabilidade provoca uma perda de certa quantidade de informação e seus resultados podem ser menos transparentes. Nesse sentido, os desenvolvedores devem estabelecer a forma metodológica (direta e explícita), as limitações e disparidades do índice, pois os usuários, ao tomarem decisões, devem considerá-las (JOLLANDS; LERMIT; PATTERSON, 2003).

A análise de 11 índices por Bohringer e Jochem (2007) demonstra que estes não cumprem os requisitos científicos fundamentais, tornando-os inúteis, apesar de serem consistentes e transparentes. Aponta, também, três questões centrais que não foram observadas na elaboração dos índices: a) os indicadores selecionados devem refletir a natureza holística da sustentabilidade; b) as unidades de medidas dos indicadores devem indicar o método de agregação e a comensurabilidade (EBERT; WELSCH, 2004); e c) a normalização e a ponderação dos indicadores devem ser realizadas de forma transparente e serem objeto de análise da sensibilidade.

Em suma, entende-se que os índices de sustentabilidade geram uma visão estática de um determinado sistema. Porém, a visão dinâmica é alcançada quando o índice é apurado ao longo de um período temporal. Dessa forma, pode-se determinar se esse sistema está tornando-se mais (menos) sustentável. Também se destaca que, como todos os sistemas complexos são resilientes (dinâmicos), nesse caso, o conjunto de indicadores e de pesos, principalmente os complementares, devem ser periodicamente revisados (curto ou médio prazo) para acompanhar a evolução e/ou alteração das condições subjacentes à sua concepção. Esse procedimento se justifica na medida em que os indicadores possuem uma visão holística e se alteram em períodos temporais longos, por exemplo, relacionados com o ar, terra, água, entre outros.

Nesse caso, quando ocorrer alguma inclusão e/ou alteração de um indicador, tanto nos processos de seleção, normalização, ponderação ou agregação, o índice gerado pode ser maior ou menor em relação aos gerados antes da alteração, sem haver uma alteração real no sistema.

3.6 ANÁLISES DE SENSIBILIDADE E INCERTEZA

A análise de sensibilidade e de incerteza identifica tendências e aumenta a transparência do índice de sustentabilidade (TRAN et al., 2007). Além disso, também identifica os indicadores com valores com desempenhos baixos (altos) de um sistema.

A análise da incerteza centra-se na maneira como os fatores de incerteza surgem desde o início (seleção de indicadores, qualidade das informações), propagando-se por intermédio da estrutura (normalização, ponderação, e fórmula do índice), afetando o valor do índice (NARDO et al., 2005). A análise de sensibilidade volta-se para avaliar quanto cada fonte individual dessas incertezas contribui com a variabilidade do índice (OECD, 2008). A utilização de determinado método – normalização, agregação e ponderação – pode gerar índices com valores sensíveis em função de alguns indicadores, resultando em elevada variabilidade (MAYER, 2008).

A abordagem que pode ser adotada para avaliar a incerteza compreende (NARDO et al., 2005): a) inclusão e exclusão de indicadores; b) erros nas informações disponíveis; c) uso de processos alternativos de edição dos dados, tais como a imputação simples e múltipla; e d) uso de métodos de normalização alternativos de dados, assim como para ponderação (por exemplo, dois métodos participativos) e agregação. O processo de análise de incerteza tem como base as simulações que são realizadas para os diferentes passos que constituem a estrutura de um índice.

A abordagem utilizada para avaliar a sensibilidade compreende a alteração de um dos indicadores, ou pesos, e a verificação de qual é o impacto que provoca no índice final. Esses resultados podem ser evidenciados por meio de gráficos de dispersão e de correlações (técnicas de variância), também visto em OECD (2008).

Um índice pode sugerir que um sistema é menos sustentável do que outros, apenas em função de esse sistema ter baixa pontuação em um ou alguns indicadores com alta variabilidade (TRAN et al., 2007). Em vista disso, com base nos resultados da análise de sensibilidade, os índices devem ser ajustados e melhorados (SINGH et al., 2012). Esses ajustes de validação do índice normalmente são realizados em diferentes fases (seleção de indicadores, normalização, agregação e ponderação).

Na análise da estrutura de um índice, a análise de incerteza frequentemente é mais utilizada em comparação com a análise de sensibilidade (FREUDENBERG, 2003). Assim, as duas ferramentas de análise complementam-se e devem ser utilizadas paralelamente na estruturação de um índice. Além disso, o processo e a técnica de análise (nas duas análises) devem estar apresentados de forma transparente, comprovando assim a robustez do índice, argumento encontrado também em Tran et al. (2007).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mensuração da sustentabilidade pode ocorrer por intermédio da elaboração de um índice de sustentabilidade. Destarte, este estudo objetivou analisar o processo de elaboração do índice de sustentabilidade. Os principais resultados revelam que o primeiro passo é a definição da finalidade e do sistema a ser mensurado. Com base nessa afirmação, seleciona-se, geralmente a partir de opiniões, os indicadores principais (especialistas e/ou literatura) e complementares (*stakeholders*). Na sequência, utiliza-se o método de normalização, caso necessário, para transformar diferentes unidades em uma única.

Após a normalização, os indicadores são ponderados. A ponderação pode ocorrer por meio da participação de opiniões (público geral ou especialistas) e/ou por métodos estatísticos. O processo de agregação ocorre na sequência da ponderação, e nele utiliza-se o método matemático, que minimiza a perda de informação. Por fim, após a agregação, tem-se o índice de sustentabilidade. Este é estático, mas sua apuração no decorrer de um período temporal, torna-o dinâmico (capaz de capturar a resiliência do sistema). Assim, consegue-se identificar se o sistema está na direção do aumento (diminuição) do nível de sustentabilidade. Conclui-se que esse processo de elaboração do índice de sustentabilidade é subjetivo e, dependendo da forma de sua elaboração, pode gerar resultados insatisfatórios e não válidos.

NOTA

¹ Os pesquisadores com titulação de doutor estão vinculados ao programa de pós-graduação em Qualidade Ambiental (Mestrado e Doutorado) da Universidade Feevale.

REFERÊNCIAS

- AZAPAGIC, A. Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. **J. Clean. Prod.**, v. 12, p. 639-662, 2004.
- BELL, S.; MORSE, S. **Sustainability Indicators: measuring the immeasurable?** Earthscan Publication, London, UK. 2008.
- BOHRINGER, C.; JOCHEM, P. E. P. Measuring the immeasurable: a survey of sustainability indices. **Ecological Economics**, v. 63, p. 1-8, 2007.
- BOSEL, H. **Indicators for sustainable development: theory, method, applications – a report to the Balaton Group.** Winnipeg: International Institute for Sustainable Development (IISD). 1999.
- BOULANGER, P. M. Sustainable development indicators: a scientific challenge, a democratic issue. **Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society**, v. 1, p. 59-73, 2008.
- CASTELLANI, V.; SALA, S. Sustainable performance index for tourism policy development. **Tourism Management**, p. 1-10, 2009.
- CHARNES. A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operations Research**, v. 2, p. 429-444, 1978.
- CHERCHYE, L. et al. An introduction to 'benefit of the doubt' composite indicators. **Social Indicators Research**, v. 82, p. 111-145, 2007.
- COMMISSION ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Indicators of Sustainable Development: guidelines and methodologies.** Third Edition. United Nations publication. Sales, n. E.08, II, A2. United Nations, 2007.
- EBERT, U.; WELSCH, H. Meaningful environmental indices: a social choice approach. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 47, p. 270-283, 2004.
- FREUDENBERG, M. Composite Indicators of Country Performance: a critical assessment. In: **OECD Science, Technology and Industry Working Papers**, 2003/16, OECD Publishing. 2003.
- GRI. Sustainability Reporting Guidelines (G4). Reporting Guidelines (the Guidelines) offer Reporting Principles, Standard Disclosures. 2013. Disponível em: <<https://www.globalreporting.org/resource/library/Brazilian-Portuguese-G4-Part-One.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2015.
- HAK, T.; MOLDAN, B.; DAHL, A. L. **Sustainability indicator: a scientific assessment**, v. 67. Island Press, 2007.
- ICHEME. **The sustainability metrics: sustainable development progress metrics recommended for use in the process industries** Institution of Chemical Engineers, Warwickshire. 2002.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14031:2013. **Environmental management. Environmental performance evaluation. Guidelines.** 2013.
- JACOBS, R. P.; SMITH, M.; GODDARD, M. Measuring performance: an examination of composite performance indicators. **Technical Paper Series**, v. 29, 2004.
- JOLLANDS, N.; LERMIT, J.; PATTERSON, M. **The Usefulness of Aggregate Indicators in Policy Making and Evaluation: a discussion with application to eco-efficiency indicators in New Zealand.** Economics and Environment Network. Australian National University. 2003.

- JOUNG, C. B. et al. Categorization of indicators for sustainable manufacturing. **Ecological Indicators**, v. 24, p. 148-57, 2012.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do trabalho científico**: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- LAHTINEN, K. et al. A systematic literature review on indicators to assess local sustainability of forest energy production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 1202-1216, 2014.
- LEE, Y.; HUANG, C. Sustainability index for Taipei. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 27, p. 505-521, 2007.
- LINDHOLM, O.; GREATORIX, J. M.; PARUCH, A. M. Comparison of methods for calculation of sustainability indices for alternative sewerage systems: theoretical and practical considerations. **Ecological Indicators**, v. 7, n. 1, p. 71-78, 2007.
- LINKE, B. S. et al. Sustainability indicators for discrete manufacturing processes applied to grinding technology. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 32, n. 4, p. 556-563, 2013.
- LIU, G. Development of a general sustainability indicator for renewable energy systems: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 31, p. 611-621, 2014.
- MAYER, A. L. Strengths and weakness of common sustainability indices for multidimensional systems. **Environment International**, v. 34, n. 2, p. 277-291, 2008.
- MIKKELSON, G. M.; GONZALEZ, A.; PETERSON, G. D. Economic inequality predicts biodiversity loss. **PLoS ONE**, v. 2, n. 5, p. 430-444, 2007.
- MIKULIC, J.; KOŽIĆ, I., KREŠIĆ, D. Weighting indicators of tourism sustainability: a critical note. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 312-314, 2015.
- MOLDAN, B.; JANOUŠKOVÁ, S.; HÁK, T. How to understand and measure environmental sustainability: indicators and targets. **Ecological Indicators**, v. 17, p. 4-13, 2012.
- MURIAS, P. et al. A composite indicator for university quality assessment: the case of Spanish higher education system. **Social Indicators Research**, v. 89, p. 129-146, 2008.
- MURO, P.; MAZZIOTTA, M.; PARETO, A. Composite indices of development and poverty: an application to MDGs. **Social Indicators Research**, v. 104, p. 1-18, 2011.
- NARDO, M. et al. **Tools for Composite Indicators Building**. European Commission, Ispra. 2005.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Handbook on Constructing Composite Indicators**: methodology and user guide. OECD. 2008.
- PÉREZ, V. et al. Composite indicator for the assessment of sustainability: the case of Cuban nature-based tourism destinations. **Ecological Indicators**, v. 29, p. 316-324, 2013.
- REISI, M. et al. Transport sustainability index: Melbourne case study. **Ecological Indicators**, v. 43, p. 288-296, 2014.
- ROMERO, J. C.; LINARES, P. Exergy as a global energy sustainability indicator: a review of the state of the art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 33, p. 427-442, 2014.
- SAATY, R. W. The analytic hierarchy process: what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, p. 161-76, 1987.
- SAISANA, M. **Weighting methods II**: statistical approaches. Lecture at JRC Seminar on Composite Indicators and Rankings, Ispra Italy, 23-25, 2011.
- SCHÜTZ, R. English – The International Language, 2010. English Made in Brazil. Disponível em: <<http://www.sk.com.br/sk-ingl.html>>. Online. Acesso em: 15 jun. 2017.

- SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. rev. e atualizada. São Paulo: Cortez. 2007.
- SINGH, R. K.; MURTY, H. R.; GUPTA, S. K.; DIKSHIT, A. K. Development of composite sustainability performance index for steel industry. **Ecological Indicators**, v. 7, n. 3, p. 565-588, 2007.
- SINGH, R. K. et al. An overview of sustainability assessment methodologies. **Ecological Indicators**, v. 15, n. 1, p. 281-299, 2012.
- SPANGENBERG, J. H.; BONNIOT, O. Sustainability indicators da compass on the road towards sustainability. **Wuppertal Paper**, v. 81, 1998.
- TRAN, L.T. et al. Sensitivity analysis of aggregated indices for integrated assessment with a case study of the Mid-Atlantic Region. **Environ Manage**, v. 39, p. 506-514, 2007.
- VELEVA V.; ELLENBECKER, M. Indicators of Sustainable Production: a new tool for promoting business sustainability. **New Solutions**, v. 11, n. 1, p. 41-62, 2001.
- ZHANG, X.; WU, Y.; SHEN, L. An evaluation framework for the sustainability of urban land use: a study of capital cities and municipalities in China. **Habitat International**, v. 35, p. 141-149, 2011.
- ZHENG, J. et al. Guidelines on developing performance metrics for evaluating transportation sustainability. **Research in Transportation Business & Management**, v. 7, p. 4-13, 2013.
- ZHOU, P.; ANG, B. W.; POH, K. L. Comparing aggregating methods for constructing the composite environmental index: an objective measure. **Ecological Economics**, v. 59, n. 3, p. 305-311, 2006.