

Avaliação da gestão de resíduos sólidos urbanos de municípios utilizando multicritério: região norte do Rio de Janeiro

Evaluation of the counties' urban solid waste management using multicriteria analysis: north region of Rio de Janeiro

Recebimento dos originais: 07/11/2017

Aceitação para publicação: 12/12/2017

Antonio Hevertton Martins Silva

Instituição: Instituto Federal Fluminense

Endereço: Av. Souza Mota, 350 - Parque Fundao, Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil

E-mail: heverttonmartins@gmail.com

Alessandra Ribeiro Silva

Instituição: Instituto Federal Fluminense

Endereço: Av. Souza Mota, 350 - Parque Fundao, Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil

E-mail: aleribeior@gmail.com

Elton Alvarenga

Instituição: Instituto Federal Fluminense

Endereço: Av. Souza Mota, 350 - Parque Fundao, Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil

E-mail: elton.apj@gmail.com

Henrique da Hora

Instituição: Instituto Federal Fluminense

Endereço: Av. Souza Mota, 350 - Parque Fundao, Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil

E-mail: dahora@gmail.com

Milton Erthal

Instituição: Instituto Federal Fluminense

Endereço: Av. Souza Mota, 350 - Parque Fundao, Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil

E-mail: miltonerthal@hotmail.com

RESUMO

Um dos maiores desafios dos municípios é coletar, reciclar, tratar e dispor adequadamente o crescente volume de resíduos sólidos. Neste artigo é apresentada uma análise da gestão de resíduos sólidos urbanos dos municípios da região Norte do Estado do Rio de Janeiro, utilizando análise multicritério. Essa avaliação visa medir o desempenho ambiental de municípios com relação ao gerenciamento de resíduos sólidos. É realizada uma análise híbrida com os métodos AHP e PROMETHEE II, para definir os pesos de cada critério e ordenar os municípios do melhor para o pior, respectivamente. Os dados coletados em diversas fontes, principalmente SIAB e SNIS. O método se mostrou de fácil execução e pode ser aplicado na avaliação da gestão de determinadas regiões facilitando a identificação de melhorias para o direcionamento de políticas públicas. Ressalta-se que, de modo geral, os municípios avaliados estão muito aquém de níveis que se consideraria sustentável, especificamente em coleta seletiva.

Palavras-chave: Análise multicritério, Resíduos sólidos, Sustentabilidade ambiental.

ABSTRACT

One of the biggest challenges of the counties is to collect, recycle, treat and properly dispose the increasing volume of solid waste. This paper presents an analysis of the solid waste management of the northern region of Rio de Janeiro state, using multicriteria analysis. This evaluation aims to measure the environmental performance of counties with regard to the solid waste management. Thus, a hybrid analysis with AHP and PROMETHEE II methods is made to set the weights of each criteria and order the cities from best to worst, respectively. The criteria's values were collected from various databases, mainly SIAB and SNIS. The method was easy to calculate and can be applied in assessing the management of certain regions facilitating the identification of improvements to the direction of public policy, for example. Nevertheless, the evaluated counties are below levels that would be considered sustainable, specifically in selective collection.

Keywords: Multicriteria analysis, solid waste management, environmental sustainability.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Comissão Mundial de Desenvolvimento e Meio Ambiente das Nações Unidas, o desenvolvimento sustentável visa suprir as necessidades da população mundial atual, sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Este conceito é estimado através da aplicação de indicadores que mensuram o desempenho de pessoas, municípios e países em critérios de sustentabilidade (SICHE *et al.*, 2007).

Entretanto, a avaliação do nível de sustentabilidade de municípios é uma tarefa complexa, visto que existem diversos parâmetros e alternativas que influenciam neste estudo. Diversos autores utilizam métodos multicritérios como auxílio na tomada de decisões, a fim de classificar um conjunto de cidades (JACOBI; BESEN, 2011; POLAZ; TEIXEIRA, 2009; SILVERIO; FERREIRA; RANGEL, 2007; SOARES, 2015).

Um dos parâmetros que pode ser utilizado na avaliação é referente à disposição de resíduos sólidos. Este fator é devido às crescentes características e quantidades de resíduos sólidos que são originados nas atividades domésticas, comerciais e industriais. Este aumento ocorre devido ao crescimento das populações, às melhorias nos padrões de vida e ao desenvolvimento tecnológico, assim como decorrente de características intrinsecamente regionais como a abundância, ou escassez, e o tipo de recurso natural disponível naquela comunidade (ZHANG; KEAT; GERSBERG, 2010).

Um dos maiores desafios e prioridades dos municípios é a coleta, reciclo, tratamento e disposição adequada do crescente volume de resíduos sólidos, pois os impactos potenciais destes no meio ambiente podem ser catastróficos, caso a disposição final seja inadequada. O uso de regiões e terras produtivas como aterros e o risco de doenças ao ser humano são os principais motivadores dessa discussão. A geração desses resíduos causa, inclusive, ainda que em pequena proporção, a

emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global (CHERUBINI; BARGIGLI; ULGIATI, 2009).

Segundo estudo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010), durante os anos de 1989 e 2008 os municípios do estado do Rio de Janeiro apresentaram destaques negativos em relação à região Sudeste do Brasil, uma vez que grande parte dos resíduos eram descartados de forma inadequada.

Neste contexto, em 2010 foi instituída a Lei 12.305 referente à Política Nacional de Resíduos Sólidos, que apresenta às definições e classificações dos resíduos sólidos, bem como concentra a gestão que deve ser adotada pela União, Estados e Municípios (BRASIL, 2010).

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a gestão de resíduos sólidos dos municípios da região Norte, do Estado do Rio de Janeiro. Neste contexto busca-se ordenar os municípios com base nos seguintes cenários: últimos dados históricos, dados referentes aos últimos quatro anos informados e evolução do desempenho dos municípios nesses quatro anos. Tendo em vista a complexidade envolvida na análise desse problema serão utilizados dois métodos multicritérios: AHP e PROMETHEE II.

2 GESTÃO ESTRATÉGICA DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

2.1 CONCEITOS INICIAIS

Devido à ocorrência de graves acidentes ambientais originados por erros humanos, começaram-se os questionamentos da sociedade com relação à ligação entre os problemas ambientais e os problemas econômicos e sociais. Desta forma, diversos autores propuseram conceitos que buscassem aconciliação entre estes fatores (ALMEIDA *et al.*, 2000; ALMEIDA, 2002).

Surgiu-se então o conceito de desenvolvimento sustentável, que foi definido pela Comissão Mundial de Desenvolvimento e Meio Ambiente das Nações Unidas como sendo uma forma de desenvolvimento, sem escassez de recursos, isto é, a capacidade da geração atual em se desenvolver e suprir as suas necessidades, sem acabar com os recursos necessários para as gerações futuras (ALMEIDA, 2002).

Elkington (2005) introduziu o conceito de que o desenvolvimento sustentável seria possível através de um tripé, no qual cada perna estaria representando uma das dimensões da sustentabilidade: ecológico, econômico e social. Esse tripé surgiu a partir do conceito “*Triple Bottom Line*” que afirma que o sucesso de uma organização não deve ser medido apenas pelo

aspecto econômico, mas também pelos aspectos sociais e ambientais. Leff(2009)foi ainda mais ousado na caracterização e incluiu duas vertentes, a institucional e a cultural. A vertente institucional aponta para a descentralização do poder e das organizações, com indústrias menores e integradas a sociedade local, de forma que a produção de bens e serviços estejam alinhadas com as questões ecológicas e culturais de cada região. E a vertente cultural que deve ser pensada a partir do estilo de vida, dos direitos das comunidades sobre seus territórios, espaços étnicos, dos valores e práticas.

Neste contexto, durante a ECO 92 surgiu-se a ideia de desenvolver indicadores para se mensurar o desempenho de pessoas, municípios e países em critérios de sustentabilidade. Entretanto, definir e interpretar tais indicadores é uma tarefa complexa, por causa das incertezas dos parâmetros utilizados e pela dificuldade de elaborar uma metodologia que seja amplamente aceita, porque a variável medida certamente será influenciada por características regionais e locais, aspectos culturais, condições econômicas, sociais, entre outros(SICHE *et al.*, 2007).

Isto posto, pode-se considerar um conjunto de municípios mais ou menos sustentáveis através de seus indicadores. Existem diversos estudos sobre a aplicação destes indicadores de alguns municípios brasileiros, utilizando como critério os dados históricos da gestão de resíduos sólidos(JACOBI; BESEN, 2011; POLAZ; TEIXEIRA, 2009; SOARES, 2015).

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

Resíduos sólidos são definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004)(norma ABNT-NBR 10004) como sendo “Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”.

Tendo em vista que com o desenvolvimento das sociedades houve um aumento significativo nas taxas de consumo e nas taxas de produção de resíduos, aumentou-se a preocupação com os níveis sustentáveis, devido ao mau gerenciamento dos resíduos sólidos e à falta de áreas para a disposição final dos mesmos(JACOBI; BESEN, 2011; POLAZ; TEIXEIRA, 2009).

No Brasil, essa discussão teve início no final da década de 90, entretanto apenas em 2010 foi instituída a Lei que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS - Lei Nº 12.305). A PNRS determina que União, Estados e Municípios devem elaborar planos de resíduos sólidos que constem de um diagnóstico da situação atual e metas para a proteção da qualidade do meio ambiente, a não geração de resíduos sólidos, a sua redução e reutilização, o incentivo à reciclagem e

a geração e utilização de produtos e serviços de forma sustentável (BRASIL, 2010; JACOBI; BESEN, 2011; SILVA, 2014).

De acordo com a Lei 12.305, também são considerados como resíduos sólidos gases armazenados em invólucros e líquidos que por algum motivo não possam ser despejados no esgoto, em rios, lagos, lagoas ou no mar (BRASIL, 2010).

A hierarquia de resíduo estabelece a seguinte ordem de prioridade a ser considerada na política de prevenção, gestão e manejo de resíduos sólidos: (1) prevenção; (2) reutilização; (3) reciclagem; (4) outras formas de recuperação (por exemplo, geração de energia); e (5) disposição.

Desta forma, estudos são propostos a fim de avaliar a gestão realizada pelos municípios. Para auxílio às pesquisas existem diversas bases de dados, podendo se destacar o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. O SNIS é um sistema, ligado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades do Governo Federal, que, anualmente, cadastra dados e produz indicadores sobre serviços de água e esgoto (AE) e sobre serviços relacionados à resíduos sólidos (RS). Em 2014, 67,6% dos municípios brasileiros tiveram seus dados referentes aos serviços de manejo de resíduos sólidos cadastrados. Os dados coletados são padronizados e passam por uma análise de consistência, e, apesar da participação do SNIS não ser obrigatória, a inclusão nos programas de investimento do Ministério das Cidades só é permitida com a submissão dos dados a esse sistema (SNIS, 2016).

Em relação ao gerenciamento de resíduos sólidos o SNIS reúne os dados desde o ano 2002. Esses dados são enviados pelos órgãos municipais ou prestadores de serviços responsáveis pela realização dos mesmos. Alguns dos dados cadastrados são os referentes ao volume de resíduos coletados, quantidade de pessoas que realizaram o serviço, tipos de destinos aos quais os resíduos são submetidos e emprego de coleta seletiva (SNIS, 2016).

Outra base de dados relevante é o Sistema de Informação da Atenção Básica (SIAB), desenvolvido pelo DATASUS em 1998, no qual concentra dados de Atenção Básica (AB), tais como: saúde, território, problema e responsabilidade sanitária (SIAB, 2016).

3 ANÁLISE DECISÓRIA

Segundo Oliveira (2011) o primeiro método de avaliação multicritério foi apresentado por Morris Hill em 1966, e, desde então, diversos outros vem sendo desenvolvidos. Estes métodos possibilitam a avaliação de um conjunto de alternativas, tendo como parâmetro diversos critérios, que normalmente são conflitantes entre si.

A metodologia de Apoio Multicritério da Decisão (AMD) pode considerar em sua formulação o fator humano e a subjetividade, características inerentes em problemas de decisão(GOMES; GOMES, 2014). Esta metodologia pode ser aplicada em problemas cuja decisão cabe a uma pessoa ou a um grupo de pessoas com diferentes pontos de vista, logo, esta metodologia auxilia o processo de decisão, recomendando ações ou cursos de ações a quem vai tomar a decisão(BELTON; STEWART, 2003).

Os métodos AMDpodem ser classificados através de uma perspectiva clássica, na qual se destacam as linhas de pensamento de duas escolas tradicionais(GOMES JÚNIOR *et al.*, 2011):Americana - se espelha em técnicas de agregação multicritério, com uma única síntese (pode-se destacar o método AHP);Francesa - sem critério único de síntese. Leva em consideração o conceito de sobreclassificação (por exemplo o método PROMETHEE).

Nas próximas seções serão abordados alguns conceitos dos métodos AHP e PROMETHEE II. Para maiores detalhes, ver Saaty(1987) e Brans e Mareschal(2005), respectivamente.

3.1 MÉTODO AHP

O método *AnalyticHierarchyProcess* (AHP), desenvolvido por Saaty em 1980, é um método multicritério bastante aplicado, principalmente nos EUA. Nele o processo de escolha é estruturado em diferentes níveis hierárquicos: objetivo, critérios, sub-critérios e alternativas. Elementos de um dado nível são comparados em pares para avaliar a sua preferência relativa com respeito a cada um dos elementos daquele nível. Assim, a metodologia ajusta tanto a preferência quantitativa como qualitativa(HERVA; ROCA, 2013; POHEKAR; RAMACHANDRAN, 2004).

Para realizar a tomada de decisão a partir do método AHP, Saaty(2008)aponta a necessidade de realização de quatro passos: definição do problema em estudo; construção das hierarquias de decisão; construção de um conjunto de matrizes para a comparação de dados entre níveis superiores x níveis inferiores; definição dos pesos entre prioridades obtidas através das comparações, com o uso da escala de intensidade numérica para definição de prioridades, conforme descrito na sequência e adaptado dos trabalhos Saaty(1987) e Saaty(2008).

- 1 - Igual importância. Descrição: Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
- 3 - Importância moderada. Descrição: Experiência e julgamento favorecem ligeiramente uma atividade em relação à outra.
- 5 - Importância forte. Descrição: Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.

- 7 - Importância muito forte. Descrição: Uma atividade é favorecida muito fortemente em relação à outra; seu domínio é demonstrado na prática.
- 9 - Importância extrema. Descrição: A evidência favorecendo uma atividade em relação à outra é da mais alta ordem possível de afirmação.
- 2, 4, 6, 8 - Valores médios. Descrição: São atribuídos para indicar valores de compromisso de importância.

Assim, com os valores estabelecidos para as intensidades, monta-se a matriz A , com n alternativas, conforme demonstrado na Equação (1).

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Neste contexto, Saaty(1990)descreve que $\lambda_{m\acute{a}x}$ é o principal autovalor de A , quando A deixa de ser consistente, mas ainda permanece recíproca, sendo obtida pela Equação(2), onde w se refere ao vetor de pesos das alternativas.

Na sequência, calcula-se o Índice de Consistência (IC) através da Equação(3), visando a obtenção da Razão de Consistência (RC), que é calculada através da Equação(4). Nesta última equação, IR se refere ao o Índice de Consistência Randômico e é obtido através de uma média ao longo de um grande número de matrizes recíprocas, de mesma ordem, cujas entradas são aleatórias(SAATY, 1987).

O cálculo de RC no método AHP faz-se necessário a fim de avaliar a consistência lógica da matriz e segundo Saaty(1987)este valor deverá ser menor ou igual a 0,1.

(2) $A \cdot w = \lambda_{m\acute{a}x} \cdot w$	(3) $IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1}$	(4) $RC = \frac{IC}{IR}$
---	--	--------------------------

3.2 MÉTODO PROMETHEE II

O acrônimo PROMETHEE significa *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*, sendo um método de auxílio à tomada de decisão multicritério não compensatório e de sobreclassificação, desenvolvido por Brans em 1982 e ampliado em 1985 por Brans e Vincke.

A família PROMETHEE se divide em 6 métodos (I, II, III, IV, V, VI) e na representação gráfica GAIA. Para o estudo em análise foi considerado o método PROMETHEE II, no qual as

alternativas são ordenadas através dos fluxos líquidos calculados para cada uma (BRANS; MARESCHAL, 2005; HERVA; ROCA, 2013).

Inicialmente, para o cálculo do PROMETHEE II, faz-se necessário estabelecer duas informações relevantes:

- O peso de cada critério;
- A função de preferência, que representa a diferença entre as avaliações obtidas de duas alternativas em uma faixa que varia de zero a um. Segundo Brans e Mareschal (2005) as

funções são: critério usual, critério forma U, critério forma V, critério com níveis, critério linear e critério gaussiano.

Em seguida são efetuados os cálculos do método, para cada par de alternativas (alternativas a e b). Desta forma, calcula-se o grau de sobreclassificação entre as alternativas, em relação à cada critério ($\pi(a, b)$), através da Equação (5), no qual $P_j(a, b)$ se refere à função de preferência do desvio calculado entre as alternativas e w_j o peso associado, ambos em relação ao critério j .

No próximo passo são calculados os fluxos de sobreclassificação parcial, conforme Equações (6) e (7). Onde Φ^+ e Φ^- são, respectivamente, o fluxo positivo e negativo para cada alternativa. O positivo expressa o quanto a alternativa “a” sobreclassifica as demais, enquanto que o negativo expressa o quanto a alternativa “a” é sobreclassificada pelas demais.

Por fim calcula-se o fluxo de sobreclassificação líquido $\Phi(a)$ para cada alternativa, conforme Equação (8). Ressalta-se que no método PROMETHEE II este valor é utilizado para efetuar a ordenação entre as alternativas (BRANS; MARESCHAL, 2005).

(5)	$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b)w_j$	(6)	$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x)$
(7)	$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a)$	(8)	$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a)$

4 METODOLOGIA

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Com base na divisão adotada por Gil (2008) quanto aos objetivos gerais de uma pesquisa, este trabalho pode ser classificado como exploratório, já que visa aprimorar os conhecimentos acerca do manejo de resíduos sólidos nos municípios da Região Norte Fluminense, com o intuito de tornar clara a situação. Em relação ao método de aquisição de dados, esta pesquisa é bibliográfica,

também segundo à divisão proposta por Gil (2008), pois suas fontes de dados foram livros, artigos e portais disponíveis na Internet.

4.2 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS E CORTE REGIONAL

O estudo de caso foi realizado nos municípios da Região Norte Fluminense. Esta região é composta por duas microrregiões: Campos dos Goytacazes e Macaé. A microrregião de Campos dos Goytacazes compreende os municípios de Campos dos Goytacazes, Cardoso Moreira, São Fidélis, São Francisco de Itabapoana e São João da Barra. A microrregião de Macaé é constituída pelos municípios de Carapebus, Macaé, Conceição de Macabu e Quissamã (IBGE, 2010).

A fim de ordenar as cidades quanto à gestão dos resíduos sólidos urbanos de cada município foram considerados os critérios abordados por Silva (2014): lixo coletado de forma regular, lixo queimado ou enterrado, lixo a céu aberto, coleta seletiva e existência de Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS).

Foram avaliados os dados disponíveis nas seguintes fontes: a) SIAB: consulta do percentual de lixo coletado, entre os anos de 2011 e 2014; b) SNIS: consulta do percentual de lixo recolhido para coleta seletiva, entre os anos de 2011 e 2014; c) Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio de Janeiro - PERS/RJ e portais das prefeituras de cada município: verificação da existência de PMGIRS. Na sequência, os dados obtidos foram agrupados em uma matriz de pagamento.

4.3 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS MULTICRITÉRIO

A partir da matriz de pagamento foram utilizados dois métodos multicritérios, a fim de avaliar a gestão de resíduos sólidos de cada município: AHP e PROMETHEE II. Inicialmente utilizou-se o método AHP para obter o peso de cada critério definido no estudo. Os critérios foram avaliados e ponderados por especialistas na área de resíduos sólidos, através da aplicação de um questionário (vide Apêndice), o que resultou em uma matriz de comparação. Na sequência esta matriz foi processada em uma ferramenta *on-line* do método AHP (disponível em <http://bpmsg.com/academic/ahp.php>), para facilitar o tratamento dos dados e retornar o peso de cada componente.

Na etapa final utilizou-se o método PROMETHEE II para ordenar as cidades, com auxílio do *software* Visual PROMETHEE 1.4 (versão acadêmica). Os pesos de cada critério obtidos pelo método AHP foram utilizados e os demais dados foram referentes à matriz de pagamento. A função de preferência adotada foi do tipo com critério usual, na qual a comparação entre os pares é

realizada da seguinte forma: existirá indiferença entre dois municípios A e B somente se o município A (em relação ao município B) apresentar $F(A)=F(B)$, quando comparado em determinado critério; se as avaliações forem diferentes, existirá preferência estrita pela alternativa de melhor avaliação. Desta forma, neste trabalho atribuiu-se 0 se o critério fosse indiferente ou pior do que aquele que se foi comparado e 1 se o indicador fosse melhor.

Deve-se ressaltar que, inicialmente, os municípios foram ordenados com base nos dados do ano de 2014, entretanto, verificou-se que para realizar uma análise mais fidedigna quanto à gestão de resíduos sólidos seria necessário avaliar um período maior, a fim de minimizar as situações eventuais que possam ter ocorrido neste ano. Desta forma, foram realizadas novas ordenações dos municípios, segundo o PROMETHEE II, com base nos dados dos seguintes cenários: a) anos 2011, 2012 e 2013; b) evolução do desempenho entre os anos de 2011 e 2014.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DEFINIÇÃO DA MATRIZ DE PAGAMENTO

Os dados coletados de cada município, em determinado critério, estão dispostos na **Error! Reference source not found..** Conforme abordado anteriormente, estes dados foram obtidos a partir do SIAB, SNIS e portais das prefeituras. Foram utilizados os dados percentuais como uma forma de normalização dos dados, uma vez que caso fossem utilizados os dados brutos (em toneladas) iria existir uma preferência, na ordenação, das cidades mais populosas.

Pode-se verificar que entre os critérios Lixo Coletado, Lixo Queimado ou Enterrado e Lixo a Céu Aberto, o primeiro apresentou o maior percentual em todos os municípios, o que aponta para bons resultados, uma vez que os dois últimos critérios são prejudiciais ao ambiente, sendo classificados como formas inadequadas de disposição de resíduos sólidos.

Tabela 1 - Dados obtidos e critérios definidos.

Município	Lixo Coletado	Lixo Queimado ou Enterrado	Lixo a Céu Aberto	Coleta Seletiva	PMGIRS
Campos dos Goytacazes	91,23%	7,93%	0,84%	0,52%	Não
Carapebus	72,22%	26,17%	1,61%	0,00%	Não
Cardoso Moreira	74,16%	24,89%	0,94%	0,00%	Não
Conceição de Macabu	93,99%	5,77%	0,24%	0,00%	Não
Macaé	92,43%	6,69%	0,88%	0,00%	Sim
Quissamã	92,24%	7,40%	0,36%	0,00%	Não
São Fidélis	80,41%	18,21%	1,38%	0,00%	Não
São Francisco de Itabapoana	76,94%	21,04%	2,01%	0,00%	Não
São João da Barra	92,50%	7,30%	0,20%	0,00%	Não

Fonte: Elaboração própria.

Entretanto, nota-se também que os critérios de Coleta Seletiva e PMGIRS não são representativos no gerenciamento de grande parte dos municípios. Isto ocorre porque grande parte das prefeituras apenas se preocupa em expor os dados de lixo coletado, como um propósito político e não social.

5.2 DEFINIÇÃO DOS PESOS: MÉTODO AHP

Conforme mencionado anteriormente, os pesos dos critérios foram estabelecidos a partir da consulta à especialistas na área de resíduos sólidos. Os questionários foram enviados a 3 especialistas, a fim de que os mesmos julgassem o grau de preferência entre os critérios selecionados. Escolheu-se o questionário que apresentou a menor razão de consistência (vide Apêndice).

É importante ressaltar que foram realizados pequenos ajustes nas preferências estabelecidas pelo especialista, a partir da diminuição de dois itens, em pequenas variações. Este ajuste foi necessário para atender os critérios definidos por Saaty(1987)em relação à razão de consistência (vide seção 3.1).

Após esta consulta obteve-se a matriz de comparação dos critérios, apresentada a seguir, onde Cr1: Coleta Seletiva, Cr2: Lixo Coletado, Cr3: Lixo Queimado ou Enterrado, Cr4: Lixo a Céu Aberto e Cr5: PMGIRS.

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{ccccc}
 & Cr1 & Cr2 & Cr3 & Cr4 & Cr5 \\
 Cr1 & 1 & 3 & 9 & 9 & 1/3 \\
 Cr2 & 1/3 & 1 & 7 & 7 & 1/7 \\
 Cr3 & 1/9 & 1/7 & 1 & 1 & 1/9 \\
 Cr4 & 1/9 & 1/7 & 1 & 1 & 1/9 \\
 Cr5 & 3 & 7 & 9 & 9 & 1
 \end{array} \\
 RC = 0.089
 \end{array}$$

Sendo assim, esta matriz foi adotada para a obtenção dos pesos de cada critério, conforme apresentado na **Error! Reference source not found.** A soma dos pesos relativos calculados dos critérios é igual a 1,0. Pode-se verificar que a existência de PMGIRS apresenta grande preferência (peso de 53,21%) em relação aos demais critérios, o que é compreensível pois é uma condição necessária, no qual o Distrito Federal e os municípios têm acesso aos recursos da União, destinados a limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos.

Tabela 2 - Pesos finais dos critérios, obtidos através do método AHP.

Ordenação	Descrição do Critério	Pesos Finais (%)	Direção do Critério
1º	PMGIRS	53,21%	Máximo
2º	Coleta Seletiva	26,53%	Máximo
3º	Lixo Coletado	13,88%	Máximo
4º	Lixo Queimado ou Enterrado	3,19%	Mínimo
4º	Lixo a Céu Aberto	3,19%	Mínimo

Fonte: Elaboração própria.

Vale destacar que a coluna da direção do critério se refere à preferência na qual os valores devem estar, isto é, as direções máxima e mínima serão preferíveis se apresentarem valores maiores e menores, respectivamente. Esses valores foram definidos pelos autores e utilizados no método PROMETHEE II.

5.3 ORDENAÇÃO DOS MUNICÍPIOS: MÉTODO PROMETHEE II

Após a inclusão dos dados da matriz de pagamento (vide **Error! Reference source not found.**) e dos pesos obtidos para cada critério, pelo método AHP (vide **Error! Reference source not found.**) no *software* Visual PROMETHEE 1.4, a aplicação do método PROMETHEE II, apresentou como resultado a ordenação dos municípios da Região Norte Fluminense com relação aos critérios adotados neste estudo. A **Error! Reference source not found.** apresenta o resultado com os respectivos fluxos calculados. A ordenação das alternativas foi realizada a partir da classificação dos respectivos fluxos líquidos (Φ) em ordem decrescente.

Tabela 3 - Ordenação dos municípios e seus respectivos fluxos.

<i>Rank</i>	<i>Município</i>	Φ^+	Φ^-	Φ
1	Macaé	0,6801	0,0878	0,5923
2	Campos dos Goytacazes	0,3706	0,1638	0,2068
3	Conceição de Macabu	0,1986	0,1037	0,0950
4	São João da Barra	0,1773	0,1250	0,0523
5	Quissamã	0,1306	0,1717	-0,0411
6	São Fidélis	0,0720	0,2303	-0,1583
7	São Francisco de Itabapoana	0,0427	0,2596	-0,2169
8	Cardoso Moreira	0,0333	0,2690	-0,2357
9	Carapebus	0,0040	0,2983	-0,2943

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que o município de Macaé se destacou em relação aos demais, tendo em vista que apresentou o maior valor. Verifica-se que este valor tem uma diferença notável em relação aos fluxos dos demais municípios, podendo ser comprovado uma vez que Macaé é o único município da lista que apresentou PMGIRS, sendo este o critério com maior peso, segundo o método AHP.

Como suporte aos dados obtidos pelo PROMETHEE II, a **Error! Reference source not found.** apresenta a representação gráfica do plano GAIA, que mostra a relação entre os critérios, considerando-os como vetores e analisando suas direções (SOLA; MOTA, 2011).

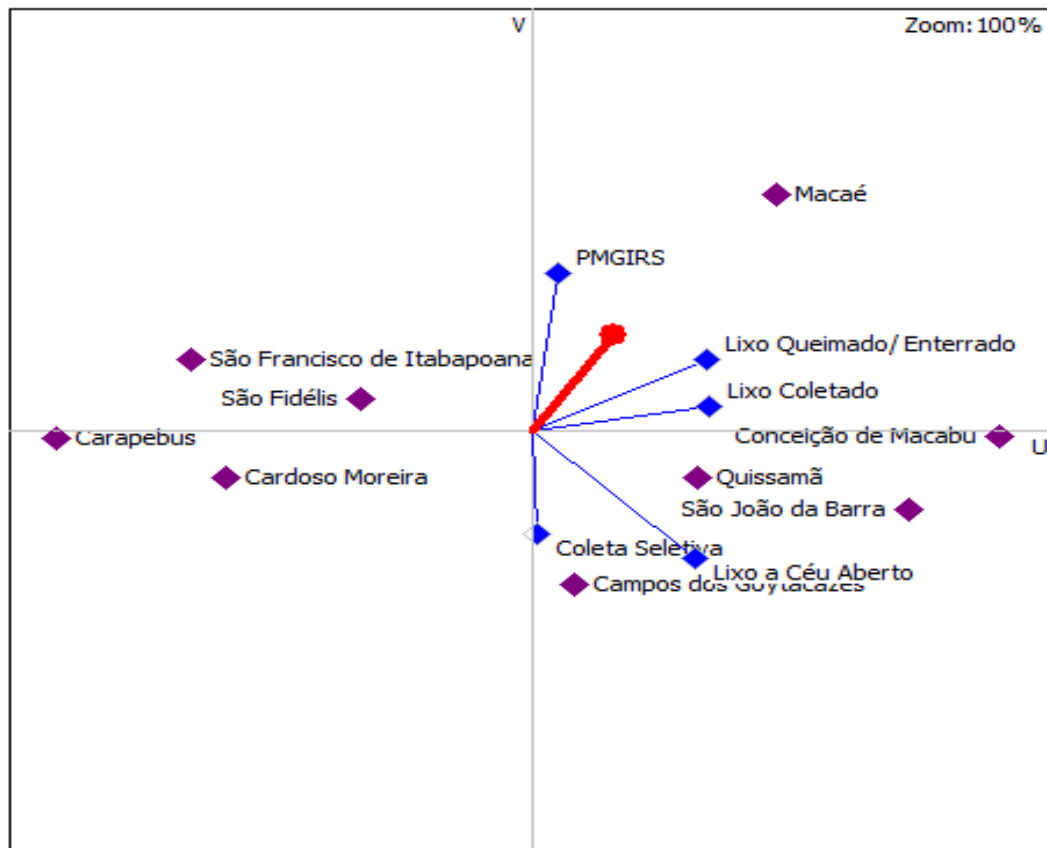


Figura 1 - Plano GAIA dos municípios avaliados.
Fonte: Elaboração própria.

O nível de qualidade calculado foi de 89,4%, o que classifica o plano GAIA como confiável, uma vez que o valor aceitável deve ser acima, ou próximo, de 70% (BRANS; MARESCHAL, 2005; HERVA; ROCA, 2013).

A partir da Figura 1 pode-se verificar que os critérios apresentaram preferências parecidas, uma vez que todos estão localizados no lado direito do plano. Ressalta-se que Gonçalves e Belderrain (2011) descrevem que, para estes casos em que os vetores dos critérios estão presentes apenas em um lado do plano, as alternativas que estiverem localizadas no outro lado representariam conflitos de preferência, isto é, julgamentos de menor valor, e maior criticidade.

O eixo de decisão π (em vermelho) aponta a direção dos melhores resultados e quais critérios são superiores aos demais. O município de Macaé, classificado em primeiro lugar na ordenação, é a alternativa que apresentou melhor destaque, porque é o ponto que se encontra na mesma direção e mais distante do vetor decisor, com características fortes em relação aos critérios. No entanto o município de Carapebus é a alternativa mais distante do vetor decisor, no sentido oposto, por isso se classificou em último lugar na ordenação.

Ao se considerar o vetor do município de Macaé, que se destacou na ordenação, o município mais distante em relação a este vetor foi Carapebus, município em último lugar na ordenação. Logo, verifica-se que estas alternativas são incomparáveis.

Em relação aos demais critérios e alternativas pode-se destacar que:

- Os critérios Cr2 (lixo coletado), Cr3 (lixo queimado ou enterrado) e Cr5 (PMGIRS) apresentam preferências similares, sendo que Macaé foi a alternativa que com melhores resultados quanto a estes critérios;

- Os critérios Cr1 (coleta seletiva) e Cr4 (lixo a céu aberto) apresentam preferências similares, sendo que as alternativas que apresentaram melhores resultados quanto a estes critérios foram: Campos dos Goytacazes, Conceição de Macabu, São João da Barra, Quissamã.

Na sequência foi realizado um teste de sensibilidade, no qual variaram-se os pesos dos critérios, a partir da variação de $\pm 20\%$ do peso do PMGIRS e normalização dos demais. Pode-se verificar que não houve variação significativa dos fluxos líquidos, o que implica, segundo Araújo e Almeida (2009), que os pesos dos critérios se comportam de forma consistente em relação às mudanças de cenários realizadas. Ressalta-se que não houve alteração na ordenação.

Vale destacar que para estudos na área ambiental a ordenação dos municípios em um determinado ano pode não representar um cenário correto, uma vez que pode ter ocorrido alguma situação eventual, como por exemplo, algum município pode não ter informado seus dados naquele ano. Desta forma, vale analisar um determinado conjunto de anos.

Para reduzir o efeito sazonal dos dados de um ano apenas, conforme citado anteriormente, foi feita análise do período 2011 a 2014. **AError! Reference source not found.** apresenta a ordenação dos municípios neste período, enquanto que na sequência se apresenta a ordenação com base na evolução do desempenho dos municípios entre os anos de 2011 e 2014, após aplicação do método PROMETHEE II em cada.

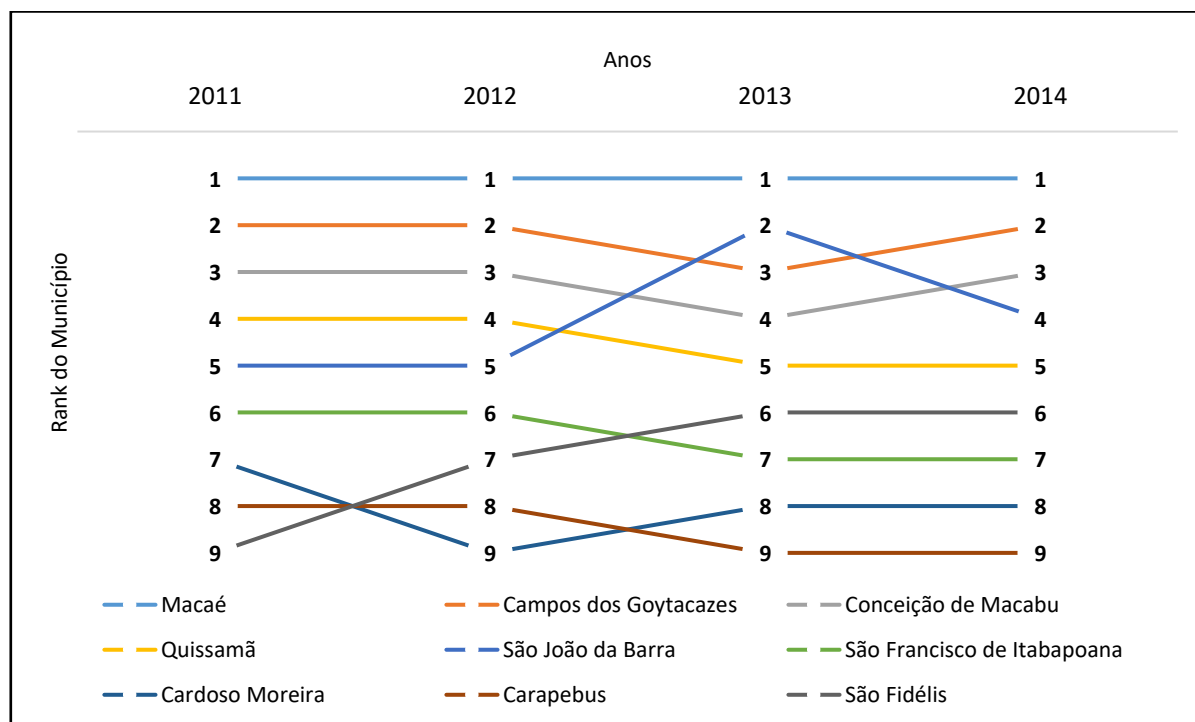


Figura 2 - Ordenação dos municípios entre os anos de 2011 e 2014.

Fonte: Elaboração própria.

O município que apresentou melhor desempenho da gestão de resíduos sólidos, ao longo dos anos analisados, foi São Fidélis. Este resultado justifica a mudança crescente de localização do *rank* 9 para 6, na **Error! Reference source not found.**

Deve-se ressaltar que, na análise de melhoria dos municípios, Campos dos Goytacazes ficou em último lugar, apesar de permanecer em 2º na **Error! Reference source not found.** Este fator pode ser justificado porque, durante o período de análise, este município já apresentava bons valores nos critérios. Assim, as evoluções entre 2011 e 2014 não foram relativamente significativas, em relação aos demais municípios. Segue-se a ordem de evolução dos municípios:

- 1 São Fidélis
- 2 Macaé
- 3 São João da Barra
- 4 Carapebus
- 5 Cardoso Moreira
- 6 Conceição de Macabu
- 7 Quissamã
- 8 São Francisco de Itabapoana
- 9 Campos dos Goytacazes

Sendo assim, ao analisar todos os dados mencionados anteriormente, pode-se verificar que a gestão de resíduos sólidos dos municípios do Norte Fluminense, apesar de apresentar bons resultados em relação ao lixo coletado, ainda deve ser melhorada por todos os municípios. Isto pode ser verificado quanto à existência de coleta seletiva, que grande parte dos municípios não atende e muitas vezes utilizam-se de formas de disposição que geram impactos ambientais.

Apenas Macaé tem PMGIRS, entretanto os municípios Carapebus, São Francisco de Itabapoana, São João da Barra e Campos dos Goytacazes participaram do edital de chamamento público nº 02/2013 para manifestação de interesse em PMGIRS a ser elaborado com auxílio de recursos da CEIVAP – Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Cabe aos demais municípios que obtenham parcerias ou desenvolvam com recursos próprios os respectivos PMGIRS, a exemplo de Macaé.

Se faz urgente a criação de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento da coleta seletiva na região. A maioria dos municípios não a realizam e os poucos que fazem tem percentuais baixíssimos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conceito “desenvolvimento sustentável” foi definido a fim de conciliar os problemas ambientais com os problemas econômicos e sociais. Para se mensurar o desempenho em relação a sustentabilidade são utilizados indicadores. Em concordância, este estudo buscou avaliar sustentabilidade dos municípios da região Norte, do Estado do Rio de Janeiro, quanto a gestão de resíduos sólidos.

Entretanto, a análise de questões ambientais requer uma coleta de dados exaustiva, para se obter confiabilidade nos mesmos. O tratamento, por consequência, apresenta alta complexidade para avaliar todos os cenários. Por este motivo, utilizou-se como auxílio trabalhos anteriores para se descrever os critérios a serem abordados no estudo, enquanto que os seus respectivos pesos foram definidos a partir da consulta a especialistas. Desta forma, a metodologia apresentada neste estudo, com uma aplicação híbrida de ferramentas multicritério, mostrou-se efetiva nas avaliações de ordenação dos municípios.

A partir da análise dos dados do último ano informado, em todos os critérios adotados, pode-se verificar que os municípios de Macaé e Campos dos Goytacazes se destacaram em relação aos demais. Este destaque ocorre devido ao fato de que apenas os mesmos apresentaram dados em relação ao PMGIRS e coleta seletiva, respectivamente, sendo que estes dois critérios foram os que apresentaram maiores pesos.

Em concordância, a análise dos dados históricos de um período mais elevado apresentou resultados similares a análise anterior, com pequenas alterações na ordenação dos municípios. Deve-se destacar o município de São Fidélis, que passou do 9º lugar em 2011 para 6º em 2014. Esta melhora é vista na análise da evolução do desempenho dos municípios, entre estes anos.

Sendo assim, a gestão de resíduos sólidos dos municípios estudados ainda tem um longo caminho a percorrer, a fim de melhorar o âmbito sustentável de cada e, consequentemente, minimizar impactos ambientais. Sugere-se que os municípios construam o PMGIRS, para que então se planejem com base na Lei 12.305, da Política Nacional e adotem políticas públicas voltadas para o desenvolvimento de coleta seletiva na região.

Para análises futuras pode-se ampliar a metodologia adotada neste estudo para os demais municípios do Estado do Rio de Janeiro, a fim de avaliar a gestão de resíduos sólidos quanto às Políticas Municipais, Estadual e Nacional. Em concordância, os mesmos critérios podem ser utilizados para avaliar as capitais dos Estados do Brasil.

Sugere-se também a proposição de outros critérios adicionais para se avaliar a sustentabilidade de um conjunto. Os pesos, neste caso, poderão ser definidos a partir da consulta a especialistas das grandes regiões a serem estudadas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. *et al.* Gestão Ambiental - Responsabilidade com o Futuro. **2000 - XXVIII COBENGE: Ouro Preto/MG**, 2000.

ALMEIDA, F. **O bom negócio da sustentabilidade**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Editora Nova Fronteira, 2002.

ARAÚJO, A. G. DE; ALMEIDA, A. T. DE. Apoio à decisão na seleção de investimentos em petróleo e gás: uma aplicação utilizando o método PROMETHEE. **Gestão & Produção**, v. 16, n. 4, p. 534–543, dez. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos – Classificação: NBR 10004**, 2004.

BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. 2. print ed. Boston, Mass.: Kluwer Acad. Publ, 2003.

BRANS, J.-P.; MARESCHAL, B. Promethee Methods. In: **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. New York: Springer-Verlag, 2005. v. 78p. 163–186.

BRASIL. Lei 12.305. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. .ago. 2010.

CHERUBINI, F.; BARGIGLI, S.; ULGIATI, S. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. **Energy**, v. 34, n. 12, p. 2116–2123, dez. 2009.

ELKINGTON, J. Enter the triple bottom line. In: **The triple bottom line, does it all add up?** London: Earthscan, 2005.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. [s.l.: s.n.].

GOMES JÚNIOR, S. F. *et al.* Integração de métodos multicritério na busca da sustentabilidade agrícola para a produção de tomates no município de São José de Ubá-RJ. **Pesquisa Operacional**, v. 31, n. 1, p. 157–171, abr. 2011.

GONÇALVES, T. J. M.; BELDERRAIN, M. C. N. Decisão em Grupo com PROMETHEE GDSS e GAIA: Priorização de Subsistemas no Projeto do Satélite ITA-SAT. **XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p. 3256–3268, ago. 2011.

HERVA, M.; ROCA, E. Ranking municipal solidwastetreatmentalternativesbasedonecologicalfootprintandmulti-criteriaanalysis. **EcologicalIndicators**, v. 25, p. 77–84, fev. 2013.

IBGE. Divisão regional. In: **Atlas nacional do Brasil Milton Santos / IBGE, Diretoria de Geociências**. [s.l.: s.n.]. p. 51–57.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (ED.). **Pesquisa nacional de saneamento básico: 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 25, n. 71, p. 135–158, abr. 2011.

LEFF, E. **Ecologia, capital e cultura: a territorialização da racionalidade ambiental**. Metrópolis, Rio de Janeiro, Brasil: Editora Vozes, 2009.

OLIVEIRA, V. M. A. DE. **Avaliação em Planejamento Urbano**. Porto [Portugal: U. Porto editorial, 2011].

POHEKAR, S. D.; RAMACHANDRAN, M. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review. **RenewableandSustainable Energy Reviews**, v. 8, n. 4, p. 365–381, ago. 2004.

POLAZ, C. N. M.; TEIXEIRA, B. A. DO N. Indicadores de sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos: um estudo para São Carlos (SP). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 411–420, set. 2009.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3–5, p. 161–176, 1987.

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9–26, set. 1990.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83, 2008.

Sistema de Informação de Atenção Básica - SIAB. Disponível em: <<http://www2.datasus.gov.br/SIAB/index.php>>. Acesso em: 05 jul. 2016.

SICHE, R. *et al.* Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & sociedade**, v. 10, n. 2, p. 137–148, dez. 2007.

SILVA, V. R. DA. **Resíduos sólidos Urbanos na Região Norte Fluminense: avaliação da gestão e da atividade de reciclagem**. Campos dos Goytacazes: Universidade Candido Mendes - UCAM, set. 2014.

SILVERIO, L. B.; FERREIRA, A. S.; RANGEL, L. A. D. Avaliação das cidades da Região Sul Fluminense empregando o método PROMETHEE II. **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, out. 2007.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS: Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos. Brasília: MCIDADES. SNSA, 2016.

SOARES, L. F. **ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE MUNICIPAL: uma abordagem fuzzy para um sistema de apoio a decisão**. Dissertação de Mestrado—Sorocaba: Universidade Estadual Paulista, 2015.

SOLA, A. V. H.; MOTA, C. M. M. Aplicação do Método Promethee na Seleção de motores industriais para melhoria da eficiência energética. **XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p. 3269–3279, ago. 2011.

ZHANG, D.; KEAT, T. S.; GERSBERG, R. M. A comparison of municipal solid waste management in Berlin and Singapore. **Waste Management**, v. 30, n. 5, p. 921–933, maio 2010.