

Avaliação de Ecoeficiência de Veículos de Transporte Leves através de Modelo do Apoio à Decisão

Victor Gomes Simão
victorsimao@yahoo.com.br
PPSIG-UFF

Rodrigo Goyannes Gusmão Caiado
rodrigoggcaiado@gmail.com
PPSIG-UFF

Nilson Lopes Soares
nilson.soares@petrobras.com.br
MSG-UFF

Gilson Brito Alves Lima
glima@id.uff.br
UFF

Luís Alberto Duncan Rangel
duncan@metal.eeimvr.uff.br
UFF

Resumo: Avaliação de alternativas de transporte sob os enfoques econômico e ambiental da sustentabilidade vêm ganhando destaque em muitas pesquisas, pois os benefícios a serem alcançados visam, não só, melhoria de nossa sociedade atual, como também para as gerações futuras. Com esta visão, o Inmetro vem estabelecendo programas com o objetivo de avaliar a eficiência de diversos produtos. Esta pesquisa avalia um grupo de alternativas para transporte, composto por um segmento de veículos movidos à diesel. Empregando os métodos de apoio multicritério à decisão TOPSIS e SWING WEIGHT os veículos são avaliados segundo critérios que buscam quantificar a sua ecoeficiência. Verifica-se através desta pesquisa o quão importante é empregar métodos eficientes para avaliar alternativas sob o enfoque da sustentabilidade.

Palavras Chave: sustentabilidade - transporte - avaliação - apoio multicritério -

1. INTRODUÇÃO

Tendo como premissa a imperativa necessidade da busca pela sustentabilidade dos transportes de passageiros e de cargas, o atual cenário caracterizado pela dependência dos combustíveis fósseis, as crescentes emissões de gases poluentes causadores de efeito estufa e a baixa eficiência dos motores à combustão interna, constituem-se em sérios desafios a serem discutidos pelos setores de transporte automotivo terrestre mundialmente.

Segundo Philipon (2010), no século XX, a revolução dos transportes favoreceu a abertura das sociedades e a aproximação das nações, possibilitando a troca de mercadorias e o estabelecimento da economia globalizada. Além de fator essencial da liberdade individual, do crescimento regional e da geração de riqueza, o transporte permite a extensão territorial das relações humanas e da troca de culturas. A mobilidade pessoal é uma condição imprescindível de acesso ao emprego, à educação e à cultura, sendo fator essencial para o desenvolvimento socioeconômico dos povos.

O crescimento demográfico, o processo de urbanização e a exploração intensiva das limitadas fontes de energia fósseis são três grandes tendências, apresentadas por Philipon (2010), que se constituem em um desafio para mudanças, principalmente no que se refere ao setor de transportes. Esse setor, apesar de essencial para as atividades humanas, encontra-se pressionado pela sua peculiar alta demanda energética, pelo seu impacto no concorrido espaço urbano e pelas emissões ambientalmente prejudiciais que a sua subsistência ocasiona, figurando com o principal agente dessas tendências.

O objetivo deste artigo, fundamentado nas metodologias TOPSIS e SMARTS de auxílio multicritério à decisão, é auxiliar os autores na seleção de um veículo utilitário leve a ser utilizado para transporte de carga, tendo foco na escolha do veículo com a maior ecoeficiência, ou seja, o menor consumo de combustível, a menor emissão de poluentes e a maior capacidade de carga possível. Foram utilizados como referência os dados disponibilizados pelo CONPET (2016) fornecidos pelo Inmetro e Petrobras e pelas respectivas montadoras das marcas e modelos dos automóveis analisados.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta a revisão da literatura que embasou a formação dos conceitos teóricos necessários à consecução dos objetivos desta pesquisa.

2.1. ANÁLISES DAS EMISSÕES ORIGINÁRIAS DO SETOR DE TRANSPORTES

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2013), os principais poluentes atmosféricos que estão ligados à combustão de combustíveis fósseis são os seguintes: Aldeídos (RCHO); Dióxido de Enxofre (SO₂); Dióxido de Nitrogênio (NO₂); Hidrocarbonetos (HC); Material Particulado (MP); Monóxido de Carbono (CO); Ozônio (O₃); Poluentes Climáticos de Vida Curta (PCVC), que incluem o carbono negro, o metano, e os hidrofluorcarbonetos (HFC).

Grandes eventos internacionais, com destaque para a Rio 92 (Brasil); a 3ª Conferência das Partes sobre Mudanças Climáticas, realizada em 1997, em Kyoto (Japão); a Conferência de 2007, em Bali (Indonésia); e a 15ª Conferência das Partes, realizada em 2009, em Copenhague (Dinamarca), trouxeram resultados em comum, alinhados com o estabelecimento de compromissos mundiais para a redução de emissões de gases de efeito estufa.

Políticas nacionais de amplo alcance foram implantadas no Brasil desde a década de 1970, como o Programa Pró-álcool, as iniciativas do Proconve/Conama estabelecendo limites gradativamente decrescentes de emissões, desde a década de 1990 e o desenvolvimento da tecnologia de motores bicomustíveis, na década de 2000. Mais recente, o Programa Inovar

Auto, trouxe iniciativas importantes, como o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV), executado pelo Inmetro em parceria com a Petrobras. Assim como os estímulos para uma renovação da frota, obtidas através da redução de alíquotas de IPI, já na década de 2010.

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), publicado anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2014), o aumento da demanda energética no Brasil, em 2013, superou o crescimento do PIB. Gás natural, petróleo e derivados responderam por 80% deste incremento. O setor de transporte liderou o crescimento da demanda energética em 2013, consumindo mais de 4,1 milhões de toneladas equivalentes de petróleo. O consumo agregado do setor cresceu 5,2%.

Como consequências desse crescimento, em 2012, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 429 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente, sendo a maior parte (209,3 Mton) gerada no setor de transportes. Em 2013, o total de emissões passou a 459 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, sendo 46,9% dessas emissões geradas no setor de transportes (EPE, 2014).

Segundo dados da EPE (2014), em 2013, o Brasil utilizou 59% de fontes não renováveis e 41% de fontes renováveis. De 2012 a 2013, a participação de fontes renováveis na Matriz Elétrica Brasileira caiu 5,2% pelo menor consumo de etanol e devido às condições hidrológicas desfavoráveis e o consequente aumento da geração térmica. Dentre os combustíveis fósseis, petróleo e derivados representam 39,3% e gás natural (12,8%). Dentre as fontes renováveis há maior participação da biomassa da cana (16,1%), seguida pelas fontes hidráulicas com 12,5%, lenha e carvão vegetal com 8,3% e outras renováveis com 4,2%.

Apesar da participação de fontes renováveis na Matriz Energética Brasileira ainda estar entre as mais elevadas do mundo, no entanto, o País dependerá cada vez mais de combustíveis fósseis (particularmente o gás natural) à medida que novos aproveitamentos de energia hidrelétrica vão se tornando mais custosos e restritos pelos diversos impactos sociais e ambientais associados (HILGEMBERG e GUILHOTO, 2006).

2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM TRANSPORTES

Segundo Hill (2010), a eficiência energética dos motores de combustão interna está em torno de 15%. Apesar da eficiência dos motores ter aumentado nos últimos anos (Meyer e Wessely, 2009), as emissões de gases causadores do efeito estufa continuam crescendo na frota mundial. Gases como monóxido de carbono (CO) e dióxido de enxofre (SO₂) foram reduzidos de forma bem sucedida com as tecnologias e políticas aplicadas nos motores nas últimas décadas. Contudo, outros gases, como óxidos nitrosos (NOx) e material particulado ainda estão crescentemente presentes na atmosfera (PAZDERNIL *et al.*, 2010).

A União Europeia tem direcionado seus esforços para o uso de biocombustíveis, no sentido de reduzir as emissões e a dependência por combustíveis fósseis (DIRECTIVE, 2009). Alternativas já amplamente difundidas em países que se tornaram referência em desenvolvimento tecnológico dos transportes, como a Alemanha, Inglaterra e o Japão, norteiam tendências para um crescente uso de veículos de propulsão elétrica, principalmente nos centros urbanos.

Segundo Marques e Alves (2008), nos países da Europa, as montadoras de automóveis realizam estudos desde o final da década de 1990, discutindo normas e propostas para a rotulagem de seus veículos, em termos da emissão de gases de efeito estufa, como parte de uma política mais ampla de informação aos consumidores. Tais políticas visam à redução da assimetria de informações, proporcionando assim a oportunidade de os consumidores contribuírem para a redução das emissões de CO₂. Estas medidas, que visam estimular a

demanda por veículos ecoeficientes, fazem com que alguns fabricantes anunciem as vantagens ambientais de seus produtos atentos a este crescente nicho de mercado. Ribeiro (1997) compara o Brasil com países desenvolvidos e destaca que o país foi responsável pela maior taxa de crescimento de emissões de gases de efeito estufa, entre 1970 e 1989, quando se observou um aumento de emissão de 22% per capita no Brasil.

2.3. O PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), base das informações e dos dados tratados neste artigo, teve sua origem, segundo Simão (2011), durante a década de 1980, quando o Ministério da Indústria e Comércio iniciou estudos sobre a criação de programas de avaliação da conformidade. O foco se deu no desempenho energético dos produtos, com a finalidade de contribuir para a racionalização do uso da energia no Brasil, através da prestação de informações sobre a eficiência energética dos equipamentos disponíveis no mercado nacional. Inicialmente, pensado para o setor automotivo, devido às crises do petróleo que afetaram o mundo na década de 1970, este projeto depois foi redirecionado e ampliado para o setor de aparelhos eletrodomésticos.

O PBE nasceu então do Protocolo firmado em 1984 entre o Ministério da Indústria e do Comércio, o Ministério das Minas e Energia e a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), com a finalidade de racionalizar o uso de energia no país e prover os consumidores de informações, quanto à eficiência energética de aparelhos e sua melhor utilização, para auxiliar na sua decisão de compra.

Segundo a Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, conhecida como Lei de Eficiência Energética, os fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia são obrigados a adotar as medidas necessárias para que sejam obedecidos os níveis mínimos de consumo de energia e máximos de eficiência energética (BRASIL, 2001).

O PBE é atualmente coordenado pelo Inmetro, em parceria com o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Conpet) e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, (Procel), duas iniciativas governamentais operacionalizadas, respectivamente, pela Petrobras e pela Eletrobrás, que premiam anualmente os produtos mais eficientes. Fazem parte do PBE os programas de Avaliação da Conformidade, que utilizam a Etiqueta Nacional de Conservação da Energia (ENCE) para prestar informações aos consumidores sobre o desempenho ambiental dos produtos etiquetados. O PBE incentiva a inovação e a evolução tecnológica dos produtos e funciona como instrumento para redução do consumo de energia, estando alinhado, dessa forma, com as metas do Plano Nacional de Energia (PNE - 2030) e ao Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf). Os objetivos do PBE são prover informações úteis que influenciem a decisão de compra dos consumidores, que podem levar em consideração outros atributos além do preço no momento da aquisição dos produtos; assim como estimular a competitividade da indústria através da indução do processo de melhoria contínua promovida pela escolha consciente dos consumidores (SIMÃO, 2011).

Todos os órgãos envolvidos são supervisionados por um Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), com a função de elaborar regulamentação específica para cada tipo de produto ou aparelho consumidor de energia. Este Comitê é formado por representantes dos Ministérios de Minas e Energia, Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Agência Nacional de Energia Elétrica, Agência Nacional do Petróleo, um representante de universidade brasileira e um cidadão brasileiro, especialista em energia.

A partir do Decreto Nº 4059/2001 (Regulamenta a Lei Federal 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, o Inmetro, que de forma voluntária, estabelecia programas de etiquetagem, passou a ter a responsabilidade de estabelecer programas de avaliação da conformidade compulsórios na área de desempenho energético, tendo, portanto, papel fundamental na implementação da Lei de Eficiência Energética. A adesão das empresas ao PBE iniciou-se de forma voluntária, mas tornou-se compulsória para a maioria dos produtos, após a valorização do tema. Os primeiros produtos etiquetados no Brasil foram as geladeiras domésticas, desde 1985.

Segundo o CONPET (2016), cada categoria de produto tem o seu consumo de energia e seu desempenho pretendido avaliados periodicamente e a partir dos resultados alcançados, é criada uma escala classificatória que permite ao consumidor identificar qual o produto mais eficiente para o seu uso pretendido. Os produtos aprovados no Programa Brasileiro de Etiquetagem ficam autorizados a ostentar a ENCE, que apresenta estas informações ao público consumidor, conforme modelo apresentado na Figura 1.

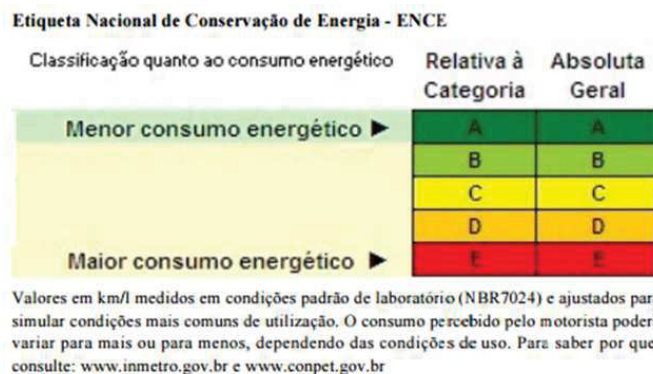


Figura 1: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (CONPET, 2016)

A Etiquetagem é uma forma de evidenciar o atendimento aos requisitos de desempenho estabelecidos em normas e regulamentos técnicos. A ENCE é um selo, que classifica os veículos em faixas coloridas, de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente), e fornece outras informações relevantes, como por exemplo, as emissões dos motores causadores de gases poluentes e de efeito estufa.

Após analisar o *status* da situação atual, o arcabouço político e as limitações das tecnologias de motores, atualmente existentes no país, ficam evidentes que há uma importante demanda pela seleção de tecnologias ecoeficientes para a mobilidade do transporte de cargas no Brasil. Evidencia-se, assim, a relevância da proposta deste estudo.

3. METODOLOGIA

Este trabalho utilizou, como base de dados para a tomada de decisões, as informações acessíveis no portal do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) disponibilizadas pelo CONPET (2016), relativas aos veículos ano e modelo 2016 em comercialização no mercado brasileiro. Além disso, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os temas emissões e eficiência energética, que pretendem fornecer a base teórica necessária para a escolha das variáveis de maior relevância nesta análise. Após a revisão da literatura, este trabalho empregou as metodologias SMARTS e TOPSIS para buscar a melhor alternativa de ecoeficiência no transporte de cargas dentre as camionetes leves a Diesel à venda no mercado brasileiro, em 2016, e elencadas na tabela de eficiência energética do portal CONPET (PETROBRAS/INMETRO).

3.1 O MÉTODO TOPSIS COM SWING WEIGHTS

Conforme Hwang *et al.* (1993), a técnica TOPSIS para ordenamento de preferência por similaridade pela solução ideal foi primeiramente desenvolvida por Hwang e Yoon (1981) a fim de solucionar um problema à tomada de decisão com múltiplos atributos e isso forneceu o princípio do compromisso em que a alternativa escolhida deve ser a de menor distância da Solução Ideal Positiva (SIP) e a de maior distância da Solução Ideal Negativa (SIN). Com isso, o TOPSIS minimiza a distância para a alternativa ideal enquanto maximiza a distância até o ponto ante ideal. E, conforme Kahraman (2008), a solução ideal é formada tomando-se os melhores valores alcançados pelas alternativas, durante a avaliação em relação a cada critério de decisão, enquanto a solução ante ideal é composta de forma similar, tomando-se os piores valores.

Assim, escolheu-se o método TOPSIS, pois conforme Lima Junior e Carpinetti (2015) é adequado para modelar valores de critérios quantitativos precisamente conhecidos, o processo de coleta de dados é mais simples e requer menor quantidade de julgamentos. E, para Barros e Wanke (2015), as principais vantagens dos métodos TOPSIS (HWANG; YOON, 1981) sobre modelos DEA (CHARNES *et al.*, 1978) para a análise da eficiência, referem-se ao fato de que: *i.* as constantes de escala estão sujeitas ao critério dos decisores, e *ii.* nenhuma hipótese a qual requeira convexidade de dados é necessária.

Segundo Olson (2004) e Barros e Wanke (2015), a ideia do método TOPSIS pode ser expressa nas seguintes etapas:

1. Desenvolver matriz de avaliação. Desenvolver matriz de avaliação com m alternativas e n critérios, sendo que a intersecção entre cada alternativa e critério é dada por x_{ij} , para o qual a matriz $(x_{ij})_{m \times n}$ é obtida.
2. Normalizar a matriz $(x_{ij})_{m \times n}$ para uma matriz regulamentada $R^* = (r_{ij})$. Neste estudo, usou-se o método de normalização do vetor, conforme demonstrado na Equação 1:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \text{ em que } i = 1, 2, \dots, m \text{ e } j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

3. Ponderar matriz. Desenvolver um conjunto de constantes de escala w_k para cada um dos critérios. A base para esta ponderação pode ser qualquer coisa, mas geralmente é o reflexo *ad hoc* da importância relativa. A escala não é um problema se a normalização for realizada na etapa 2. A ponderação da matriz é dada pela Equação 2:

$$v_{ij} = (w_{ij})_{m \times n} = (w_j r_{ij})_{m \times n} \quad (2)$$

Em que, w_j é a constante de escala dado para o critério j , e $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

4. Definir melhor desempenho. Identificar a alternativa ideal ou s_j^+ (desempenho extremo em cada critério) ou SIP.
5. Definir pior desempenho. Identificar a alternativa de ponto ante ideal ou s_j^- (desempenho extremo reverso em cada critério) ou SIN.
6. Obter medidas de distância com base em distância Euclidiana. Desenvolver uma medida de distância para cada ponto ideal (D^+) e para cada ponto ante ideal (D^-). Essas medidas são dadas respectivamente pelas Equações 3 e 4:

$$D^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - s_j^+)^2}, \text{ para } i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$D^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - s_{ij}^-)^2}, \text{ para } i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

7. Determinar razão R. Para cada alternativa, determinar a razão R igual à distância para o ponto ante ideal dividido pela soma da distância ao ponto ante ideal e a distância para o ponto ideal (Equação 5).

$$R = \frac{D^-}{(D^- + D^+)} \quad (5)$$

8. Classificar. Obter a ordem de classificação das alternativas pela maximização da relação da etapa 7.

Para elicitar as importâncias relativas dos critérios e as respectivas constantes de escala usou-se o método *swing weights*, proposto por Edwards e Barron (1994), desenvolvida no método SMARTS (Simple Multi-Attribute Rating Technique using Swings), para sanar o problema do método SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique).

Conforme Vincke (1992), os métodos aditivos como o SMARTS são a forma analítica mais simples para metodologias envolvendo critério único de síntese, que agrega todos os critérios em um único critério e a partir de sua lógica compensatória, um valor em determinado critério pode compensar a perda em outro com relação a uma alternativa em específico.

Assim, conforme Olson (1996), a ponderação dos critérios é dividida em duas etapas:

- I. *Swing Weights* (SW). Essa etapa visa obter a ordem de classificação das constantes de escalas. Consiste na etapa inicial do *swing weights* em que se pergunta ao decisor qual dimensão ele melhoraria caso existisse uma alternativa que tivesse a pior pontuação para todos os critérios analisados e houvesse a oportunidade de trocar a avaliação de em uma das dimensões do pior valor para o melhor dentre as alternativas. Essa hipótese se repete até que todas as dimensões sejam ordenadas.
- II. Calcular SW. Após o ordenamento o mais importante dos m critérios recebe um peso w_j de valor 100. Alguns objetivos sem importância recebem peso de valor 0. Em seguida o decisor deve depositar o valor do segundo objetivo mais importante em uma escala de pontuação 0-100, quando comparado com uma troca de pontuação de 0 a 100 no objetivo mais importante. Por fim, depois que todos os objetivos forem pontuados, haverá a normalização, dado por $w_j = w_j / \sum_{j=1}^m w_j$ com w_j de 0 a 1.

4. APLICAÇÃO DO TOPSIS-SW PARA AVALIAR A ECOEFICIÊNCIA DOS TRANSPORTES

Desenvolveu-se um estudo de caso, por meio da aplicação de métodos multicritério, a fim de avaliar a ecoeficiência no setor de transportes brasileiro. Os estudos de caso consistem de uma investigação em profundidade em um fenômeno específico e complexo, implementado em seu contexto do mundo real (YIN, 2013).

A aplicação dos métodos se deu em onze veículos leves da categoria picape, movidos a Diesel (enumeradas de A1 a A11), a fim de verificar qual destes veículos atende melhor às dimensões econômica e ambiental da sustentabilidade. Foram considerados, para estes veículos, os critérios relativos às emissões no escapamento e consumo energético (enumerados de C1 a C7), objetivando minimiza-los e quilometragem por litro e capacidade de carga, objetivando maximiza-los.

A partir disso, propõe-se a aplicação do método TOPSIS-SW que utilizará a sequência do método TOPSIS em conjunto com o *swing weights* do SMARTS. Conforme a Tabela 1, os critérios escolhidos para avaliar a ecoeficiência desses veículos foram:

Tabela 1: Critérios de Avaliação

Siglas	Critérios	Unidades
C1	Emissões de NMHC	(g/km)
C2	Emissões de CO	(g/km)
C3	Emissões de Nox	(g/km)
C4	Emissões de CO ₂ fóssil	(g/km)
C5	Quilometragem por Litro	(km/l)
C6	Consumo Energético	(MJ/km)
C7	Capacidade de carga	(kg)

Etapa 1: Desenvolvimento de matriz de avaliação. A Tabela 2 apresenta a matriz de decisão, com as onze alternativas e os seus respectivos desempenhos nos sete critérios.

Tabela 2: – Matriz de Avaliação

Picapes	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	0,013	0,04	0,247	218	8,4	2,95	1457
A2	0,002	0,037	0,279	208	9	2,81	1150
A3	0,019	0,105	0,321	219	8,5	2,96	1457
A4	0,013	0,032	0,246	220	8,9	2,98	1017
A5	0,011	0,055	0,23	204	9	2,76	1000
A6	0,022	0,023	0,321	216	8,8	2,85	1095
A7	0,043	0,075	0,266	176	10,8	2,33	1000
A8	0,039	0,072	0,254	181	10,3	2,44	1000
A9	0,018	0,088	0,287	228	8,5	3,08	1215
A10	0,022	0,1	0,294	199	9,3	2,69	1150
A11	0,026	0,083	0,319	218	8,5	2,96	1457

Etapa 2: Normalização da matriz (Tabela 3):

Tabela 3: – Matriz Normalizada

Picapes	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	0,1656	0,1721	0,2657	0,3152	0,2777	0,3166	0,3674
A2	0,0255	0,1592	0,3001	0,3008	0,2975	0,3015	0,2900
A3	0,2420	0,4518	0,3453	0,3167	0,2810	0,3176	0,3674
A4	0,1656	0,1377	0,2646	0,3181	0,2942	0,3198	0,2565
A5	0,1401	0,2367	0,2474	0,2950	0,2975	0,2962	0,2522
A6	0,2803	0,0990	0,3453	0,3123	0,2909	0,3058	0,2762
A7	0,5478	0,3227	0,2861	0,2545	0,3570	0,2500	0,2522
A8	0,4968	0,3098	0,2732	0,2617	0,3405	0,2618	0,2522
A9	0,2293	0,3786	0,3087	0,3297	0,2810	0,3305	0,3064
A10	0,2803	0,4303	0,3163	0,2878	0,3074	0,2887	0,2900
A11	0,3312	0,3571	0,3432	0,3152	0,2810	0,3176	0,3674

Etapa 3: Ponderação da matriz com *swing weights*. Esta etapa consistiu em três partes. Primeiramente buscou-se a ordem de classificação das constantes de escala e atribuíram-se pesos de 0 a 100 a estes critérios. Em seguida, normalizaram-se os pesos. Por fim, calculou-se uma nova matriz ponderando as constantes de escala e a matriz normalizada. A Tabela 4 apresenta as constantes de escala para os sete critérios presentes na análise.

Tabela 4: Constantes de Escala pelo *Swing Weights*

Ordenação	1	2	3	4	5	6	7
Critérios	C2	C4	C1	C3	C6	C5	C7
Constante de escala normalizada	0,2083	0,1875	0,1667	0,1458	0,125	0,1052	0,0625
Dimensões	Ambientais 0,8333					Econômicos 0,1677	

A partir da Tabela 4 percebe-se que pela percepção dos decisores a dimensão ambiental mostrou-se mais relevante que a dimensão econômica para o alcance da ecoeficiência dos transportes.

Etapas 4 e 5: Definição do melhor (SIP) e do pior desempenho (SIN) respectivamente. A Tabela 5 apresenta estes valores. Para os critérios minimizadores (C1, C2, C3, C4 e C6) os maiores valores são considerados piores desempenhos enquanto para os maximizadores, (C5 e C7) quanto maior melhor será.

Tabela 5: Definição dos SIP e SIN

SIP	0,0042	0,0206	0,0361	0,0477	0,0372	0,0313	0,0230
SIN	0,0913	0,0941	0,0504	0,0618	0,0289	0,0413	0,0158

Etapa 6: Obtenção de medidas de distância, com base em distância Euclidiana, apresentada na Tabela 6.

Tabela 6: Medidas de Distância

	D+	D-
A1	0,0324	0,0875
A2	0,0199	0,1067
A3	0,0847	0,0515
A4	0,0304	0,0921
A5	0,0370	0,0830
A6	0,0475	0,0861
A7	0,0992	0,0341
A8	0,0904	0,0366
A9	0,0708	0,0556

A10	0,0823	0,0462
A11	0,0771	0,0419

7. Etapa 7: Determinação da razão R. Os valores calculados são apresentados na Tabela

Tabela 7: Medidas de Distância

	R
A1	0,7295
A2	0,8430
A3	0,3782
A4	0,7517
A5	0,6917
A6	0,6446
A7	0,2561
A8	0,2879
A9	0,4400
A10	0,3592
A11	0,3519

Etapa 8: Classificação. Conforme a análise da Tabela 7 percebe-se que a ordem de classificação das alternativas seria: A2 > A4 > A1 > A5 > A6 > A9 > A3 > A10 > A11 > A8 > A7.

5. CONCLUSÕES

Verifica-se que a análise das alternativas utilizando o método TOPSIS em conjunto com o método *Swing Weight* conduziu a uma ordenação que se mostrou satisfatória e concordante com as expectativas dos especialistas. O emprego de métodos de Apoio Multicritério à Decisão na sua abordagem de problemas de decisão propicia discussão e torna o problema mais claro para tomar a decisão.

Desta forma, verifica-se a relevância dos métodos de Apoio à Decisão no levantamento de alternativas de transporte num processo decisório, principalmente quando os métodos são simples, de fácil implementação e entendimento pelos atores, contribuindo bastante para a seleção de um veículo utilitário leve mais ecoeficiente a ser utilizado para transporte de carga.

A busca por alternativas de transporte mais sustentáveis considerando diversos critérios quantitativos visa obter no campo do transporte uma maior qualidade ambiental atual e principalmente para as gerações futuras. Verifica-se que a alternativa que apresentou o melhor desempenho, segundo os critérios selecionados para esta análise foi a alternativa A2. Analisando a matriz de decisão, verifica-se que esta alternativa apresenta baixo nível de emissão de poluentes, mas a quantificação de seu desempenho fica comprovado com a aplicação dos métodos de apoio à decisão.

Identificam-se ainda que as alternativas avaliadas que A4, A1, A5 e A6 apresentam, nesta ordem, bons desempenhos. E que as alternativas A7 e A8 são as que apresentam os piores desempenhos, comprovando as expectativas dos especialistas.

Esta pesquisa abordando a ecoeficiência no contexto dos transportes tendo os métodos de apoio à decisão na implementação do problema para a obtenção da ordenação das alternativas é um campo fértil de pesquisa. Assim, tem-se a expectativa de que em futuras pesquisas, outros problemas de cunho sustentável serão abordados e analisados, considerando outras dimensões da sustentabilidade como a social e no caso de incerteza na determinação da importância relativa dos critérios com o uso do método fuzzy TOPSIS.

REFERÊNCIAS

- BARROS, C.P., WANKE, P.** An analysis of African airlines efficiency with two-stage TOPSIS and neural networks. *Journal of Air Transport Management* 44-45 90e102, 2015.
- BRASIL, DECRETO Nº 4.059, DE 19 DE DEZEMBRO DE 2001.** Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. 2001.
- BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE.** Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, 2013.
- CHARNES, A., COOPER, W. W., RHODES E.** Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, vol. 2, pp. 429-444, 1978.
- CONPET.** Programa Nacional de Racionalização do uso dos derivados de petróleo e gás natural. Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBE) lança tabela com modelos de 2016. Disponível em: <http://pbeveicular.petrobras.com.br/TabelaConsumo.aspx>. e http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2016.pdf - Pp.32 - 34. Acessado em: 27/05/2016.
- DIRECTIVE.** On the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. *Official Journal of the European Union*, 2009.
- EDWARDS, W; BARRON, F. H.** SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, v.60, p.306-325, 1994.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE.** Balanço Energético Nacional 2014. Relatório Síntese, ano base 2013. Rio de Janeiro, RJ. Maio de 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/BEN-%202014%20Rel%20S%C3%ADntese%20ab%202013a.pdf>
- HILGEMBERG, E. M.; GUILHOTO, J.J.M.** *Uso de combustíveis e emissões de CO2 no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto*. Nova Economia, Belo Horizonte nº 16, janeiro-abril de 2006.
- HILL, M. P.** Uso de Energia em Transporte: Análise comparativa da eficiência energética entre os ciclos de vida do gás natural veicular comprimido e da energia termelétrica a gás para uso final em automóveis leves. Rio de Janeiro, UFRJ, 2010.
- HWANG, C.L., YOON, K.** “Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications”. Springer. Verlag, Berlin, 1981.
- HWANG, C.L., LAI, Y.J., LIU, T.Y.** A new approach for multiple objective decision making. *Computers Ops Res.* Vol. 20, No. 8, pp. 889-899. 1993.
- KAHRAMAN, C.** (Org.) Fuzzy multicriteria decision making: theory and applications with recent developments. Turkey: Springer Science, 2008.
- LIMA JUNIOR, F. R., CARPINETTI, L. C. R.** Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 22, n. 1, p. 17-34, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X1190>.
- MARQUES, G.G.; ALVES, M.F.** O Selo Ambiental do Caminhão Tractor Constellation – certificado ISO 14.040/44. Volkswagen Caminhões & Ônibus. Artigo 2008.
- MEYER, I.; WESSELY, S.** Fuel efficiency of the Austrian passenger vehicle fleet — analysis of trends in the technological profile and related impacts on CO2 emissions. *Energy Policy* 37, 2009.
- OLSON, D. L.** Decision Aids for Selection Problems. Springer Series in Operations Research. 1996.
- OLSON, D. L.** Comparison of Weights in TOPSIS Models. *Mathematical and Computer Modelling* 40 (2004) 721-727.

PAZDERNIK, K.; ANDER, M.; GÖTTLICHER, S.; KOTHER, D.; POUPER, S.; STRANNER, G.; ZECHMEISTER, A. Emissionstrends 1990–2008 - Ein Überblick über die Österreichischen Verursachervon Luftschadstoffen. Datenstand, 2010.

PHILIPON, P. *O Futuro da Mobilidade: rumo a uma mobilidade rodoviária sustentável.* Éditions Textuel, 2010.

RIBEIRO, S. K. O álcool e o aquecimento global. Rio de Janeiro: CNI/COINFRA/ COOPERSUCAR, 1997. 112p

SIMÃO, V.G. Fatores estruturantes para implantação do programa brasileiro de avaliação do ciclo de vida. Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Sistemas de Gestão da Universidade Federal Fluminense. Área de concentração: Gestão Ambiental, 2011. 133p

VINCKE, P., Multicriteria Decision-Aid, Wiley, 1992.

YIN R. K.. Validity and generalization in future case study evaluations. *Evaluation* 2013 19: 321. Sage. 2013.