EXACTA Engenharia de Produção eISSN 1983-9308

Artigos

https://doi.org/10.5585/2023.23218

Check for updates

Um estudo comparativo entre métodos *Hesitant Fuzzy* TOPSIS no contexto de seleção de fornecedores

A comparative study between Hesitant Fuzzy TOPSIS methods in the context of supplier selection

Recebido: 03 nov. 2022

Aprovado: 15 fev. 2023

Versão do autor aceita publicada online: 15 fev. 2023

Publicado online: 08 mar. 2023

Como citar esse artigo - American Psychological Association (APA)

Beleski, I. M., & Lima, F. R. Jr. (jan./mar. 2025). Um estudo comparativo entre métodos *Hesitant Fuzzy* TOPSIS no contexto de seleção de fornecedores. *Exacta, 23*(1), p. 269-288.

https://doi.org/10.5585/2023.23218

Submeta seu artigo para este periódico

Processo de Avaliação: *Double Blind Review*

Editor: Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto

Dados Crossmark

BY-NC-SA

EXACTA Engenharia de Produção eISSN 1983-9308

https://doi.org/10.5585/2023.23218

Processo de Avaliação: *Double Blind Review*
Editor: Prof. Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto
Recebido em: 03 nov. 2022
Aprovado em: 15 fev. 2023

Artigos

Um estudo comparativo entre métodos *Hesitant Fuzzy* TOPSIS no contexto de seleção de fornecedores

A comparative study between Hesitant Fuzzy TOPSIS methods in the context of supplier selection

Igor Mansur Beleski e Francisco Rodrigues Lima Junior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil

Nota dos Autores

Autores declaram que não há conflitos de interesses.
Agradecimentos: UTFPR / UTFPRCAPES / Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) - Processo 409529/2021-4

Resumo

Uma das maneiras de lidar com o processo de seleção de fornecedores é o uso de métodos de tomada de decisão multicritério. Entre estes, o *Hesitant Fuzzy* TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) se destaca por ser um método emergente capaz de apoiar processos decisórios em situações de incerteza e hesitação. Este estudo apresenta uma comparação entre duas versões desse método aplicados na seleção de fornecedores e subsequente análise de suas características, identificando vantagens de uso, diferenças e limitações. A aplicação considerou cinco alternativas, quatro critérios e dois decisores. Os resultados mostram similaridades entre os *rankings* de fornecedores produzidos por elas e indicam que são capazes de apoiar problemas de decisão em grupo, embora não permitam atribuir pesos diferentes aos decisores. Os resultados deste estudo podem ser usados para auxiliar pesquisadores e gestores na escolha de um método de decisão adequado às suas necessidades.

Palavras-chave: seleção de fornecedores, métodos de decisão multicritério, *Hesitant Fuzzy* TOPSIS

BY-NC-SA

Abstract

A comparative study between Hesitant Fuzzy TOPSIS methods in the context of supplier selection

One of the ways to deal with the supplier selection process is the use of multicriteria decision-making methods. Among these, the Hesitant Fuzzy TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) stands out for being an emerging method capable of supporting decision-making processes in situations of uncertainty and hesitancy. This study presents a comparison between two versions of this method applied in supplier selection and subsequent analysis of their characteristics, identifying advantages of use, differences and limitations. The application considered five alternatives, four criteria and two decision makers. The results show similarities between the supplier rankings produced by them and indicate that they are capable of supporting group decision problems, although they do not allow different weights to be assigned to the decision makers. The results of this study can be used to assist researchers and managers in choosing a decision method appropriate to their needs.

Keywords: supplier selection, multicriteria decision making methods, Hesitant Fuzzy TOPSIS

1 Introdução

Muitas decisões precisam ser tomadas dentro das organizações, exigindo dos gestores habilidades de discernimento e capacidade de realizar escolhas mais vantajosas, a fim de atingirem seus objetivos econômicos e de desempenho. Em um contexto industrial, a seleção dos fornecedores com que se pretende firmar relações de compra se mostra fundamental, tanto pelo modo como afeta diretamente os custos, resultados e qualidade dos produtos (Thrulogachantar & Zailani, 2011; Wu & Barnes, 2012), como também pela necessidade cada vez mais acentuada e crucial de se constituir uma cadeia de suprimentos efetiva (Wu & Barnes, 2010; Zimmer, Fröhling & Schultmann, 2015), o que está diretamente relacionado à escolha dos fornecedores.

A seleção de fornecedores é um processo complexo por envolver múltiplas alternativas e critérios (Wu & Barnes, 2010; Wu & Barnes, 2011). Uma maneira amplamente abordada para lidar com este tipo de problema é o uso de métodos de tomada de decisão multicritério (*Multicriteria Decision Making Methods* - MCDM). Entre esses métodos, pode-se destacar alguns que combinam conjuntos *hesitant fuzzy* com métodos de decisão multicritério tradicionais, como o TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*). Embora esses métodos denominados *Hesitant Fuzzy* TOPSIS sejam emergentes (Beg & Rashid, 2013; Onar, Oztaysi & Kahraman, 2014), eles têm o potencial de incorporar novas funcionalidades aos modelos de decisão, incluindo a capacidade de

BY-NC-SA

permitir aos decisores a utilização de mais de um valor simultaneamente para avaliar as alternativas do problema em questão, o que é útil quando há hesitação e ausência de informações para decisão (Rodríguez, Martínez & Herrera, 2013).

A primeira versão do *Hesitant Fuzzy* TOPSIS foi proposta por Beg e Rashid (2013). Posteriormente, outras versões dessa técnica foram propostas. Entretanto, não foram encontrados estudos comparativos entre as diferentes versões do *Hesitant Fuzzy* TOPSIS. Diante disto, este estudo apresenta uma comparação entre dois métodos *Hesitant Fuzzy* TOPSIS, com intuito de elucidar as particularidades de cada método e analisar os resultados de sua aplicação em um problema de seleção de fornecedores. Os dois modelos foram aplicados usando os julgamentos linguísticos simulados de dois decisores, em relação a cinco fornecedores, considerando quatro critérios de decisão. Posteriormente, uma análise das características dos métodos permitiu identificar algumas vantagens de uso e limitações de uso de cada um destes.

Quanto à estrutura deste artigo, a seção 2 apresenta um referencial teórico sobre seleção de fornecedores, estudos comparativos entre técnicas de apoio à decisão, e métodos *Hesitant Fuzzy* TOPSIS, e a seção 3 descreve os procedimentos metodológicos utilizados neste estudo. Já a seção 4 discute os resultados da aplicação dos métodos e analisa comparativamente suas características. Por último, a seção 5 apresenta na conclusão e aponta algumas sugestões para o desenvolvimento de estudos futuros.

2 Referencial Teórico

2.1 O Processo de Seleção de Fornecedores

Igarashi, De Boer e Fet (2013) destrincham o processo de seleção de fornecedores em várias atividades, separadas em etapas e bem definidas do início ao fim. O processo começa na identificação de necessidades e especificações que precisam ser atendidas pelo potencial fornecedor. Os compradores decidem então sobre os critérios de medida que serão utilizados, formulando-os com base no que foi determinado na etapa anterior. Em seguida, a empresa procura aqueles que podem atender os critérios dentre os potenciais fornecedores. Ao analisar as informações recebidas, os

BY-NC-SA

fornecedores qualificados são avaliados detalhadamente visando à realização da escolha final. Após essas etapas, é feita uma avaliação pós-seleção do desempenho do fornecedor, habilitando o uso de *feedbacks* para melhorias futuras.

Além da necessidade de se atentar às qualificações dos potenciais fornecedores, faz-se necessário também a consideração de fatores estratégicos para a organização durante a seleção de fornecedores. Nesse sentido, a proximidade das companhias com seus fornecedores como forma de ampliar sua vantagem competitiva é amplamente reconhecida na literatura (Ha, Park & Cho, 2011; Thrulogachantar & Zailani, 2011; Wu & Barnes, 2011).

Em relação ao tamanho da base de fornecedores, no caso de um único fornecedor não possuir capacidade de satisfazer todas as necessidades do cliente, é preciso que haja distribuição de seus requisitos de compra entre múltiplas fontes de abastecimento (Castro, Gómez & Franco, 2009). Uma vez que pode haver a necessidade de avaliar um alto número de potenciais fornecedores considerando diversos critérios, é desejável que o método de decisão adotado não limite a quantidade de alternativas e critérios que podem ser considerados no processo de apoio à decisão (Lima Junior, Osiro & Carpinetti, 2014).

Para avaliar as alternativas dentro do processo de seleção de fornecedores, é necessário o uso de critérios que descrevam precisamente os aspectos quantitativos e qualitativos que melhor adequam cada fornecedor em potencial às especificações do comprador. Esses critérios possuem propósito estratégico e precisam estar relacionados com os processos do negócio e com as necessidades dos *stakeholders* (Dey, Bhattacharya & Ho, 2015). Alguns exemplos de critérios de seleção de fornecedores comumente utilizados na literatura estão relacionados a custo, qualidade, serviço, flexibilidade e entrega (Hlioui, Gharbi & Hajji, 2017).

Outro fator a ser considerado durante a avaliação de fornecedores é a importância dada a cada critério utilizado, representada pelos pesos que lhe são conferidos. Na medida em que procuram-se identificar as melhores opções, a escolha dos critérios corretos com pesos bem definidos é fundamental para o alinhamento dos objetivos estratégicos e de desempenho com as decisões de

BY-NC-SA

compra (Lima Junior & Carpinetti, 2016). A fim de melhor definir os pesos dos critérios e as pontuações dos fornecedores, a seleção de fornecedores pode envolver múltiplos participantes no processo decisório, incluindo especialistas de várias áreas funcionais da empresa compradora, tais como compras, qualidade, desenvolvimento de produtos, logística, ambiental, dentre outras (Zimmer, Fröhling & Schultmann, 2016). Em função disso, pode ser necessária a adoção de métodos quantitativos capazes de apoiar problemas de decisão em grupo.

2.2 Estudos comparativos entre métodos de apoio à tomada de decisão

O Quadro 1 apresenta uma listagem de estudos comparativos entre métodos de apoio à decisão. Nesse quadro, são mostrados os métodos comparados, os fatores considerados na comparação e o domínio de problema em questão. Alguns desses estudos permitem evidenciar os benefícios e limitações do uso dos métodos comparados, quando aplicados em determinados contextos. Pode-se notar a predominância de estudos focados no problema de seleção de fornecedores, embora também existam estudos considerando a seleção de localização industrial, seleção de melhores práticas de gerenciamento, dentre outros. Quanto aos fatores considerados na comparação, alguns deles são: consistência dos resultados; similaridades e diferenças na aplicação; método de ranqueamento de alternativas; complexidade computacional; número máximo de critérios e alternativas; e quantidade de interação com o usuário

BY-NC-SA

Quadro 1

Estudos comparativos entre métodos de apoio à decisão

Autor(es)	Técnicas comparadas	Fatores de comparação	Contexto
Triantaphyllou e Lin (1996)	*Fuzzy* WSM, *Fuzzy* AHP, *Fuzzy* RAHP e *Fuzzy* TOPSIS	Consistência de um método quando problemas unidimensionais são considerados e estabilidade dos resultados quando uma alternativa não-ótima é substituída por uma pior	Comparação de métodos
Ertuğrul e Karakaşoğlu (2008)	*Fuzzy* AHP e *Fuzzy* TOPSIS	Similaridades e diferenças entre as técnicas	Seleção de localização
Mosadeghi (2015)	AHP e *Fuzzy* AHP	Divergência de classificações de critérios, extensão e localização da opção preferida para desenvolvimento adicional, influência relativa de cada critério	Categorização de áreas para expansão urbana
Matawale, Datta e Mahapatra (2016)	FMLMCDM, *Fuzzy* TOPSIS e *Fuzzy* MOORA	Nível de critérios, consideração de dados objetivos e subjetivos, classificação de adequação de critérios, modo de ranqueamento de alternativas e uso de regras fuzzy.	Seleção de fornecedores
Asgari, Abbasi e Alimohamadlou (2016)	ANFIS e *Fuzzy* AHP-FGP	*Mean Squared Error*, *Root Mean Squared Error*, *Mean Absolute Error*, *Maximum Absolute Error*, *Minimum Absolute Error*, *Normalized Root Mean Squared Error* e R^2	Seleção de fornecedores
Mahmoud e Garcia (2000)	WA, PROMETHEE II, CP, ELECTRE II e AHP	Consistência dos resultados, quantidade de interação com o usuário e facilidade de entendimento	Seleção de melhores praticas de gerenciamento
Lima Junior e Carpinetti (2015)	TOPSIS e *Fuzzy* TOPSIS	Quantidade de julgamentos requeridos, formato das pontuações dos fornecedores e pesos, desempenho global dos fornecedores, composição das solucões ideiais, cálculo das distâncias e consistência dos resultados fornecidos	Seleção de fornecedores
Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2014)	*Fuzzy* AHP e *Fuzzy* TOPSIS	Adequação a mudanças de alternativas e de critérios, agilidade no processo de decisão, complexidade computacional, adequação ao suporte à tomada de decisões em grupo, número de alternativas de fornecedores e de critérios, e modelagem de incertezas	Seleção de fornecedores
Pham, Wong, Moslehpour e Musyoki (2018)	AHP e *Fuzzy* AHP	Peso dos fatores, resultado dos subfatores e alternativas	Seleção de país para terceirização
Zolfani e Chatterjee (2019)	SWARA e BWM	Similaridades e diferenças entre as técnicas	Seleção de materiais sustentáveis

Fonte: Autores.

Como pode ser visto no Quadro 1, diversos métodos já foram comparados em estudos prévios, incluindo AHP, TOPSIS, PROMETHEE II, ELECTRE II, SWARA, BWM, *Fuzzy* WSM, *Fuzzy* AHP, *Fuzzy* TOPSIS, *Fuzzy* MOORA, ANFIS, *Fuzzy* AHP-FGP, dentre outros. É possível notar que os métodos baseados na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* têm recebido atenção especial nesses estudos comparativos,

BY-NC-SA

dada sua alta frequência de aplicação na literatura e a capacidade em apoiar decisões sob incerteza, que envolvem variáveis qualitativas, ausência de informação, dados imprecisos e uso de julgamentos subjetivos coletados de especialistas. Entretanto, apesar de existirem diversos estudos comparativos envolvendo o método *Fuzzy* TOPSIS, não foram encontrados estudos que comparem métodos *Hesitant Fuzzy* TOPSIS. Dessa forma, a realização de um estudo comparativo envolvendo esses métodos pode ajudar a mapear as características de cada método e a identificar vantagens e limitações de uso. A seção a seguir foca na descrição dos métodos *Hesitant Fuzzy* TOPSIS analisados neste estudo.

2.3 Métodos Hesitant Fuzzy TOPSIS

Desde que a Teoria dos conjuntos *Hesitant Fuzzy* foi proposta por Torra (2009) para apoiar situações de decisão sob incerteza e hesitação, diferentes combinações foram feitas envolvendo essa teoria, suas extensões e o método TOPSIS. O Quadro 2 detalha os diferentes métodos *Hesitant Fuzzy* TOPSIS encontrados na literatura, destacando a forma de representação das pontuações das alternativas, a capacidade de suportar ou não processos de decisão em grupo, a possibilidade de atribuição de pesos aos critérios, bem como a possibilidade de utilizar expressões linguísticas. O mapeamento das características dessas abordagens (mostradas nas colunas) foi desenvolvido pelos autores desse estudo e forneceu subsídios para a escolha dos métodos a serem comparados.

BY-NC-SA

Quadro 2

Mapeamento das abordagens Hesitant Fuzzy TOPSIS

Autores	Forma de representação das pontuações das alternativas	Suporte à decisão em grupo	Atribuição de pesos aos critérios	Uso de expressões linguísticas
Beg e Rashid (2013)	Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets (HFLTS)	Sim. Utiliza um procedimento de cálculo para gerar uma matriz de decisão agregada.	Não permite.	O uso de HFLTS possibilita essas expressões, embora os autores não tenham aplicado.
Xu e Zhang (2013)	Hesitant Fuzzy Sets (HFS)	Sim. A junção dos valores de pertinência dados por cada decisor determina os valores da matriz agregada.	Não permite, mas apresenta um procedimento de programação matemática para determinar os pesos.	Não permite.
Xu e Zhang (2013)	Interval-valued Hesitant Fuzzy Sets (IVHFS)	Sim. A junção dos valores de IVHFS dados por cada decisor determina os valores da matriz agregada.	Não permite, mas apresenta um procedimento de programação matemática para determinar os pesos.	Não permite.
Liu e Rodríguez (2014)	Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets (HFLTS)	Não.	Sim, em formato *crisp*.	Sim.
Onar, Oztaysi e Kahraman (2014)	Hesitant Fuzzy Sets (HFS)	Sim. A junção dos valores de pertinência dados por cada decisor determina os valores da matriz agregada. Valores repetidos são eliminados.	Sim. Os autores sugerem o uso de Trapezoidal Interval Type-2 fuzzy AHP, que produzem valores em formato *crisp*.	Não permite
Liao e Xu (2015)	Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets (HFLTS)	Não.	Sim, em formato *crisp*.	Sim.
Senvar, Otay e Bolturk (2016)	Triangular Fuzzy Hesitant Fuzzy Sets (TFHFS)	Sim.	Sim, em formato de TFHFS.	Não permite.

Fonte: Autores.

Para escolher os métodos comparados neste estudo, foram considerados os seguintes critérios:

a) **Apoio à decisão em grupo**: como a seleção de fornecedores requer a participação de especialistas de diferentes áreas funcionais da empresa compradora, é desejável que o método permita considerar os julgamentos de múltiplos decisores. Com a aplicação desse

BY-NC-SA

critério, foram excluídos os métodos propostos por Liu e Rodríguez (2014) e Liao e Xu (2015);

b) **Compatibilidade entre os tipos de valores de entrada**: para garantir a consistência da comparação, deve-se atestar que os mesmos valores de entrada (pontuações dos fornecedores) possam ser usados em ambos os métodos comparados. A partir da aplicação desse critério, excluiu-se os métodos propostos por Senvar, Otay e Bolturk (2016) e Xu e Zhang (2013);

c) **Simplicidade do método e facilidade de implementação**: esse critério levou em conta a facilidade de entendimento do método, a quantidade de operações e a complexidade destas. Considerando esses fatores, dentre as três opções restantes, foram escolhidos os estudos propostos por Beg e Rashid (2013) e Onar, Oztaysi e Kahraman (2014), os quais são detalhados a seguir.

O método *Hesitant Fuzzy* TOPSIS desenvolvido por Beg e Rashid (2013) é baseado no mesmo princípio do método TOPSIS, que consiste em priorizar as alternativas de acordo com sua proximidade em relação à solução ideal positiva (SIP) e à solução ideal negativa (SIN). Enquanto a SIP é formada pelas melhorem pontuações alcançadas pelas alternativas em cada critério, a SIN é composta pelas piores pontuações. Os passos desse método são detalhados a seguir com base em Beg e Rashid (2013):

a) **Passo 1:** seja $\tilde{X}^l = \left[H_{Sij}^l\right]_{mxn}$ uma matriz de decisão *fuzzy*; $E = \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ é o conjunto de especialistas envolvidos no processo decisório; $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ é o conjunto das alternativas consideradas; e $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ é o conjunto dos critérios utilizado para avaliar as alternativas. O desempenho da alternativa A_i em relação ao critério C_j é denotado como x_{ij}. A matriz de decisão agregada $X = [x_{ij}]$, com $X_{ij} = [S_{pij}, S_{qij}]$, é calculada considerando as diversas opiniões dos decisores $(\tilde{X}^1, \tilde{X}^2, \dots, \tilde{X}^k)$, de acordo com as equações 1 e 2;

$$s_{pij} = \min\left\{\min_{l=1}^{k}\left(\max H_{Sij}^l\right), \max_{l=1}^{k}\left(\min H_{Sij}^l\right)\right\} \quad (1)$$

$$s_{qij} = \max\left\{\min_{l=1}^{k}\left(\max H_{Sij}^l\right), \max_{l=1}^{k}\left(\min H_{Sij}^l\right)\right\} \quad (2)$$

b) **Passo 2**: seja Ω_b uma coleção de critérios de benefício (ou seja, quanto maior o desempenho em C_j, maior será a pontuação final) e Ω_c seja uma coleção de critérios de custo (quanto

BY-NC-SA

menor o desempenho em C_j, maior será a pontuação final). A SIP é representada como $\tilde{A}^+ = (\tilde{V}_1^+, \tilde{V}_2^+ \ldots, \tilde{V}_n^+)$ e a SIN é definida como $\tilde{A}^- = (\tilde{V}_1^-, \tilde{V}_2^- \ldots, \tilde{V}_n^-)$. As equações 3 e 4 orientam a composição das SIP e SIN para critérios de benefício e de custo. Nessas equações, $\tilde{V}_j^+ = [v_{pj}, v_{qj}]$, $(j = 1, 2, \ldots, n)$ e $(\mathrm{i} = 1, 2, \ldots, \mathrm{m})$;

$$\tilde{\mathrm{A}}^+ = \left[\left(\left(\max_{\mathrm{l}=1}^{\mathrm{k}} \left(\max_{\mathrm{i}} \mathrm{H}_{\mathrm{Sij}}^{\mathrm{l}}\right)\right) \middle| \mathrm{j} \in \Omega_{\mathrm{b}}, \left(\min_{\mathrm{l}=1}^{\mathrm{k}} \left(\min_{\mathrm{i}} \mathrm{H}_{\mathrm{Sij}}^{\mathrm{l}}\right)\right) \middle| \mathrm{j}\ \varepsilon\ \Omega_{\mathrm{c}}\right), \left(\left(\max_{\mathrm{l}=1}^{\mathrm{k}} \left(\max_{\mathrm{i}} \mathrm{H}_{\mathrm{Sij}}^{\mathrm{l}}\right)\right) \mid \mathrm{j} \in \Omega_{\mathrm{b}}, \quad \left(\min_{\mathrm{l}=1}^{\mathrm{k}} \left(\min_{\mathrm{i}} \mathrm{H}_{\mathrm{Sij}}^{\mathrm{l}}\right)\right) \mid \mathrm{j}\ \varepsilon\ \Omega_{\mathrm{c}}\right)\right] \tag{3}$$

$$\tilde{\mathrm{A}}^- = \left[\left(\left(\min_{\mathrm{l}=1}^{\mathrm{k}} \left(\min_{\mathrm{i}} \mathrm{H}_{\mathrm{Sij}}^{\mathrm{l}}\right)\right) \middle| \mathrm{j} \in \Omega_{\mathrm{b}}, \left(\max_{\mathrm{l}=1}^{\mathrm{k}} \left(\max_{\mathrm{i}} \mathrm{H}_{\mathrm{Sij}}^{\mathrm{l}}\right)\right) \middle| \mathrm{j}\ \varepsilon\ \Omega_{\mathrm{c}}\right), \left(\left(\min_{\mathrm{l}=1}^{\mathrm{k}} \left(\min_{\mathrm{i}} \mathrm{H}_{\mathrm{Sij}}^{\mathrm{l}}\right)\right) \mid \mathrm{j} \in \Omega_{\mathrm{b}}, \quad \left(\max_{\mathrm{l}=1}^{\mathrm{k}} \left(\max_{\mathrm{i}} \mathrm{H}_{\mathrm{Sij}}^{\mathrm{l}}\right)\right) \mid \mathrm{j}\ \varepsilon\ \Omega_{\mathrm{c}}\right)\right], \tag{4}$$

c) Passo 3: construir uma matriz de separação ideal positiva (D^+) e uma matriz de separação ideal negativa (D^-) conforme as equações 5 e 6. Cada elemento dessas matrizes é calculado por meio da expressão 7, na qual *p* e *q* são os limites do envoltório do conjunto H_S^1, e p' e q' são os limites do envoltório de H_S^2;

$$\mathrm{D}^+ = \begin{pmatrix} \mathrm{d}(\mathrm{x}_{11}, \tilde{\mathrm{V}}_1^+) & + & \mathrm{d}(\mathrm{x}_{12}, \tilde{\mathrm{V}}_2^+) & + & \cdots & + & \mathrm{d}(\mathrm{x}_{1\mathrm{n}}, \tilde{\mathrm{V}}_{\mathrm{n}}^+) \\ \mathrm{d}(\mathrm{x}_{21}, \tilde{\mathrm{V}}_1^+) & + & \mathrm{d}(\mathrm{x}_{22}, \tilde{\mathrm{V}}_2^+) & + & \cdots & + & \mathrm{d}(\mathrm{x}_{2\mathrm{n}}, \tilde{\mathrm{V}}_{\mathrm{n}}^+) \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & + & \vdots \\ \mathrm{d}(\mathrm{x}_{\mathrm{m}1}, \tilde{\mathrm{V}}_1^+) & + & \mathrm{d}(\mathrm{x}_{\mathrm{m}2}, \tilde{\mathrm{V}}_2^+) & + & \cdots & + & \mathrm{d}(\mathrm{x}_{\mathrm{mn}}, \tilde{\mathrm{V}}_{\mathrm{n}}^+) \end{pmatrix} \tag{5}$$

$$\mathrm{D}^- = \begin{pmatrix} \mathrm{d}(\mathrm{x}_{11}, \tilde{\mathrm{V}}_1^-) & + & \mathrm{d}(\mathrm{x}_{12}, \tilde{\mathrm{V}}_2^-) & + & \cdots & + & \mathrm{d}(\mathrm{x}_{1\mathrm{n}}, \tilde{\mathrm{V}}_{\mathrm{n}}^-) \\ \mathrm{d}(\mathrm{x}_{21}, \tilde{\mathrm{V}}_1^-) & + & \mathrm{d}(\mathrm{x}_{22}, \tilde{\mathrm{V}}_2^-) & + & \cdots & + & \mathrm{d}(\mathrm{x}_{2\mathrm{n}}, \tilde{\mathrm{V}}_{\mathrm{n}}^-) \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & + & \vdots \\ \mathrm{d}(\mathrm{x}_{\mathrm{m}1}, \tilde{\mathrm{V}}_1^-) & + & \mathrm{d}(\mathrm{x}_{\mathrm{m}2}, \tilde{\mathrm{V}}_2^-) & + & \cdots & + & \mathrm{d}(\mathrm{x}_{\mathrm{mn}}, \tilde{\mathrm{V}}_{\mathrm{n}}^-) \end{pmatrix} \tag{6}$$

$$\mathrm{d}(\mathrm{H}_{\mathrm{S}}^1, \mathrm{H}_{\mathrm{S}}^2) = |\mathrm{q}' - \mathrm{q}| + |\mathrm{p}' - \mathrm{p}| \tag{7}$$

d) Passo 4: calcular a proximidade relativa (*relative closeness*, RC) de cada alternativa para a solução ideal usando a equação 8, na qual $D_i^- = \sum_{j=1}^n d(x_{ij}, \tilde{V}_j^-)$ e $D_i^+ = \sum_{j=1}^n d(x_{ij}, \tilde{V}_j^+)$;

$$\mathrm{RC}(\mathrm{A}_{\mathrm{i}}) = \frac{\mathrm{D}_{\mathrm{i}}^-}{\mathrm{D}_{\mathrm{i}}^+ + \mathrm{D}_{\mathrm{i}}^-} \tag{8}$$

e) Passo 5: Classificar todas as alternativas A_i $(i = 1, 2, \ldots, m)$ de acordo com o coeficiente de proximidade $RC(A_i)$. Quanto maior o valor de $RC(A_i)$, melhor é o desempenho final da

BY-NC-SA

alternativa A_i.

O segundo método *Hesitant Fuzzy* TOPSIS comparado neste estudo foi proposto por Onar, Oztaysi e Kahraman (2014), e também prioriza as alternativas de acordo com sua proximidade em relação à SIP e SIN. No passo 1, os julgamentos dos múltiplos decisores são dispostos na matriz de decisão. Caso haja valores repetidos para os graus de pertinência que representam a pontuação de alternativa em um dado critério, estes devem ser eliminados. No passo 2, as SIP e SIN são obtidas usando as equações 9 e 10, respectivamente.

$$A^{+} = \left\{x_j, \max_i \langle \gamma_{ij}^{\sigma(\lambda)} \rangle | j = 1,2, \dots, n\right\} \quad (9)$$

$$A^{-} = \left\{x_j, \min_i \langle \gamma_{ij}^{\sigma(\lambda)} \rangle | j = 1,2, \dots, n\right\} \quad (10)$$

O cálculo entre as pontuações da matriz e as soluções ideais é feito no passo 3 por meio das equações 11, 12 e 13. Nessa etapa , utiliza-se um método denominado *weighted hesitant normalized Hamming distance.* Por último, os passos 4 e 5 são idênticos ao método anterior, de modo que a equação 8 também é utilizada para obtenção da pontuação global das alternativas.

$$D_i^{+} = \sum_{j=1}^{n} w_j \left|\left|h_{ij} - h_j^{*}\right|\right| \quad (11)$$

$$D_i^{-} = \sum_{j=1}^{n} w_j \left|\left|h_{ij} - h_j^{-}\right|\right| \quad (12)$$

$$\left|\left|h_{ij} - h_j^{-}\right|\right| = \frac{1}{l}\sum_{j=1}^{l} \left|h_{1\sigma(j)} - h_{2\sigma(j)}\right| \quad (13)$$

3 Procedimentos metodológicos

A partir das definições apresentadas por Cauchick-Miguel (2018), esse estudo pode ser classificado como uma pesquisa quantitativa que envolve modelagem e simulação computacional, sendo que as simulações realizadas são estáticas e determinísticas. Em relação à organização do estudo, este foi dividido nas seguintes etapas:

a) **Pesquisa bibliográfica**: inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o processo de seleção de fornecedores e um levantamento de estudos comparativos entre métodos de

BY-NC-SA

apoio à decisão. Também foi feito mapeamento das abordagens *Hesitant Fuzzy* TOPSIS existentes na literatura, o que embasou a escolha dos métodos a serem comparados neste estudo. O material bibliográfico foi coletado usando as bases de dados *Science Direct*, *Scopus*, *Emerald* e a ferramenta de busca *Google Scholar*. Para isso, foram utilizadas as seguintes palavras-chave, algumas vezes de forma combinada: *supplier selection*, *Hesitant Fuzzy TOPSIS*, *multicriteria decision making*, *comparison*, *comparative* e *Hesitant Fuzzy Linguistic Terms Sets*;

b) **Modelagem e simulação**: nesta etapa foram desenvolvidos dois modelos computacionais usando o *software Microsoft Excel*. Essa ferramenta foi escolhida devido à simplicidade de implementação e à transparência fornecida ao desenvolvedor quanto aos resultados da aplicação dos métodos em cada uma de suas etapas. As equações implementadas foram baseadas em Beg e Rashid (2013) e Onar, Oztaysi e Kahraman (2014), já que estes autores propuseram os métodos comparados no presente estudo. A implementação das equações foi validada com base nos dados das aplicações mostradas nesses estudos. Para isso, os valores de entrada (pontuações das alternativas) apresentados em Beg e Rashid (2013) e Onar, Oztaysi e Kahraman (2014) foram inseridos nos modelos implementados a fim de verificar se estes gerariam os mesmos valores de saída encontrados por tais autores;

c) **Simulação**: após garantir a corretude da implementação computacional, uma aplicação ilustrativa de ambos os modelos foi desenvolvida com base em julgamentos linguísticos simulados, gerados aleatoriamente pelos autores destes estudo. Foram geradas as pontuações de cinco fornecedores fictícios com base em quatro critérios, utilizando uma escala linguística desenvolvida com base em Beg e Rashid (2013). Os resultados da aplicação foram analisados de modo a comparar as pontuações e a ordenação das alternativas fornecida por cada método. Por fim, ambos os métodos foram analisados a fim de identificar semelhanças e características distintas, de modo a explicitar vantagens de uso e limitações de cada método quando aplicado na seleção de fornecedores.

4 Resultados e Discussão

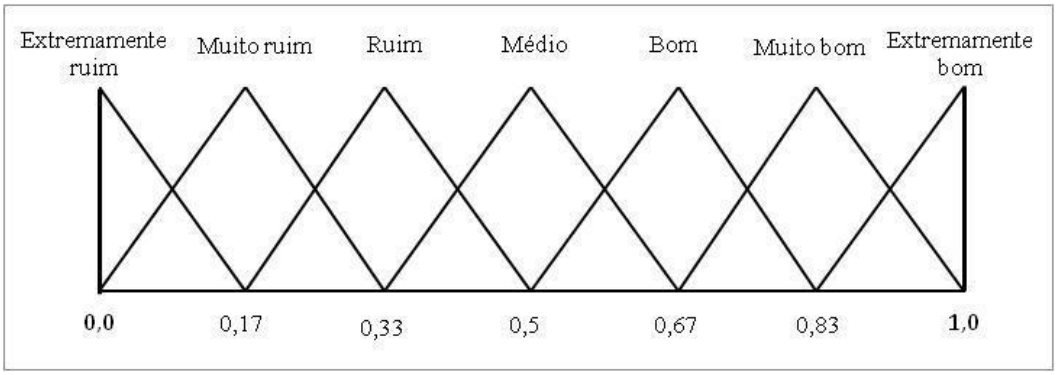
Os métodos propostos por Beg e Rashid (2013) e Onar, Oztaysi e Kahraman (2014) foram implementados e testados usando planilhas desenvolvidas *MS Excel*, gerando assim os modelos computacionais 1 e 2, respectivamente. Os dados usados na aplicação ilustrativa desses modelos foram gerados com base na escala linguística apresentada na Figura 1. Esses dados são mostrados no Quadro 3, que corresponde aos julgamentos linguísticos de dois decisores quanto ao desempenho de

BY-NC-SA

cinco fornecedores em relação a quatro critérios, cujos pesos foram considerados iguais entre si. Baseando-se em uma premissa do TOPSIS, que requer que a soma dos pesos seja igual a 1, definiu-se o peso de cada critério como 0,25.

Figura 1

Escala linguística para avaliação dos fornecedores



Fonte: Beg e Rashid (2013)

Quadro 3

Julgamentos dos decisores em relação ao desempenho dos fornecedores

Fornecedores (A_i)	Decisor 1				Decisor 2			
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_1	C_2	C_3	C_4
A_1	Médio	Bom	Ruim	Ruim	Ruim	Bom	Ruim	Médio
A_2	Ruim	Médio	Médio	Bom	Ruim	Ruim	Bom	Bom
A_3	Bom	Médio	Bom	Ruim	Médio	Ruim	Bom	Ruim
A_4	Bom	Ruim	Ruim	Médio	Médio	Ruim	Ruim	Bom
A_5	Bom	Ruim	Ruim	Bom	Bom	Médio	Ruim	Bom

Fonte: Autores

Os dados mostrados no Quadro 3 foram inseridos no modelo 1 (Beg & Rashid, 2013) e no modelo 2 (Onar, Oztaysi & Kahraman, 2014). Os julgamentos dos decisores foram agregados conforme os procedimentos propostos por cada método. Os resultados da agregação usando os modelos 1 e 2 estão dispostos nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Enquanto o modelo 1 utiliza as equações 1 e 2 para agregar os julgamentos dos decisores em função dos envoltórios dos conjuntos HFLTS (s_p e s_q), o modelo 2 une os valores de pertinência definidos pelos vértices dos termos linguísticos, eliminando os valores repetidos e gerando conjuntos *hesitant fuzzy* de tamanho diferentes.

BY-NC-SA

Tabela 1

Matriz de julgamentos agregados pelo modelo 1

A_i	C_1		C_2		C_3		C_4	
	S_{p1j}	S_{q1j}	S_{p2j}	S_{q2j}	S_{p3j}	S_{q3j}	S_{p4j}	S_{q4j}
A_1	2	3	4	4	2	2	2	3
A_2	2	2	2	3	3	4	4	4
A_3	3	4	2	3	4	4	2	2
A_4	3	4	2	2	2	2	3	4
A_5	4	4	2	3	2	2	4	4

Fonte: Autores.

Tabela

Matriz de julgamentos conforme o modelo 2

A_i	C_1				C_2				C_3				C_4			
A_1	0,17	0,33	0,50	0,67	0,33	0,50	0,67	0,83	0,17	0,33	0,50	-	0,17	0,33	0,50	0,67
A_2	0,17	0,33	0,50	-	0,17	0,33	0,50	0,67	0,33	0,50	0,67	0,83	0,50	0,67	0,83	-
A_3	0,33	0,50	0,67	0,83	0,17	0,33	0,50	0,67	0,50	0,67	0,83	-	0,17	0,33	0,50	-
A_4	0,33	0,50	0,67	0,83	0,17	0,33	0,50	-	0,17	0,33	0,50	-	0,33	0,50	0,67	0,83
A_5	0,33	0,50	0,67	0,83	0,17	0,33	0,50	0,67	0,17	0,33	0,50	-	0,50	0,67	0,83	-

Fonte: Autores.

A partir do uso do método proposto por Beg e Rashid (2013) e dos julgamentos individuais dos decisores, as soluções ideais encontradas foram A^+ = ([4,4];[4,4];[4,4];[4,4]) e A^- = [2,2];[2,2];[2,2];[2,2]. Usando o método proposto por Onar, Oztaysi e Kahraman (2014) e os dados da Tabela 2, as soluções ideais obtidas foram A^+ = ([0,83];[0,83];[0,83];[0,83]) e A^- = ([0,17];[0,17];[0,17];[0,17]). As distâncias das pontuações das alternativas em relação às soluções ideais positiva e negativa foram obtidas usando as equações 3 e 4 no modelo 1, e as equações 9 e 10 no modelo 2. As pontuações globais ($RC(A_i)$) em ambos os modelos foram calculadas por meio da equação 8, permitindo o ranqueamento das alternativas de acordo com sua distância quanto às soluções ideais positiva e negativa. Os resultados são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3

Valores das distâncias e ranqueamento dos fornecedores

A_i	Modelo 1				Modelo 2			
	D^+	D^-	$RC(A_i)$	Classificação	D^+	D^-	$RC(A_i)$	Classificação
A_1	10	6	0,375	3º	0,392	0,268	0,406	3º
A_2	8	8	0,500	2º	0,330	0,330	0,500	1º
A_3	8	8	0,500	2º	0,330	0,330	0,500	1º
A_4	10	6	0,375	3º	0,372	0,288	0,436	2º
A_5	7	9	0,563	1º	0,330	0,330	0,500	1º

Fonte: Autores.

BY-NC-SA

Em relação ao modelo 1, o fornecedor A_5 apresentou a maior pontuação final (0,563), enquanto A_2 e A_3 tiveram pontuações iguais, alcançando a segunda posição. Similarmente, A_1 e A_4 tiveram pontuações iguais (0,375), ocupando a última posição. Quanto ao modelo 2, o fornecedor A_5 também apresentou a maior pontuação final (0,500), porém empatado com A_2 e A_3. Diferentemente do primeiro modelo, A_1 e A_4 apresentaram coeficientes distintos, embora bem próximos entre si (0,406 e 0,436, respectivamente). Portanto, em ambos os métodos, a alternativa A_5 foi considerada a melhor, A_1 foi considerada a pior, enquanto as posições intermediárias divergem.

A aplicação e a análise dos métodos permitiram evidenciar vantagens de uso e limitações que derivam de suas características. O Quadro 4 sintetiza os resultados deste estudo comparativo, no qual "X" indica que o método apresenta a característica analisada. Verificou-se que uma vantagem de ambos os modelos é a capacidade de apoiar processos de decisão em grupo, permitindo a consideração da opinião de múltiplos especialistas. Entretanto, uma limitação é a impossibilidade de atribuir pesos diferentes a esses decisores, conforme seu nível de experiência, conhecimento e/ou responsabilidade sobre a decisão. Embora os dois modelos suportem decisões sob incerteza e permitam modelar hesitação nos julgamentos, apenas o método proposto por Beg e Rashid (2013) permite utilizar expressões linguísticas comparativas, como "entre baixo e médio" e "pelo menos alto", para avaliar as alternativas. Outra diferença é que, enquanto o método de Beg e Rashid (2013) realiza os cálculos com base nos índices dos termos linguísticos, Onar, Oztaysi e Kahraman (2014) utilizam os valores dos graus de pertinência dos conjuntos *fuzzy* para o processamento das informações.

BY-NC-SA

Quadro 4

Síntese da comparação

Fatores analisados	Beg e Rashid (2013)	Onar, Oztaysi e Kahraman (2014)
Melhor alternativa	A_5	$A_5 = A_2 = A_3$
Pior alternativa	A_1	A_1
Apoio a processos de decisão em grupo	X	X
Atribuição de pesos distintos aos decisores	-	-
Suporte a decisões sob incerteza e hesitação	X	X
Uso de expressões linguísticas para avaliar alternativas	X	-
Atribuição de pesos distintos aos critérios	-	X
Atribuição de pesos usando julgamentos linguísticas	-	-
Não limita a quantidade de critérios	X	X
Não limita a quantidade de alternativas	X	X

Fonte: Autores.

Por outro lado, apenas o método proposto por Onar, Oztaysi e Kahraman (2014) possibilita o uso de pesos diferentes para os critérios, ainda que estes possam ser atribuídos usando apenas valores numéricos reais (números *crisp*). Por último, destaca-se que outro benefício de uso de ambos os métodos se refere a não limitar a quantidade de critérios e alternativas que podem ser considerados simultaneamente no problema de decisão, o que é essencial quando há muitos fornecedores a serem avaliados com base em um conjunto amplo de métricas.

5 Conclusão

Esse estudo apresentou uma comparação entre dois métodos *Hesitant Fuzzy* TOPSIS no contexto de seleção de fornecedores. Ambos os métodos apontaram a alternativa A_5 como a melhor opção de fornecimento e A_1 como a pior, embora haja divergências nas posições intermediárias. Os dois métodos possuem vantagens comuns, como a capacidade de apoiar decisões sob hesitação e decisões em grupo, embora ambos não permitam a atribuição de pesos aos decisores. A principal vantagem do método de Beg e Rashid (2013) sobre o método de Onar, Oztaysi e Kahraman (2014) está relacionada ao uso de expressões linguísticas pelos decisores para avaliar alternativas. Por outro lado, apenas o modelo de Onar, Oztaysi e Kahraman (2014) possibilita atribuir pesos distintos aos critérios.

BY-NC-SA

Os resultados deste estudo podem ser usados para auxiliar pesquisadores e gestores na escolha de um método de decisão adequado às suas necessidades. Contudo, essa comparação não é exaustiva, uma vez que há versões do método *Hesitant Fuzzy* TOPSIS que não foram testadas e que outros fatores de comparação também podem ser considerados. Nesse sentido, estudos futuros podem comparar esses métodos quanto à complexidade computacional e à adequação para incluir e excluir alternativas sem alterar a consistência do *ranking*. Também podem adaptar o procedimento de cálculo das distâncias proposto por Beg e Rashid (2013) para possibilitar a consideração de pesos aos critérios.

Referências

Asgari, M.s., Abbasi, A., & Alimohamadlou, M. (2016). Comparison of ANFIS and FAHP-FGP methods for supplier selection. ***Kybernetes***, Vol. 45 No. 3, pp. 474-489. https://doi.org/10.1108/K-09-2014-0195

Beg, I., & Rashid, T. (2013). TOPSIS for hesitant fuzzy linguistic term sets. ***International Journal of Intelligent Systems***, *28*(12), 1162-1171. https://doi.org/10.1002/int.21623

Cauchick Miguel, P. A., Fleury, A., Mello, C. H. P., Nakano, D. N., Turrioni, J. B., Ho, L. L., ... & Pureza, V. (2010). Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. *Rio de Janeiro: **Elzevir***.

Cevik Onar, S., Oztaysi, B., & Kahraman, C. (2014). Strategic decision selection using hesitant fuzzy TOPSIS and interval type-2 fuzzy AHP: a case study. ***International Journal of Computational intelligence systems***, *7*(5), 1002-1021. https://doi.org/10.1080/18756891.2014.964011

Dey, P. K., Bhattacharya, A., Ho, W., & Clegg, B. (2015). Strategic supplier performance evaluation: A case-based action research of a UK manufacturing organisation. ***International Journal of Production Economics***, *166*, 192-214. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.021

Ertuğrul, İ., & Karakaşoğlu, N. (2008). Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection. ***The International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, *39*(7), 783-795. https://doi.org/10.1007/s00170-007-1249-8

BY-NC-SA

Ha, B. C., Park, Y. K., & Cho, S. (2011). Suppliers' affective trust and trust in competency in buyers: Its effect on collaboration and logistics efficiency. ***International Journal of Operations & Production Management***, Vol. 31 No. 1, pp. 56-77. https://doi.org/10.1108/01443571111098744

Hlioui, R., Gharbi, A., & Hajji, A. (2017). Joint supplier selection, production and replenishment of an unreliable manufacturing-oriented supply chain. ***International Journal of Production Economics***, *187*, 53-67. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.02.004

Igarashi, M., de Boer, L., & Fet, A. M. (2013). What is required for greener supplier selection? A literature review and conceptual model development. ***Journal of Purchasing and Supply Management***, *19*(4), 247-263. https://doi.org/10.1016/j.pursup.2013.06.001

Liao, H., & Xu, Z. (2015). Approaches to manage hesitant fuzzy linguistic information based on the cosine distance and similarity measures for HFLTSs and their application in qualitative decision making. ***Expert Systems with Applications***, *42*(12), 5328-5336. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.02.017

Junior, F. R. L., Osiro, L., & Carpinetti, L. C. R. (2014). A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. ***Applied soft computing***, *21*, 194-209. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.03.014

Lima Junior, F. R., & Carpinetti, L. C. R. (2015). Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. ***Gestão & Produção***, *22*, 17-34. https://doi.org/10.1590/0104-530X1190

Lima-Junior, F. R., & Carpinetti, L. C. R. (2016). A multicriteria approach based on fuzzy QFD for choosing criteria for supplier selection. ***Computers & Industrial Engineering***, *101*, 269-285. https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.09.014

Liu, H., & Rodríguez, R. M. (2014). A fuzzy envelope for hesitant fuzzy linguistic term set and its application to multicriteria decision making. ***Information Sciences***, *258*, 220-238. https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.07.027

BY-NC-SA

Mahmoud, M. R., & Garcia, L. A. (2000). Comparison of different multicriteria evaluation methods for the Red Bluff diversion dam. ***Environmental Modelling & Software***, *15*(5), 471-478. https://doi.org/10.1016/S1364-8152(00)00025-6

Matawale, C. R., Datta, S., & Mahapatra, S. S. (2016). Supplier selection in agile supply chain: Application potential of FMLMCDM approach in comparison with Fuzzy-TOPSIS and Fuzzy-MOORA. ***Benchmarking: An International Journal***, Vol. 23 No. 7, pp. 2027-2060. https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2015-0067

Mosadeghi, R., Warnken, J., Tomlinson, R., & Mirfenderesk, H. (2015). Comparison of Fuzzy-AHP and AHP in a spatial multi-criteria decision making model for urban land-use planning. ***Computers, Environment and Urban Systems***, *49*, 54-65. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.10.001

Pham, V. K., Wong, W. K., Moslehpour, M., & Musyoki, D. (2018). Simultaneous Adaptation of AHP and Fuzzy AHP to Evaluate Outsourcing Service in the East and Southeast Asia. *Available at SSRN 3208130*.

Rodríguez, R. M., Martínez, L., & Herrera, F. (2013). A group decision making model dealing with comparative linguistic expressions based on hesitant fuzzy linguistic term sets. ***Information Sciences***, *241*, 28-42. https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.04.006

Sarache Castro, W. A., Castrillón Gómez, Ó. D., & Ortiz Franco, L. F. (2009). Selección de proveedores: una aproximación al estado del arte. ***Cuadernos de administración***, *22*(38), 145-168.

Senvar, O., Otay, I., & Bolturk, E. (2016). Hospital site selection via hesitant fuzzy TOPSIS. ***IFAC-PapersOnLine***, *49*(12), 1140-1145. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.656

Thrulogachantar, P., & Zailani, S. (2011). The influence of purchasing strategies on manufacturing performance: An empirical study in Malaysia. ***Journal of Manufacturing Technology Management***, Vol. 22 No. 5, pp. 641-663. https://doi.org/10.1108/17410381111134482

Torra, V. (2010). Hesitant fuzzy sets. ***International journal of intelligent systems***, *25*(6), 529-539. https://doi.org/10.1002/int.20418

BY-NC-SA

Triantaphyllou, E., & Lin, C. T. (1996). Development and evaluation of five fuzzy multiattribute decision-making methods. *international* ***Journal of Approximate reasoning***, *14*(4), 281-310. https://doi.org/10.1016/0888-613X(95)00119-2

Wu, C., & Barnes, D. (2010). Formulating partner selection criteria for agile supply chains: A Dempster–Shafer belief acceptability optimisation approach. ***International Journal of Production Economics***, *125*(2), 284-293. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.02.010

Wu, C., & Barnes, D. (2011). A literature review of decision-making models and approaches for partner selection in agile supply chains. ***Journal of Purchasing and Supply Management***, *17*(4), 256-274. https://doi.org/10.1016/j.pursup.2011.09.002

Wu, C., & Barnes, D. (2012). A dynamic feedback model for partner selection in agile supply chains. ***International Journal of Operations & Production Management***, Vol. 32 No. 1, pp. 79-103. https://doi.org/10.1108/01443571211195745

Xu, Z., & Zhang, X. (2013). Hesitant fuzzy multi-attribute decision making based on TOPSIS with incomplete weight information. ***Knowledge-Based Systems***, *52*, 53-64. https://doi.org/10.1016/j.knosys.2013.05.011

Zimmer, K., Fröhling, M., & Schultmann, F. (2016). Sustainable supplier management–a review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development. ***International journal of production research***, *54*(5), 1412-1442. https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1079340

Zolfani, S. H., & Chatterjee, P. (2019). Comparative evaluation of sustainable design based on Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) and Best Worst Method (BWM) methods: a perspective on household furnishing materials. ***Symmetry***, *11*(1), 74. https://doi.org/10.3390/sym11010074

(cc) BY-NC-SA