

UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DO MÉTODO TECHNIQUE FOR ORDER OF PREFERENCE BY SIMILARITY TO IDEAL SOLUTION (TOPSIS)

Jonathas Vinícius Gonzaga Alves Araujo (IME) jonathasvga@ime.eb.br

Carlos Francisco Simões Gomes (UFF) cfsg1@bol.com.br

Andréa Soares Bonifácio (UNIRIO) andreabonifacio@uniriotec.br

Orientador: Marcos dos Santos (IME) marcosdossantos@ime.eb.br

Resumo

O atual estudo tem por finalidade apresentar uma revisão bibliográfica acerca do método Multicritério de Apoio à Tomada de Decisão TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution). O trabalho se desenvolve expondo alguns Métodos de Decisão Multicritério, com ênfase no método TOPSIS e suas demais variações, bem como a estrutura lógica matemática do método. Na finalização do estudo, é retratada uma análise bibliométrica do método apontando o progresso deste em relação à quantidade de publicações, estudos, principais áreas científicas e instituições que se destacam por abordar pesquisas em torno da temática apresentada.

Palavras-Chaves: TOPSIS, Apoio Multicritério à Decisão, Métodos de Análise de Decisão.

1. Introdução

Os métodos multicritérios (*Multiple Criteria Decision Method* – MCDM, ou Apoio Multicritério à Decisão - AMD), segundo Gomes et al. (2013), dispõem de determinadas especificidades que colocam o encarregado da tomada de decisão num novo debate, e, este, por sua vez, envolve a escolha da alternativa mais adequada para cada situação.

O presente estudo busca se aprofundar e explorar o método TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) que possibilita adesão de uma quantia não limitada de critérios para analisar uma quantia não limitada de alternativas (LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2015).

Conforme essa técnica expõe, a melhor alternativa seria aquela que mais se aproxima da solução ideal positiva e mais se afasta da solução ideal negativa (KROHLING; PACHECO, 2015). Ou seja, a solução ideal positiva é uma solução que potencializa os critérios de benefício e diminui os critérios de custo, ao contrário da solução ideal negativa, que é aquela que maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de benefício (KROHLING; SOUZA, 2011).

Em termos práticos, este estudo segue o modelo de revisão da literatura, sendo realizado levantamento bibliográfico utilizando periódicos e livros referentes à análise multicritério, com ênfase nos métodos de apoio à decisão pertencentes ao método TOPSIS.

O estudo tem finalidade de evidenciar modelos que integram o método, novas abordagens e técnicas e suas respectivas aplicações e demarcações.

Além disso, trata-se também de uma pesquisa exploratória, na qual tem-se o objetivo de buscar e reunir informações acerca do assunto proposto, propiciando maior familiaridade com a temática.

2. Funcionalidade do Método TOPSIS

O algoritmo TOPSIS (do inglês: *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) foi desenvolvido por Hwang e Yoon (1981) sendo uma técnica bastante conhecida e utilizada para avaliar performance das alternativas através da similaridade da mesma com a solução ideal (HWANG; YOON, 1981).

Conforme Shih et al. (2007) relatam, o TOPSIS possui quatro vantagens:

- lógica que representa o fundamento da escolha humana;
- valor escalar que representa as melhores e piores alternativas simultaneamente;
- processo de computação simplificado podendo ser programado em uma planilha de forma fácil;
- medidas de desempenho de todas as alternativas de critérios podem ser visualizadas em um poliedro, pelo menos para quaisquer duas dimensões.

Com isso, conforme essa técnica propõe, dentre as alternativas, a melhor é a que está mais perto da solução ideal positiva (PIS) e mais longe da não ideal ou ideal negativa (NIS) (KROHLING; SOUZA, 2011).

Sendo assim, a solução ideal é constituída tomando-se os melhores valores obtidos pelas alternativas durante a análise em relação a cada critério de decisão, ao passo que a solução ideal negativa é obtida de modo semelhante, tomando-se os piores valores (LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2015).

Segundo Krohling e Souza (2011), a solução ideal positiva é aquela que potencializa os critérios proveitosos e diminui os critérios de custo, ou seja, é aquela constituída dos melhores valores

alcançáveis dos critérios de benefício. Em contrapartida, a solução ideal negativa maximiza os critérios de custo e diminui os critérios de benefício, isto é, resume-se nos piores valores alcançáveis dos critérios de custo (KROHLING; SOUZA, 2011).

Para a aplicação do método, são utilizados 6 passos: a construção da matriz de decisão, o cálculo da matriz normalizada, o cálculo da matriz com os pesos, a identificação da PIS e da NIS, o cálculo das distâncias entre a situação ideal positiva e cada alternativa (D+) e situação ideal negativa e cada alternativa (D-) e o cálculo da similaridade para a posição ideal positiva.

A aplicabilidade do método TOPSIS é detalhada em passos subsequentes que estão detalhados a seguir:

1º Passo - Construção da matriz de decisão: Se dá com a construção de uma matriz de decisão $m \times n$, sendo “m” as alternativas e “n” os critérios de avaliação;

$$M = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_j & \dots & C_m \\ A_1 & m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1j} & \dots & m_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ A_i & m_{i1} & m_{i2} & \dots & m_{ij} & \dots & m_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ A_n & m_{n1} & m_{n2} & \dots & m_{nj} & \dots & m_{nm} \end{matrix}$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_m]$$

2º Passo - Cálculo da matriz normalizada: De acordo com Gomes e Gomes (2014) a normalização da matriz de decisão é realizada de várias maneiras. Normalmente o método TOPSIS utiliza a normalização linear, conforme a fórmula abaixo:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

O objetivo da normalização é tornar valores de mesma dimensão, adimensionais.

3º Passo - Cálculo da matriz com os pesos: Realiza-se a multiplicação da matriz normalizada pelos pesos dos critérios correspondentes. Obtêm-se a determinação dos pesos através da compreensão de valor do decisor ou de um grupo de decisores. Hwang e Yoon (1981) utilizam para a aquisição dos pesos a aplicação de pesos lineares;

$$r_{ij} = w_j n_{ij} \quad i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$$

Sendo w_j o peso do atributo ou critério tal que:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

4º Passo - Identificação da solução ideal (PIS) e da solução não-ideal (NIS): Nesta fase, designa-se os melhores níveis, que caracterizam a solução ideal (S^+) para cada um dos critérios considerados. Opera-se da mesma forma em relação aos piores níveis, que correspondem a solução não-ideal, (S^-). São empregadas as equações destacadas abaixo:

$$S^+ = \{(max v_{ij} | j \in J), (min v_{ij} | j \in J')\}$$

$$S^- = \{(min v_{ij} | j \in J), (max v_{ij} | j \in J')\}$$

5º Passo - Cálculo das distâncias entre a situação ideal positiva e cada alternativa (D^+) e situação ideal negativa e cada alternativa (D^-): Determina-se a medida de separação para cada alternativa em referência à solução ideal e não-ideal. Decorrente da fórmula abaixo, calcula-se as distâncias euclidianas entre cada alternativa e sua solução ideal positiva (D^+) e sua solução não-ideal (D^-).

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n [v_{ij}(x) - v_j^+(x)]^2}$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n [v_{ij}(x) - v_j^-(x)]^2}$$

6º Passo - Cálculo da similaridade para a posição ideal positiva: Em síntese, alcança-se o coeficiente C ou resposta da aproximação da situação ideal (C) e a definição da ordenação das alternativas, por meio da equação:

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$$

A classificação das alternativas ocorre de forma decrescente em conformidade com os valores do coeficiente de aproximação, estabelecidos no intervalo [0,0; 1,0]. As opções mais satisfatórias são aquelas que apresentam o desempenho geral mais próximo de 1,0.

Outras variações do método TOPSIS podem ser encontradas na literatura, como: AHP-TOPSIS-2n; TOPSIS-2NE; ANP-TOPSIS; HESITANT-FUZZY-TOPSIS; INTUITIONISTIC-FUZZY-TOPSIS (IF-TOPSIS); TOPSIS-M; TOPSIS-MACBETH-2N.

2.1 FUZZY – TOPSIS

A variação do método TOPSIS num ambiente *fuzzy* é capaz de lidar com avaliações tanto quantitativas, quanto critérios qualitativos e selecionar a melhor alternativa de maneira eficiente (CHEN; LIN; HUANG, 2006).

Segundo Chen et al. (2006), o método *Fuzzy-TOPSIS* é um método flexível. Conforme o grau de proximidade, é possível definir não somente a ordem de classificação como também o status de avaliação das alternativas possíveis (CHEN; LIN; HUANG, 2006), demandando, assim, informações prévias a respeito da importância relativa dos critérios (BÜYÜKÖZKAN; ÇİFÇİ, 2012).

Segundo Yong (2006), neste método, as avaliações de cada alternativa e os pesos de cada critério podem ser retratados como números *fuzzy* triangulares. Os resultados da multiplicação da classificação e do peso podem ser calculados como números nítidos pela representação normalizada da operação de multiplicação em números *fuzzy* triangulares. Então, a “solução ideal-positiva *fuzzy*” e a “solução ideal-negativa *fuzzy*” podem ser determinadas facilmente sem classificar os números *fuzzy*. Além disso, a distância da solução ideal e a solução ideal negativa podem ser calculadas facilmente, o que torna a proposta método mais eficiente do que os métodos existentes.

Neste método *Fuzzy-TOPSIS*, os escores das alternativas e o peso dos critérios de decisão são determinados como variáveis linguísticas (LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2015).

Dessa forma, é preciso definir um grupo de termos linguísticos para verificar os valores de modo apropriado (ZADEH, 1973). Por exemplo, a variável que representa o valor da correlação entre dois critérios pode ser mensurada através de termos linguísticos como “ruim”, “bom” e “ótimo”.

2.2 AHP – TOPSIS

Segundo De Souza et al. (2018), a combinação AHP – TOPSIS transforma o processo irrefutavelmente correto e tem a concepção de combinação em um critério em síntese.

Ainda segundo os autores, a proposta da junção desses métodos para o modelo de tomada de decisão foi observada e cumprida com significativa representatividade da cultura da organização para o problema em questão.

O método foi, então, constituído por AHP para estabelecer pesos dos critérios de avaliação com uma nova versão da técnica TOPSIS para avaliar a performance do projeto de acordo com os critérios estabelecidos e para ranquear as alternativas (DE SOUZA; GOMES; DE BARROS 2018).

2.3 AHP-TOPSIS-2N

Este método consiste em um método híbrido que é composto por duas técnicas de tomada de decisão multicritério frequentemente empregadas em cenários complexos, que, por sua vez, se caracterizam pela existência de diversificados e conflitantes objetivos (COLOMBO; SANTOS; GOMES, 2019).

Costa et al. (2020) utilizaram o método AHP-TOPSIS-2N como uma estratégia de seleção para um helicóptero de ataque para o Corpo de Fuzileiros Navais (CFN).

De acordo com De Souza et al., (2018), o presente método se diferencia do anterior por executar dois procedimentos de normalização no decorrer de sua realização. A matriz de decisão contém dados de diferentes fontes, contudo mesmo sendo de escalas diferentes, frequentemente deve ser normalizado para ser transformado em uma matriz adimensional, que possibilita a comparação com vários parâmetros existentes.

2.4 TOPSIS-2NE

O método TOPSIS-2NE (*TOPSIS-TWICE Normalized Elliptical*) além de realizar duas normalizações assim como o método abordado anteriormente, o TOPSIS - 2N, o método irá diferenciar-se em virtude do uso da distância elíptica e não mais da distância euclidiana. Nesse caso, o TOPSIS duas vezes normalizado é calculado pelo comprimento da elipse pois havia a necessidade de verificar uma distância sem o pressuposto básico de saber o caminho onde o “pulso” pode ir. (SILVA et al., 2020).

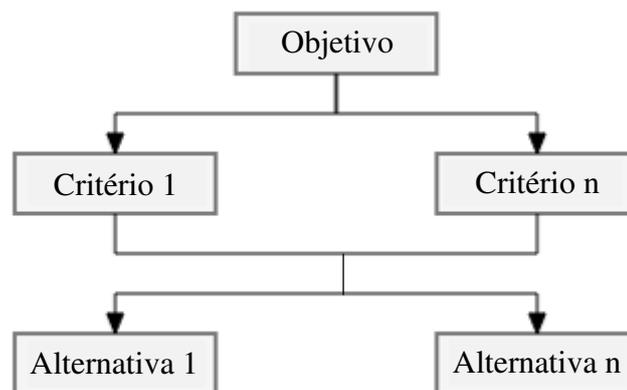
Segundo SILVA et al., (2020), tais distâncias são capazes de seguir por um caminho positivo ou negativo e, dessa forma, o TOPSIS-2NE, com base nesse trabalho realizado conclui-se que o método TOPSIS-2N obteve distâncias mais dispersas e vagas para a classificação de alternativas compensatórias quando comparado ao TOPSIS-2NE.

2.5 ANP-TOPSIS

O Processo de Rede Analítica (ANP) deriva-se do processo de hierarquia analítica (AHP). Enquanto o AHP organiza o problema como hierarquias, o ANP o faz como uma rede. No AHP, os critérios não estão embasados em alternativas, os critérios não acometem cada outro, assim como as alternativas não dependem umas das outras.

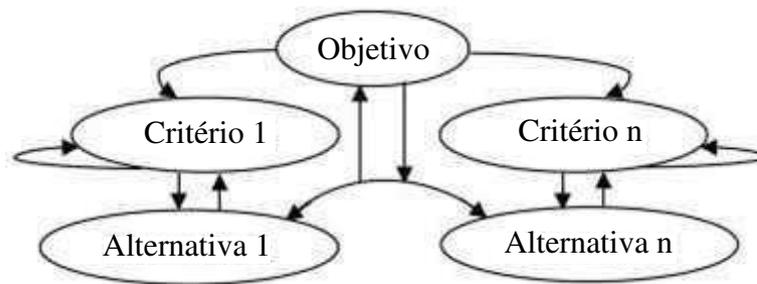
Não obstante, as dependências entre os elementos de tomada de decisão são consentidas, de acordo com ABDEL-BASSET (2018), no processo de rede analítica. As distinções entre a ANP e AHP são demonstradas por meio de gráficos estruturais nas Figuras 1 e 2. Observa-se que a Figura 1 revela a hierarquia de AHP, onde os elementos do nível inferior apresentam interferência no nível superior ou, em outros termos, o nível superior depende do nível inferior.

Pode-se observar, na Figura 2, que exibe o modelo de rede da ANP, uma rede de *cluster* (grupo), onde há algumas dependências entre eles. Quando o *cluster* sofre auto intervenção está enquadrado como dependência interna, no entanto quando o *cluster* depende de outro *cluster*, o tipo de dependência é externo. Uma desvantagem do uso do método AHP é não atribuir relevância aos elementos do problema, sendo assim o método ANP é mais adequado por gerar decisões mais assertivas.



A hierarquia AHP

Figura 1- Gráfico estrutural do AHP.
Fonte: Autores (2020).



A rede ANP

Figura 2- Gráfico estrutural do ANP.

Fonte: Autores (2020).

ABDEL-BASSET (2018) sugerem para a obtenção de mais precisão, um framework que se constitui de quatro etapas, onde estão integrados o ANP com o TOPSIS empregando o valor de intervalos de números neutrosóficos. A utilização da ANP é favorável na ponderação de critérios e subcritérios do problema em virtude de ser capaz de ponderar as interdependências entre os elementos do problema. O TOPSIS é designado para classificar fornecedores disponíveis e impedir comparações suplementares do processo analítico da rede. O método proposto emprega um procedimento onde a confiança e a facilidade são garantidas podendo ser implementado em diversas áreas cotidianas.

2.6 HESITANT-FUZZY-TOPSIS

A alteração do método TOPSIS apresentada oferece solução que envolvem a tomada de decisão mediante a opinião de especialistas e de múltiplos critérios com *Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets* (HFLTS). A ideia central do método, conforme Beg e Rashid (2013), é fundamentada em soluções ideais positivas e negativas.

O método exposto utiliza 6 passos para a sua aplicação que serão descritos a seguir:

1º Passo: Sendo $\tilde{X}^l = [H_{S_{ij}}^l]_{m \times n}$ uma matriz de decisão difusa para o problema MCDM, usa-

se os seguintes registros para representar os problemas apontados: $E = \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$

representa o conjunto dos decisores ou de especialistas envolvidos na parte decisória.

Da seguinte forma,

$A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ representa o conjunto das alternativas vistas;

$C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ representa o conjunto dos critérios que baseiam a avaliação das alternativas.

A performance da alternativa A com relação a um decisor e_l e critério C_j é indicado por $H_{S_{ij}}^l$ em um meio de decisão de grupo com K indivíduos.

2º Passo: Obtém-se uma matriz de decisão X complementando os pareceres dos decisores $(\tilde{X}^1, \tilde{X}^2, \dots, \tilde{X}^K)$:

$X = [X_{ij}]$, onde $X_{ij} = [S_{Pij}, S_{qij}]$, onde:

$$S_{Pij} = \min \left\{ \min_{l=1}^K \left(\max H_{S_{ij}}^l \right), \max_{l=1}^K \left(\min H_{S_{ij}}^l \right) \right\}$$

e

$$S_{qij} = \max \left\{ \min_{l=1}^K \left(\max H_{S_{ij}}^l \right), \max_{l=1}^K \left(\min H_{S_{ij}}^l \right) \right\}$$

A performance da alternativa A_i em referência ao critério C_j é determinado como X_{ij} , em uma matriz associada X .

3º Passo: Sendo Ω_b um conjunto de critérios de vantagens (quer dizer, quanto maior C_j , maior a preferência) e Ω_c um conjunto de critérios de custo (em outras palavras, quanto menor for C_j , maior a preferência). A solução ideal positiva HFLTS (HFLTS-PIS) descrita como $\tilde{A}^+ = (\tilde{V}_1^+, \tilde{V}_2^+, \dots, \tilde{V}_n^+)$ e a solução ideal negativa HFLTS (HFLTS-NIS) representada como $\tilde{A}^- = (\tilde{V}_1^-, \tilde{V}_2^-, \dots, \tilde{V}_n^-)$ são demonstrados a seguir:

$$\tilde{A}^+ = \left[\left(\left(\max_{l=1}^K \left(\max_i H_{S_{ij}}^l \right) \right) | j \in \Omega_b, \left(\min_{l=1}^k \left(\min_i H_{S_{ij}}^l \right) \right) | j \in \Omega_c \right), \right. \\ \left. \left(\left(\max_{l=1}^K \left(\max_i H_{S_{ij}}^l \right) \right) | j \in \Omega_b, \left(\min_{l=1}^K \left(\min_i H_{S_{ij}}^l \right) \right) | j \in \Omega_c \right) \right]$$

$i = 1, 2, \dots, m$,

$$\tilde{A}^+ = (\tilde{V}_1^+, \tilde{V}_2^+, \dots, \tilde{V}_n^+),$$

onde $\tilde{V}_j^+ = [v_{p_j}, v_{q_j}] (j = 1, 2, \dots, n)$.

$$\tilde{A}^- = \left[\left(\left(\min_{l=1}^K \left(\min_i H_{S_{ij}}^l \right) \right) \mid j \in \Omega_b, \left(\max_{l=1}^k \left(\max_i H_{S_{ij}}^l \right) \right) \mid j \in \Omega_c \right) \right]$$

$$\left[\left(\left(\min_{l=1}^K \left(\min_i H_{S_{ij}}^l \right) \right) \mid j \in \Omega_b, \left(\max_{l=1}^K \left(\max_i H_{S_{ij}}^l \right) \right) \mid j \in \Omega_c \right) \right]$$

$i = 1, 2, \dots, m,$

$$\tilde{A}^- = (\tilde{V}_1^-, \tilde{V}_2^-, \dots, \tilde{V}_n^-)$$

onde $\tilde{V}_j^- = [v_{p_j}^-, v_{q_j}^-] (j = 1, 2, \dots, n)$.

4º Passo: Elaboração da matriz de separação ideal positiva (D^+) e matriz de separação ideal negativa (D^-) definidas a seguir:

$$D^+ = \begin{bmatrix} d(x_{11}, \tilde{V}_1^+) + d(x_{12}, \tilde{V}_2^+) + \dots + d(x_{1n}, \tilde{V}_n^+) \\ d(x_{21}, \tilde{V}_1^+) + d(x_{22}, \tilde{V}_2^+) + \dots + d(x_{2n}, \tilde{V}_n^+) \\ \vdots \\ d(x_{m1}, \tilde{V}_1^+) + d(x_{m2}, \tilde{V}_2^+) + \dots + d(x_{mn}, \tilde{V}_n^+) \end{bmatrix}$$

e

$$D^- = \begin{bmatrix} d(x_{11}, \tilde{V}_1^-) + d(x_{12}, \tilde{V}_2^-) + \dots + d(x_{1n}, \tilde{V}_n^-) \\ d(x_{21}, \tilde{V}_1^-) + d(x_{22}, \tilde{V}_2^-) + \dots + d(x_{2n}, \tilde{V}_n^-) \\ \vdots \\ d(x_{m1}, \tilde{V}_1^-) + d(x_{m2}, \tilde{V}_2^-) + \dots + d(x_{mn}, \tilde{V}_n^-) \end{bmatrix}$$

5º Passo: Cálculo do coeficiente de proximidade relativa (RC) para a solução ideal de cada alternativa:

$$RC(A_i) = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, i = 1, 2, \dots, m,$$

onde

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n d(x_{ij}, \tilde{V}_j^-) \text{ e } D_i^+ = \sum_{j=1}^n d(x_{ij}, \tilde{V}_j^+)$$

6º Passo: Classificar as alternativas $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$ com base no coeficiente de proximidade $RC(A_i)$, onde quanto maior o valor de $RC(A_i)$, mais satisfatória será a alternativa A_i .

2.7 INTUITIONISTIC-FUZZY-TOPSIS (IF-TOPSIS)

O foco dessa variação, segundo Zhang *et al.* (2020), inicia-se através dos critérios identificados de avaliação e alternativas por meio do ponto de vista de especialistas onde se faz necessário uma pesquisa minuciosa da literatura para reunir informações. Posteriormente, a decisão do grupo resulta de um comitê especializado. Pesos diferentes podem ser atribuídos para cada decisor dependendo das competências do referido grupo. É selecionada posteriormente, uma escala comparativa para considerar o conjunto de critérios e as alternativas de taxa.

Avançando, chega-se em uma etapa onde uma matriz de decisão fuzzy intuicionista é desenvolvida a partir da avaliação de decisores. Subsequentemente, determina-se através da avaliação de decisores os pesos dos critérios. Conclui-se tal sistema considerando o processo seletivo como cerne desta variação.

2.8 TOPSIS-M

A extensão do método em questão atribui maior importância em cumprir as solicitações do usuário (CATTONI *et al.*, 2019). Nesta extensão, os valores escolhidos para cada critério são indicados pelo usuário. Realiza-se o método TOPSIS de modo normal, contudo emprega-se ao valor do critério da alternativa um valor base de 70%, propondo alcançar ou não o valor solicitado pelo usuário. Por consequência, representam menos no ranking total das alternativas os valores que ultrapassarem o valor solicitado.

O TOPSIS-M calcula um valor de *matching* M_i para cada alternativa utilizando a fórmula:

$$M_i = \sum_{j=1}^n \left(\frac{0.7}{n} \right) x m_{ij},$$

Onde $x m_{ij}$ é 1 se o valor de critério x_{ij} responde ao valor solicitado, e 0 se não responde.

Embasado em tais valores, o cálculo da proximidade relativa da solução ideal sofre a seguinte mudança:

$$C_{i*} = 0.3 \left(\frac{S_{i-}}{S_{i*} + S_{i-}} \right) + M_i$$

Assim sendo, 70% do valor final será composto pelos valores do *matching*, e os 30% restantes serão compostos por M_i e os valores normais do TOPSIS.

2.9 TOPSIS-MACBETH-2N

Emprega-se o método MACBETH no tratamento de dados qualitativos. Posteriormente, o método TOPSIS opera critérios para que as alternativas sejam ordenadas, integrando os dados qualitativos tratados pelo método MACBETH.

Ambos os métodos normalizam de formas distintas. A associação destes referidos métodos agrega suas matrizes de normalização, consentindo desta forma em uma análise de sensibilidade dos resultados mais apurada.

3. Revisão Bibliométrica

Na sequência deste estudo foi realizada uma pesquisa bibliométrica originada na base de dados SCOPUS. Tal pesquisa visa lograr dados relativos ao método TOPSIS, relacionados ao seu crescimento, campos predominantes de aplicação e regiões dominantes em que o método é empregado.

A pesquisa originou-se através dos seguintes passos:

- Pesquisa de documentos na base de dados Scopus sobre o método TOPSIS, mediante a introdução ao portal da Capes (www.capes.gov.br), em agosto de 2020. Para obtenção dos resultados foi utilizada uma tática mais abrangente, gerando uma ampla análise utilizando o filtro abaixo:

TITLE-ABS-KEY (“TOPSIS”) AND (LIMIT-TO (ACCESSTYPE(OA)));

- Escolha dos dados concentrada exclusivamente no método TOPSIS;
- Uma revisão bibliométrica que compreende todo e qualquer estudo que referencie o método TOPSIS em sua amplitude geral. Onde pode ser contemplado o tipo de documento, idioma, autores dos trabalhos, rede de autores, ano da publicação dos trabalhos, grupos de palavras-chave, universidades, países e área de conhecimento. Para a definição da rede de autores e dos grupos de palavras foram desenvolvidos mapas originados do software VOSviewer;

- Através dos documentos encontrados no portal da Capes, realizou-se a revisão da literatura.

A pesquisa encontrou 9216 documentos na base de dados Scopus.

Dentre eles, foram escolhidos 1789 documentos com livre acesso para a pesquisa. Baseado em um critério onde foram considerados os artigos mais citados para o estudo bibliométrico, selecionou-se os documentos a seguir:

TABELA 1- Documentos para o estudo bibliométrico

Título	Autores	Ano	Tipo de Documento
An extension of TOPSIS for group decision making	Shih, H.-S., Shyur, H.-J., Lee, E.S	2007	Artigo
Evaluation of classification algorithms using MCDM and rank correlation	Kou, G., Lu, Y., Peng, Y., Shi, Y	2012	Artigo
Comparison of weights in TOPSIS models	Olson, D.L.	2004	Artigo
Development and evaluation of five fuzzy multiattribute decision-making methods	Triantaphyllou, E., Chi-Tun, L.	1996	Artigo
Combining grey relation and TOPSIS concepts for selecting an expatriate host country	Chen, M.-F., Tzeng, G.-H.	2004	Artigo
A hybrid MCDM model for strategic vendor selection	Shyur, H.-J., Shih, H.-S	2006	Artigo
Generalizing TOPSIS for fuzzy multiple-criteria group decision-making	Wang, Y.-J., Lee, H.-S.	2007	Artigo

Risk assessment of construction projects	Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Tamošaitiene, J.	2010	Artigo
Extension of VIKOR method for decision making problem based on hesitant fuzzy set	Zhang, N., Wei, G	2013	Artigo
Extension of the TOPSIS method for decision making problems under interval-valued intuitionistic	Park, J.H., Park, I.Y., Kwun, Y.C., Tan, X.	2011	Artigo
A method for group decision-making based on determining weights of decision makers using TOPSIS	Yue, Z	2011	Artigo
The method of grey related analysis to multiple attribute decision making problems with interval numbers	Zhang, J., Wu, D., Olson, D.L.	2005	Artigo
A multi-criteria decision-making approach for location planning for urban distribution centers under	Awasthi, A., Chauhan, S.S., Goyal, S.K.	2011	Artigo
On rank reversal and TOPSIS method	García-Cascales, M.S., Lamata, M.T.	2012	Artigo
Group decision-making based on concepts of ideal and anti-ideal points in a fuzzy environment	Kuo, M.-S., Tzeng, G.-H., Huang, W.-C.	2007	Artigo
On rank reversal in decision analysis	Wang, Y.-M., Luo, Y.	2009	Artigo
Multiple criteria assessments of alternatives for built and human environment renovation	Tupenaite, L., Zavadskas, E.K., Kaklauskas, A., Turskis, Z., Seniut, M.	2010	Artigo
Group decision making based on novel fuzzy modified TOPSIS method	Vahdani, B., Mousavi, S.M., Tavakkoli- Moghaddam, R	2011	Artigo

Sustainable and renewable Energy: An overview of the application of multiple criteria decision making	Mardani, A., Jusoh, A., Zavadskas, E.K., Cavallaro, F., Khalifah, Z	2015	Revisão
Approach to group decision making based on determining the weights of experts by using projection method	Yue, Z.	2012	Artigo
Extension of TOPSIS for decision-making problems with interval data: Interval efficiency	Jahanshahloo, G.R., Hosseinzadeh Lotfi, F., Davoodi, A.R.	2009	Artigo
A hybrid approach integrating Affinity Diagram, AHP and fuzzy TOPSIS for sustainable city logistics planning	Awasthi, A., Chauhan, S.S.	2012	Artigo
Application of the entropy weight and TOPSIS method in safety evaluation of coal mines	Li, X., Wang, K., Liuz, L., Xin, J., Yang, H., Gao, C.	2011	Artigo de Congresso
Contractor selection for construction works by applying saw-g and topsis grey techniques	Zavadskas, E.K., Vilutiene, T., Turskis, Z., Tamosaitiene, J.	2010	Artigo
A new design of the elimination and choice translating reality method for multi-criteria group decision-making in an intuitionistic fuzzy environment	Vahdani, B., Mousavi, S.M., Tavakkoli- Moghaddam, R., Hashemi, H.	2013	Artigo

TABELA 2- Distribuição de artigos por periódicos

Artigo	Periódico
An extension of TOPSIS for group decision making	Mathematical and Computer Modelling
Comparison of weights in TOPSIS models	
Combining grey relation and TOPSIS concepts for selecting an expatriate host country	
A hybrid MCDM model for strategic vendor selection	
The method of grey related analysis to multiple attribute decision making problems with interval numbers	
A multi-criteria decision-making approach for location planning for urban distribution centers under	
On rank reversal and TOPSIS method	
Group decision-making based on concepts of ideal and anti-ideal points in a fuzzy environment	
On rank reversal in decision analysis	

Extension of TOPSIS for decision-making problems with interval data: Interval efficiency	
Extension of VIKOR method for decision making problem based on hesitant fuzzy set	Applied Mathematical Modelling
Extension of the TOPSIS method for decision making problems under interval-valued intuitionistic	
A method for group decision-making based on determining weights of decision makers using TOPSIS	
Group decision making based on novel fuzzy modified TOPSIS method	
Approach to group decision making based on determining the weights of experts by using projection method	
A hybrid approach integrating Affinity Diagram, AHP and fuzzy TOPSIS for sustainable city logistics planning	
A new design of the elimination and choice translating reality method for multi-criteria group decision-making in an intuitionistic fuzzy environment	
Risk assessment of construction projects	
Multiple criteria assessments of alternatives for built and human environment renovation	Journal of Civil Engineering and Management
Evaluation of classification algorithms using MCDM and rank correlation	International Journal of Information Technology and Decision Making
Development and evaluation of five fuzzy multiattribute decision-making methods	International Journal of Approximate Reasoning
Generalizing TOPSIS for fuzzy multiple-criteria group decision-making	Computers and Mathematics with Applications
Sustainable and renewable Energy: An overview of the application of multiple criteria decision making	Sustainability (Switzerland)
Application of the entropy weight and TOPSIS method in safety evaluation of coal mines	Procedia Engineering
Contractor selection for construction works by applying saw-g and topsis grey techniques	Journal of Business Economics and Management

Com a tabela 2, foi possível constatar que periódicos distintos publicaram sobre o assunto. Os artigos que se correlacionam com o tema proposto, fundamentam-se em pesquisas iniciadas desde 1981. A partir de tal ano, o método e sua funcionalidade são apresentados em âmbito acadêmico.

Como disposto na Figura 3, os estudos do método avançaram, revelando, entre os anos de 2016 e 2020, o pico das publicações sobre o tema.

Documentos por Ano

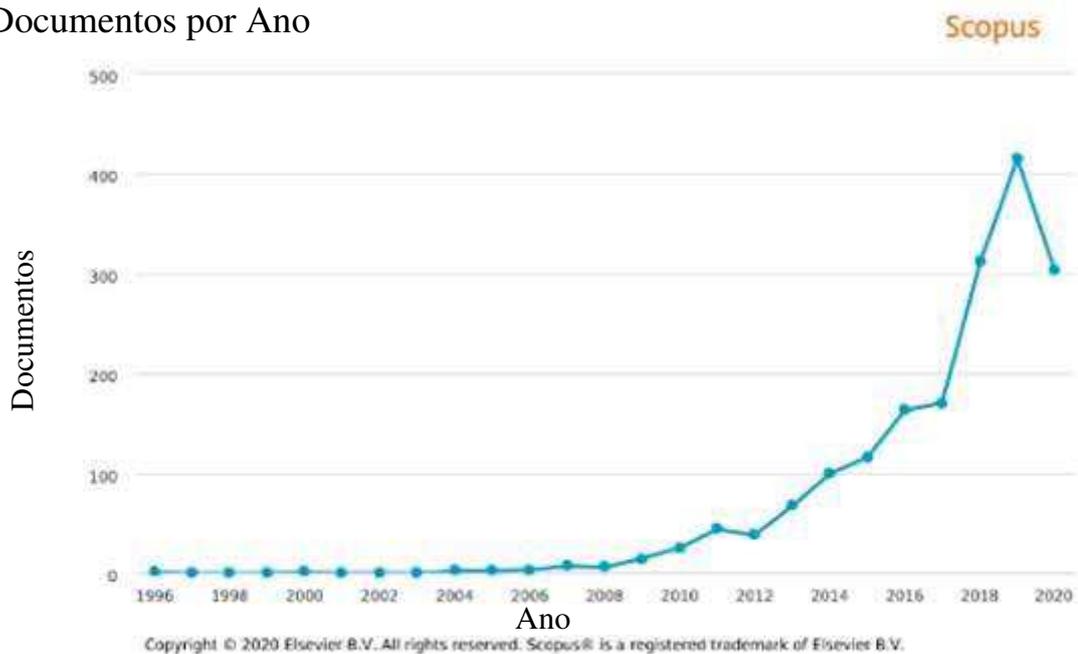


Figura 3- Documentos por ano.
Fonte: Scopus (2020).

Tendo em vista os autores que abordam o tema estudado, pode-se comparar mediante a Figura 4, aqueles que mais publicaram sobre o método Topsis, de acordo com a base de dados Scopus, e o número de documentos publicados por cada um deles.

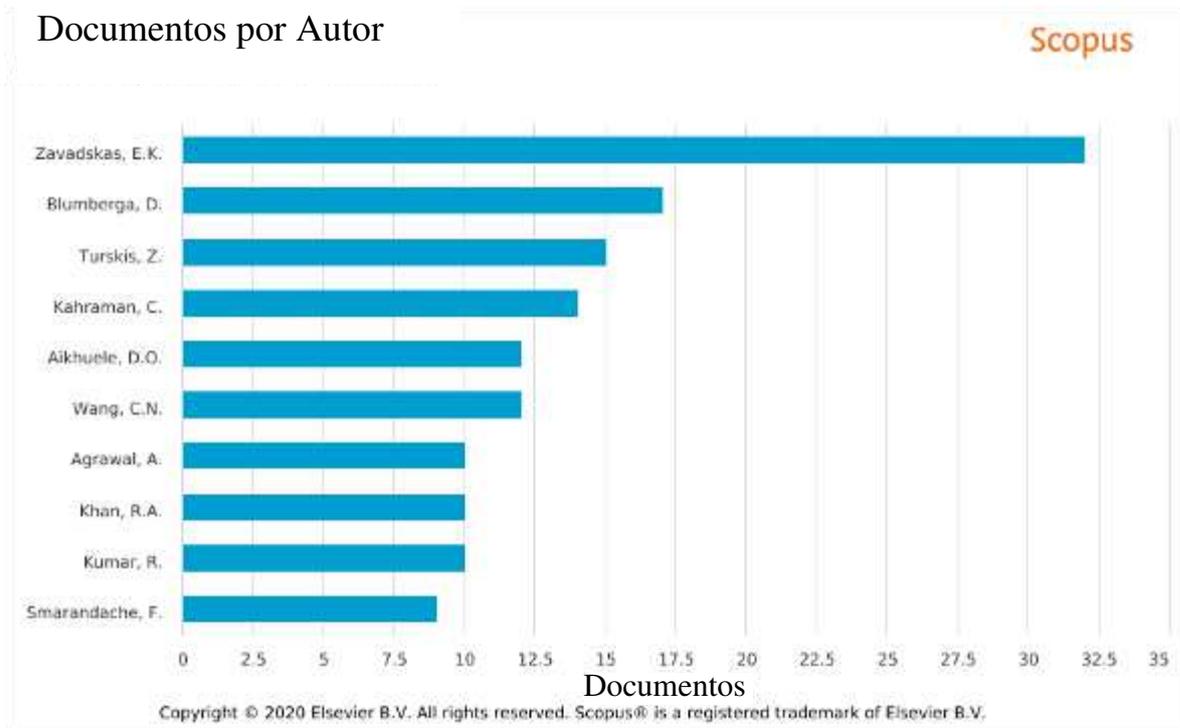


Figura 4- Quantidade de publicações por autor.
Fonte: Scopus (2020).

Através dos resultados obtidos com a base de dados Scopus, foi utilizado o software VOSviewer para calcular a intensidade das ligações de coautoria com demais autores, selecionando aqueles que apresentam o maior grau de ligação. O software aponta as correlações mais frequentes que podem ser analisadas na Figura 5.

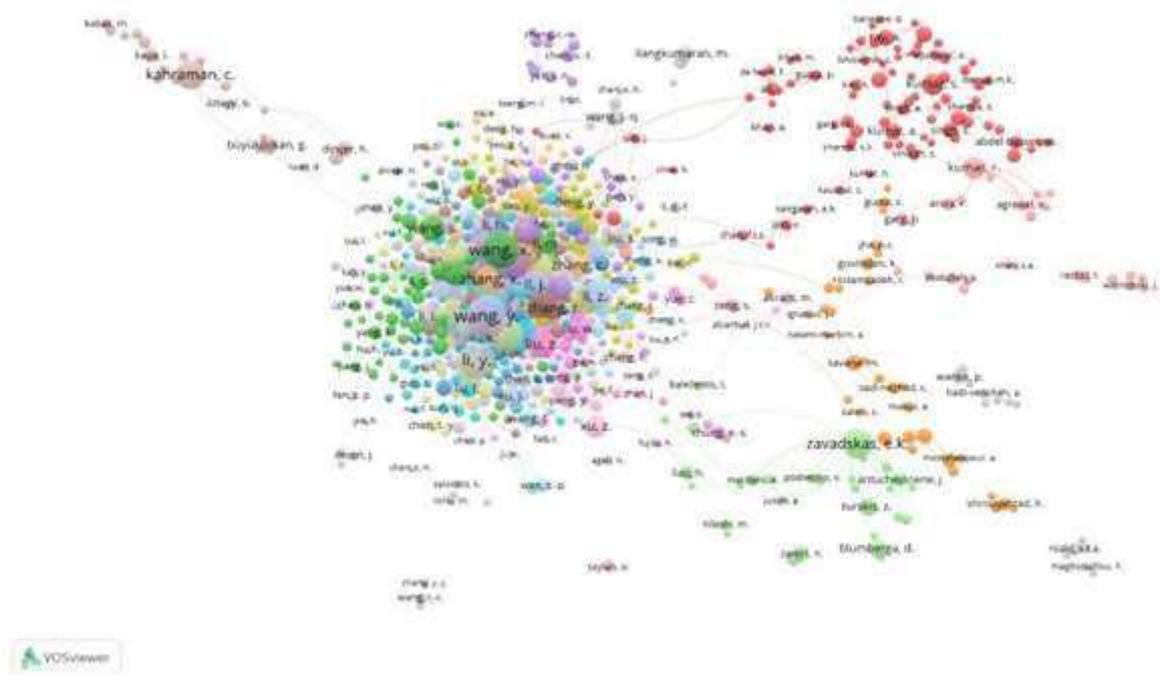


Figura 5- Rede de autores do método TOPSIS gerada pelo software VOSviewer.
Fonte: Autores (2020).

Conforme ilustra a Figura 6, é obtido um diagnóstico no que se refere ao volume de artigos produzidos pelas Universidades, revelando as Universidades que mais publicam sobre o tema.

A figura 8, revela a quantidade de estudos publicados divididos por território.

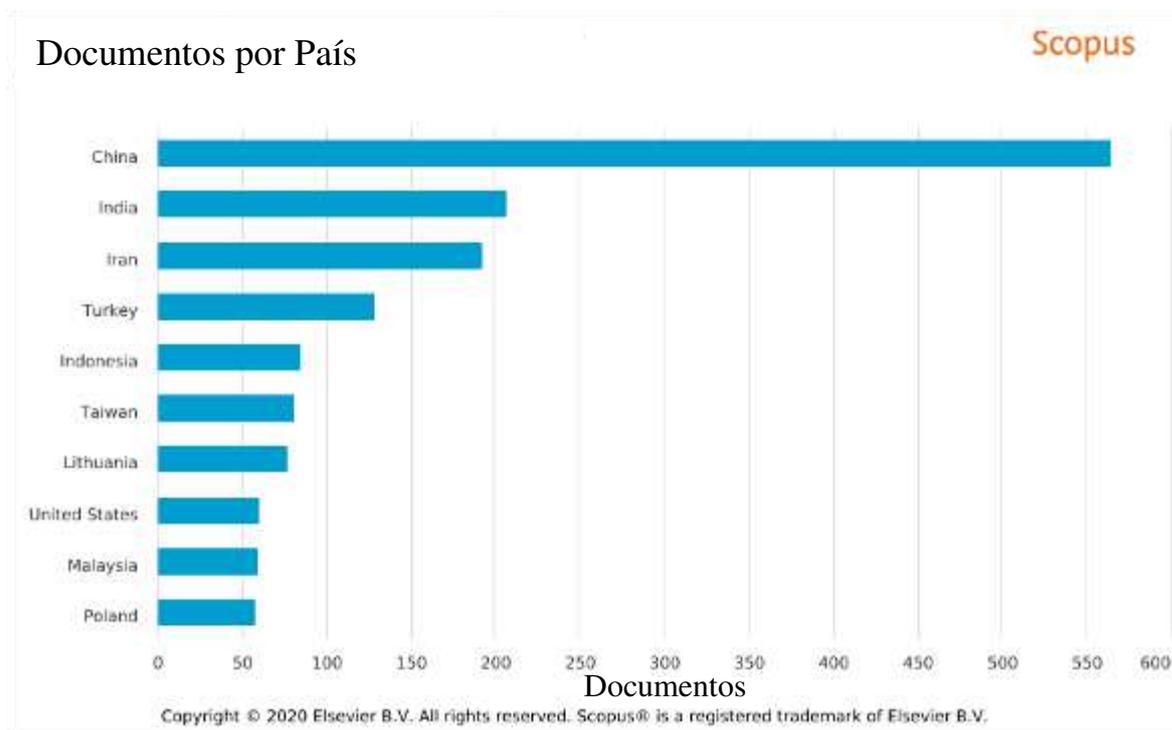


Figura 8- Quantidade de publicações por país
Fonte: Scopus (2020).

Em sequência, pode-se observar na Figura 9 a relação entre as diversas áreas de pesquisa e volume de publicação, onde revela-se uma presença mais expressiva nas áreas de Engenharia, Ciência da Computação, Matemática e Ciência Ambiental.



Figura 9- Publicações por área de estudo.
Fonte: Scopus (2020).

REFERÊNCIAS

- ABDEL-BASSET, Mohamed; MOHAMED, M. S. F. (2018). A hybrid neutrosophic group anp-topsis framework for supplier selection problems. *Symmetry*, 10(6):226.
- BEG, Ismat; RASHID, T. (2013). TOPSIS for hesitant fuzzy linguistic term sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 28(12):1162–1171.
- BÜYÜKÖZKAN, G., & ÇİFÇİ, G. A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications*, 39 (3), 3000–3011. 2012.
- CATTONI ELIAS, Filipe ; FIORESE, Adriano. TOPSIS-M: Uma proposta de extensão ao método TOPSIS visando priorizar o cumprimento de requisições do usuário. In: ESCOLA REGIONAL DE ALTO DESEMPENHO DA REGIÃO SUL (ERAD-RS), 19. , 2019, Três de Maio. **Anais da XIX Escola Regional de Alto Desempenho da Região Sul**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, aug. 2019
- CHEN, C.-T., LIN, C.-T., & HUANG, S.-F. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102 (2), 289–301. 2006.
- COLOMBO, Danilo; SANTOS, Marcos dos; GOMES, Carlos Francisco Simões. Seleção da melhor configuração de poço de petróleo para o desenvolvimento de um campo: utilizando uma ferramenta de apoio multicritério. In: **Anais do XIX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha**. Rio de Janeiro: Centro de Análises de Sistemas Navais, 2019.
- COSTA, I. P.; CASTRO JÚNIOR, M. A. P.; MAÊDA, S. M. N.; FÁVERO, L. P.; COSTA, A. P. A.; CORRIÇA, J. V. P.; GOMES, C. F. S.; SANTOS, M. **Proceedings International Symposium on the Analytic Hierarchy Process (ISAHP)**. Web Conference, december/2020. DOI: 10.13033/isahp.y2020.018
- DE SOUZA, Leandro Peçanha; GOMES, Carlos Francisco Simões; DE BARROS, Alexandre Pinheiro. Implementation of new hybrid AHP–TOPSIS–2N method in sorting and prioritizing of an it CAPEX project portfolio. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, v. 17, n. 04, p. 977-1005, 2018.
- GOMES, Carlos Francisco Simões; COSTA, Helder Gomes; DE SOUZA, Gabriel Gonzaga. Abordagem estratégica para a seleção de sistemas ERP utilizando apoio multicritério à decisão. **Revista Produção Online**, v. 13, n. 3, p. 1060-1088, 2013.
- GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2014.
- HWANG, C. L; YOON, K. Methods for Multiple Attribute Decision Making. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 58–191. 1981.
- HWANG, C.L. and YOON, K.P. **Multiple attribute decision making: methods and applications survey**. New York, NY: Springer-Verlag. 1981.
- KROHLING, Renato; SOUZA, Talles. Dois Exemplos da Aplicação da Técnica TOPSIS para Tomada de Decisão. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA** n. 8 pp. 31-3. 2011.
- KROHLING, Renato. PACHECO, André. A-TOPSIS – an approach based on TOPSIS for ranking evolutionary algorithms. **Procedia Computer Sciences** 55, 308–317. 2015.
- LIMA JUNIOR, Francisco Rodrigues; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. **Gestão da Produção**, São Carlos , v. 22, n. 1, p. 17-34, mar. 2015 .

SHIH, Hsu-Shih; SHYUR, Huan-Jyh; LEE, E. Stanley. An extension of TOPSIS for group decision making. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 45, n. 7-8, p. 801-813, 2007.

SILVA, Marcela do Carmo; GOMES, Carlos Francisco Simões; SOUZA, Reinaldo Castro; SANTOS, Marcos. TOPSIS-2NE's Proposal. **Anais do LII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO)**. João Pessoa/PB, 29 de setembro/2020.

YONG, D. Plant location selection based on fuzzy TOPSIS. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 28(7-8), 839-844. 2006.

ZADEH, L. A Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 3, n. 1, p. 28-44, 1973

ZHANG, L.; ZHAN, J. Y.-Y. (2020). Intuitionistic fuzzy TOPSIS method based on cvpifrs models: An application to biomedical problems. **Information Sciences**, 517:315–339.