

Proposta de um modelo de avaliação e de seleção de fornecedores de manutenção industrial utilizando *Fuzzy-TOPSIS*

Supplier selection and evaluation model proposal for industrial maintenance based on Fuzzy-TOPSIS

Lucas Daniel Del Rosso Calache¹
Carolina Belotti Pedroso¹
Francisco Rodrigues Lima Junior²
Luiz César Ribeiro Carpinetti¹

Como citar: Calache, L. D. D. R., Pedroso, C. B., Lima Júnior, F. R., & Carpinetti, L. C. R. (2019). Proposta de um modelo de avaliação e de seleção de fornecedores de manutenção industrial utilizando *Fuzzy-TOPSIS*. *Gestão & Produção*, 26(2), e3565. <https://doi.org/10.1590/0104-530X-3565-19>

Resumo: A concorrência acirrada entre as cadeias de suprimento tem promovido a necessidade de melhores práticas de desenvolvimento e gestão de fornecedores por parte das empresas. O presente artigo busca propor um modelo de avaliação e seleção de fornecedores de manutenção industrial, através da aplicação de uma técnica de tomada de decisão multicritério a fim de categorizar as alternativas de fornecedores. A técnica *Fuzzy-TOPSIS* foi aplicada para avaliar os critérios referentes às dimensões de custos e confiabilidade dentro de uma matriz de categorização proposta. Realizou-se um estudo de caso em uma indústria sucroenergética, na qual o modelo de avaliação e seleção proposto foi aplicado para verificar as alternativas de manutenção para máquinas agrícolas. O resultado obtido culminou em uma ferramenta para auxiliar o processo de tomada de decisão considerando fontes internas e externas de manutenção. O modelo proposto pôde contribuir para a seleção dos fornecedores de manutenção industrial, uma vez que a avaliação realizada fornece subsídios para uma melhor tomada de decisão.

Palavras-chave: Avaliação de fornecedores; Seleção de fornecedores; *Fuzzy-TOPSIS*; Manutenção; Tomada de decisão multicritério.

Abstract: *The stiff competition among supply chains has created the necessity of better supplier management and development practices. This paper purposes a model to evaluate and to select suppliers for industrial maintenance by applying a multi-criteria decision-making technique to categorize alternative suppliers. Fuzzy TOPSIS technique was applied to evaluate the criteria related to costs and reliability belonging to a proposed categorization matrix. A case study was carried out in a sugar-energy company, in which the proposed evaluation and selection model was applied to check the existing agricultural machinery maintenance alternatives. The results culminated in a tool to support the decision-making process, helping companies to decide whether to make their own maintenance or to outsource them. The proposed model can contribute to the selection of industrial maintenance suppliers since it provides background for better decision making.*

Keywords: *Supplier evaluation; Supplier selection; Fuzzy-TOPSIS; Maintenance; Multi-criteria decision making.*

1 Introdução

A globalização é tida como um processo marcante e que vem promovendo o aumento da concorrência global, elevando as exigências dos clientes e proporcionando uma maior interação entre todas as etapas da cadeia produtiva. Deste modo, muitas

empresas estão procurando maneiras de adquirir vantagens competitivas em relação ao custo, serviço, qualidade, prazo de entregas e demais critérios essenciais para captar um maior *market share* (Liker & Choi, 2004). O atendimento das necessidades dos

¹ Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400, Parque Arnold Schmidt, CEP 13566-590, São Carlos, SP, Brasil, e-mail: lucascalache@gmail.com

² Departamento de Gestão e Economia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Curitiba, Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba, PR, Brasil

Recebido em Nov. 3, 2017 - Aceito em Mar. 15, 2018

Suporte financeiro: CAPES (001) e FAPESP (2016/18807-6; 2016/14618-4).

clientes depende da habilidade do gerenciamento da cadeia de suprimentos. A organização deve ser capaz de agregar valor não só nas funções organizacionais diretamente envolvidas com a geração de valor, mas também na empresa como um todo, sendo de extrema importância que a empresa implemente uma gama de técnicas e abordagens distintas em relação ao conjunto de necessidades da especificação do produto ou serviço (Hayes et al., 2008).

A gestão de manutenção desempenha um papel de extrema importância para contribuir para a competitividade de uma organização. Espera-se que o processo adequado de manutenção proporcione diversos benefícios, tais como a extensão da vida útil de ativos, garantia dos níveis de disponibilidade satisfatórios para promover um retorno de investimento adequado, prontidão operacional dos equipamentos evitando paradas inesperadas que possam causar um desbalanceamento na programação da produção e a necessidade de se promover a segurança dos colaboradores que usufruem das instalações (Bertolini et al., 2004).

A escolha errônea de fornecedores de manutenção industrial pode influenciar negativamente o processo produtivo da organização, acarretando paradas na linha de produção, maiores custos, deterioração do nível de serviço e consequente perda de competitividade, impactando não somente a organização, mas também a cadeia de suprimentos como um todo. Apesar da importância que a manutenção industrial apresenta, a literatura carece de pesquisas que explorem modelos para lidar com a avaliação e seleção de fornecedores de manutenção industrial. Deste modo, é imprescindível que haja meios para auxiliar as organizações a tomarem decisões relativas à avaliação e seleção de fornecedores.

A técnica multicritério (MCDM) *Fuzzy-TOPSIS* é uma das mais utilizadas na gestão de fornecedores (Pardha Saradhi et al., 2016). Tal técnica é tida como um dos melhores métodos MCDM na solução dos problemas, devido à sua simplicidade de aplicação e por evitar a inversão no ranking de alternativas quando uma nova alternativa é inserida (Kuo et al., 2015). O objetivo da presente pesquisa é aplicar a técnica *Fuzzy-TOPSIS* para auxiliar a tomada de decisão na avaliação e na seleção das alternativas de manutenção, sendo que uma aplicação prática foi realizada em uma indústria sucroenergética na qual foram avaliadas as possibilidades de integração vertical ou terceirização das atividades de manutenção de máquinas agrícolas.

Desta forma, a presente pesquisa está estruturada da seguinte maneira: a primeira parte do artigo traz a introdução do tema de pesquisa; a seção 2 contém a revisão de literatura sobre manutenção industrial. Na seção 3, são abordados os métodos de tomada de decisão multicritério utilizados para avaliação e seleção de fornecedores destinados à manutenção.

A seção 4 apresenta os conceitos referentes à lógica *Fuzzy* e à técnica *Fuzzy-TOPSIS*. Na seção 5, o modelo formal proposto é apresentado. A seção 6 traz a aplicação em um caso real, realizado em uma indústria sucroenergética. Por fim, na seção 7, são apresentadas as principais conclusões, bem como sugestões de pesquisas futuras.

2 Revisão de literatura

2.1 Gestão da manutenção industrial

Ao longo da última década, houve uma tendência de terceirização e desintegração vertical, na qual as empresas buscaram a concentração de esforços em suas competências centrais. A escolha das atividades a serem terceirizadas representa uma importante decisão na gestão da cadeia de suprimentos. Assim, competências que não são consideradas centrais são candidatas à terceirização (tais como reparação de equipamentos genéricos e comuns, peças elétricas e eletrônicas e revisões de plantas produtivas) (Wang & Lv, 2015). Diversas atividades de manutenção são adequadamente realizadas por um número crescente de fornecedores especializados disponíveis no mercado, com custos competitivos e altos índices de qualidade e, ao mesmo tempo, o risco da empresa contratante perder seu *know-how* é relativamente baixo (Bertolini et al., 2004).

Vários são os fatores que favorecem a valorização dos serviços de manutenção, se tornando uma atividade crítica para a competitividade da empresa: (i) Mudanças tecnológicas e novas metodologias gerenciais influenciaram a forma pela qual a manutenção é vista. Este fenômeno pode ser atribuído principalmente, às filosofias de gestão, tais como o *Just In Time* que se concentrou na redução do tempo de entrega e qualidade melhorada (Luxhøj et al., 1997); (ii) Tendências como o enriquecimento do trabalho e a automação levaram à incorporação de tecnologia da informação de manutenção em produtos e equipamentos de produção, acarretando mudanças nos trabalhos de manutenção de mecânica para manutenção eletrônica, por exemplo (Uysal & Tosun, 2012); (iii) Tendências sociológicas, como a falta de capital, flutuações das moedas, o aumento da concorrência e de níveis de qualidade e consciência ambiental exigidos também contribuíram para a necessidade de maiores níveis de manutenção (Tsang, 2002).

Contextos distintos demandam estratégias diferenciadas, nas quais a integração vertical pode ser mais adequada, ou a opção de terceirização pode ser mais apropriada, dependendo da situação em análise. Deste modo, a organização deve analisar o item ou serviço candidato a esta decisão minuciosamente, investigando suas partes individuais e considerando os custos e riscos inerentes a esta decisão. Um fator adicional a ser atribuído a esta metodologia é a

consideração de questões estratégicas, que não podem ser mensuradas puramente em termos de custos de produção e de entrega (Hayes et al., 2008). Desta forma, uma análise multicritério pode subsidiar uma decisão mais adequada, levando em conta vários critérios que impactam o desempenho e a satisfação dos *stakeholders* envolvidos (Shafiee, 2015).

2.2 Métodos multicritérios aplicados à gestão de manutenção industrial

Os objetivos almejados pela literatura para avaliação e seleção de fornecedores de manutenção industrial variam entre a diminuição de custo, elevação do nível de qualidade do produto, aumento da disponibilidade do produto e de sua confiabilidade, aumento dos requisitos de segurança, entre outros. Apesar da variedade de critérios envolvidos no processo de avaliação e seleção de fornecedores para manutenção, uma grande parcela das pesquisas existentes se restringe à consideração dos custos (Almeida et al., 2015). Desta forma, observa-se a necessidade do desenvolvimento de modelos formais que envolvam uma variada gama de critérios, tal como apontam Bertolini et al. (2004): preço/custo, desempenho ambiental e de segurança, desempenho no tempo, qualidade de trabalho e quantidade de trabalho.

Almeida et al. (2015) relatam que a diminuição de investimentos empregados na manutenção não está relacionada à maximização das medidas de confiabilidade do sistema, nem ao alcance de níveis satisfatórios de critérios ambientais e de segurança. Desta forma, sugere-se que a definição da política de manutenção ótima deve ser baseada não somente na taxa de custo de manutenção, mas também em medidas de confiabilidade. A principal razão para este conflito é o fato de que diferentes componentes do sistema podem ter diferentes custos de manutenção e a importância da confiabilidade de cada uma dessas partes constituintes do sistema pode ser diferente (Almeida, 2001; Sellitto, 2005).

Os principais critérios utilizados na avaliação e seleção de manutenção industrial são levantados por Almeida et al. (2015). O custo é o principal critério utilizado nas pesquisas sobre avaliação e seleção de fornecedores de manutenção industrial, representando 68% do total dos critérios utilizados. Em seguida, como segundo critério mais utilizado, a confiabilidade tem se mostrado um importante fator para manutenção industrial com 38% de participação nos artigos. É importante ressaltar que o conceito de confiabilidade é abrangente e pode envolver outros critérios que de modo tradicional são analisados separadamente, tais como a disponibilidade, o tempo entre falhas, a segurança entre outros. O modelo SCOR (*Supply Chain Operations Reference*) considera a confiabilidade no escopo da gestão da cadeia de suprimentos, como um

conjunto de métricas, por exemplo, a percentagem de pedidos entregues completos, o desempenho da entrega no tempo combinado, documentação precisa, condição perfeita, entre outros. Cavalcante & Almeida (2005) apresentam o conflito entre a confiabilidade e o custo: deseja-se atingir o menor valor do custo enquanto a confiabilidade deve ser a maior possível.

Os modelos MCDM aplicados para solucionar problemas de avaliação e seleção de fornecedores de manutenção podem ser divididos em dois tipos. O primeiro tipo é o modelo MCDM clássico, no qual as classificações e os pesos dos critérios são representados por números específicos. O outro tipo é o modelo *Fuzzy* MCDM (FMCDM), no qual as classificações e os pesos dos critérios avaliados buscam representar a imprecisão, ou subjetividade intrínseca do problema, sendo que a imprecisão é expressa por meios termos linguísticos e, em seguida, transformados em números *Fuzzy* (Shafiee, 2015).

A partir da pesquisa elaborada por Almeida et al. (2015), que traz uma revisão sobre métodos multicritérios aplicados à manutenção e de buscas complementares às bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, foi possível identificar as pesquisas mais recentes sobre o tema: MAUT: (Almeida, 2001; Brito et al., 2010; Monte & Almeida, 2016); AHP: (Tanaka et al., 2010; Medjoudj et al., 2013); MACBETH: (Srivastava & Mittal, 2012; Carnero & Gómez, 2016); ELECTRE: (Brito et al., 2010); PROMETHEE: (Cavalcante et al., 2010); e TOPSIS: (Shyjith et al., 2008; Kumar & Agrawal, 2009).

3 Teoria dos conjuntos *Fuzzy*

Nesta seção, serão apresentados os principais conceitos acerca da técnica utilizada nesta pesquisa.

3.1 Teoria dos conjuntos *Fuzzy*

Os processos de decisão normalmente envolvem informações incompletas ou incertas que necessitam ser modeladas para traduzir as preferências dos tomadores de decisão. A lógica *Fuzzy* proposta por Zadeh (1996) e amplamente consolidada nos modelos multicritérios de tomada de decisão (Abdullah, 2013), lida com a modelagem da imprecisão. As variáveis linguísticas são amplamente utilizadas para facilitar a capacidade de expressão dos responsáveis pela avaliação e tomada de decisão. Na teoria dos conjuntos *Fuzzy*, os valores das variáveis são representados qualitativamente por meio de termos linguísticos e traduzidos quantitativamente por conjuntos *Fuzzy* no universo de discurso das respectivas funções de pertinência. Um número *Fuzzy* é um conjunto *Fuzzy* em que a função de pertinência satisfaz as condições de normalidade e de convexidade (Zadeh, 1968; Lima & Carpinetti, 2016).

3.1.1 Definições fundamentais Fuzzy

Conjuntos Fuzzy: um conjunto Fuzzy \tilde{A} é definido pela Equação 1:

$$\tilde{A} = \{x, \mu_A(x)\}, x \in X \tag{1}$$

Na qual $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ é uma função do conjunto fuzzy \tilde{A} e $\mu_A(x)$ é o grau de pertinência de x em \tilde{A} . Se $\mu_A(x)$ é igual a 0, então x não pertence ao conjunto Fuzzy \tilde{A} . Caso $\mu_A(x)$ seja igual a 1, x pertence completamente ao conjunto Fuzzy \tilde{A} . Entretanto, se $\mu_A(x)$ possui um valor entre 0 e 1, então x pertence parcialmente ao conjunto Fuzzy \tilde{A} . Dessa forma, pode-se dizer que a pertinência de x é verdadeira com um grau de pertinência dado por $\mu_A(x)$ (Zadeh, 1996; Zimmermann, 2010).

Números Fuzzy: um número Fuzzy é um conjunto Fuzzy na qual a função de pertinência satisfaz a condição de normalidade: $\sup_{x \in X} \tilde{A}[x] = 1$; e de convexidade: $\tilde{A}[\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2] \geq \min[\tilde{A}(x_1), \tilde{A}(x_2)]$ para todo $x_1, x_2 \in X$ e todo $\lambda \in [0,1]$. A teoria Fuzzy é normalmente utilizada devido à sua função de pertinência intuitiva (Lima et al., 2013). Desta forma, $\mu_A(x)$ é dada pela Equação 2:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{para } x < l, \\ \frac{x-a}{m-a} & \text{para } a \leq x \leq m, \\ \frac{u-x}{u-m} & \text{para } m \leq x \leq u, \\ 0 & \text{para } x > u. \end{cases} \tag{2}$$

Sendo l, m e u números reais com $l < m < u$, no qual m representa o ponto máximo no grau de pertinência, e fora do intervalo $[l, u]$, o grau de pertinência é nulo (Osiro et al., 2014; Zimmermann, 2010).

3.1.2 Operações algébricas com números Fuzzy

Dado um número real K e dois números Fuzzy triangulares $\tilde{A} = (l_1, m_1, u_1)$ e $\tilde{B} = (l_2, m_2, u_2)$, as principais operações algébricas são apresentadas a seguir pelas Equações de 3 a 8 (Lima et al., 2013, 2014; Zimmermann, 2010).

- Adição de dois números Fuzzy triangulares:

$$\tilde{A}(+) \tilde{B} = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad l_1 \geq 0, l_2 \geq 0 \tag{3}$$

- Multiplicação de dois números Fuzzy triangulares:

$$\tilde{A}(X) \tilde{B} = (l_1 X l_2, m_1 X m_2, u_1 X u_2) \quad l_1 \geq 0, l_2 \geq 0 \tag{4}$$

- Subtração de dois números Fuzzy triangulares:

$$\tilde{A}(-) \tilde{B} = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2) \quad l_1 \geq 0, l_2 \geq 0 \tag{5}$$

- Divisão de dois números Fuzzy triangulares:

$$\tilde{A}(+) \tilde{B} = (l_1 \div u_2, m_1 \div m_2, u_1 \div l_2) \quad l_1 \geq 0, l_2 \geq 0 \tag{6}$$

- Multiplicação de um número Fuzzy triangular por uma constante K :

$$K \times \tilde{A} = (K \times l_1, K \times m_1, K \times u_1) \quad l_1 \geq 0, K \geq 0 \tag{7}$$

- Divisão de um número Fuzzy triangular por uma constante K :

$$\frac{\tilde{A}}{K} = \left(\frac{l_1}{K}, \frac{m_1}{K}, \frac{u_1}{K} \right) \quad l_1 \geq 0, K \geq 0 \tag{8}$$

3.2 Fuzzy-TOPSIS

Fuzzy-TOPSIS é uma técnica multicritério inicialmente proposta por Chen (2000), na qual o autor propõe um método efetivo para medir a distância entre dois números Fuzzy triangulares, estendendo o procedimento comumente adotado pelo TOPSIS, ao universo Fuzzy (Chen et al., 2006; Chen, 2000). Atualmente, esta abordagem é amplamente utilizada na gestão da cadeia de suprimentos, contribuindo para a seleção e avaliação de seus fornecedores (Arabzad et al., 2015; Çakır, 2016; He et al., 2016; Kuo et al., 2015; Lima & Carpinetti, 2016; Sangaiah et al., 2015; Pardha Saradhi et al., 2016; Wood, 2016).

No Fuzzy-TOPSIS, as pontuações das alternativas e o peso dos critérios de decisão são definidos como variáveis linguísticas que são avaliados pelos tomadores de decisão. A seguir, são definidos os passos para aplicação da técnica considerando os decisores D_r ($r = 1, 2, \dots, k$), que avaliam os critérios C_j ($j = 1, 2, \dots, m$) com peso W_j ($j = 1, 2, \dots, m$) para as alternativas A_i ($i = 1, 2, \dots, n$).

Passo 1: Agregação dos valores linguísticos fornecidos por cada tomador de decisão sobre o desempenho das alternativas e os pesos dos critérios utilizando as Equações 9 e 10. Büyüközkan & Arsenyan (2009) apresentam uma forma de agregação para decisão em grupo (Lima et al., 2014; Lima & Carpinetti, 2015).

$$\tilde{X}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{X}_{ij}^1 + \tilde{X}_{ij}^r + \dots + \tilde{X}_{ij}^K] \tag{9}$$

$$\tilde{W}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{W}_j^1 + \tilde{W}_j^r + \dots + \tilde{W}_j^K] \tag{10}$$

sendo: \tilde{X}_{ij}^r : pontuações da alternativa A_i em relação ao critério C_j dado pelo decisor D_r ; \tilde{W}_{ij} : peso do critério dado por cada decisor.

Passo 2: Formação da matriz de decisão Fuzzy D para as pontuações das alternativas e um vetor Fuzzy W para o peso dos critérios de acordo com a Equação 11 (Lima & Carpinetti, 2015).

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & C_1 & C_j & C_m \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{X}_{11} & \tilde{X}_{1j} & \tilde{X}_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{X}_{n1} & \tilde{X}_{nj} & \tilde{X}_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (11)$$

Passo 3: Normalização da matriz D através de uma escala de transformação linear. A matriz normalizada \tilde{R} é dada pelas Equações 12 a 14 (Lima et al., 2014):

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad (12)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+} \right), u_j^+ = \max_i u_{ij} \text{ (critérios de benefício)} \quad (13)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}^-}, \frac{l_j^-}{m_{ij}^-}, \frac{l_j^-}{l_{ij}^-} \right), l_j^- = \min_i l_{ij} \text{ (critérios de custo)} \quad (14)$$

Passo 4: Ponderação da matriz D por meio da multiplicação dos pesos w_j pelos elementos r_{ij} da matriz normalizada conforme apresentado pelas Equações 15 e 16 (Lima & Carpinetti, 2015):

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \quad (15)$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} * \tilde{W}_j \quad (16)$$

Passo 5: Definição da solução ideal positiva (Fuzzy Positive Ideal Solution, FPIS, A^+) e a solução ideal negativa (Fuzzy Negative Ideal Solution, FNIS, A^-), em que $V_j^+ = (1,1,1)$ e $V_j^- = (0,0,0)$, conforme as Equações 17 e 18 (Lima et al., 2014; Lima & Carpinetti, 2015):

$$A^+ = \{ \tilde{V}_1^+, \tilde{V}_j^+, \dots, \tilde{V}_m^+ \} \quad (17)$$

$$A^- = \{ \tilde{V}_1^-, \tilde{V}_j^-, \dots, \tilde{V}_m^- \} \quad (18)$$

Passo 6: Calcular as distâncias D_i^+ entre os valores de FPIS e as pontuações das alternativas da matriz R por meio da aplicação da Equação 19. Da mesma forma, calcular as distâncias D_i^- entre os valores de FNIS e as pontuações das alternativas por meio da Equação 20 (Lima et al., 2014; Lima & Carpinetti, 2015):

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{V}_{ij}, \tilde{V}_j^+) \quad (19)$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{V}_{ij}, \tilde{V}_j^-) \quad (20)$$

$$d(\tilde{x}, \tilde{z}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(1_x - 1_z)^2 + (m_x - m_z)^2 + (u_x - u_z)^2]} \quad (21)$$

Passo 7: Calcular o coeficiente de aproximação CC_i conforme a Equação 22 e elaborar o ranqueamento das alternativas. O ranking é formado a partir da ordenação decrescente dos valores de CC_i , sendo que quanto mais próximo de 1 for esse valor, melhor é o

desempenho global da alternativa (Uysal & Tosun, 2012).

$$CC_i = \frac{D_i^-}{(D_i^+ + D_i^-)} \quad (22)$$

Lima & Carpinetti (2015) e Lima et al. (2014) realizam comparações entre a técnica Fuzzy-TOPSIS e outras técnicas, apresentando as preferências de utilização das técnicas abordadas. Com relação à tomada de decisão em grupos, pode-se utilizar outras técnicas de agregação de opiniões que caracterizem da melhor forma possível o problema estudado (Chen, 2000).

4 Modelo de decisão proposto para a avaliação e seleção de fornecedores de manutenção industrial

O modelo de decisão proposto é baseado na aplicação realizada por Lima & Carpinetti (2016) e é dividido em quatro etapas. A seguir, as etapas da criação do modelo são apresentadas:

- Etapa 1: Busca identificar e definir os critérios relevantes ao problema de manutenção industrial que serão analisados pelos tomadores de decisão;
- Etapa 2: Busca agregar os critérios definidos anteriormente em duas dimensões para aplicação da matriz de categorização proposta no modelo;
- Etapa 3: Consiste na aplicação da técnica multicritério Fuzzy-TOPSIS para avaliar os critérios de cada dimensão da matriz;
- Etapa 4: Finalmente, na etapa 4, são avaliados os resultados obtidos na etapa três, e os fornecedores são localizados na matriz de categorização.

Foram identificados os principais critérios a serem analisados para avaliação e seleção dos fornecedores. A seguir, os critérios que serão considerados no modelo proposto, e que se encontram detalhados na pesquisa de Picanto et al. (2014) são listados na Tabela 1.

De acordo com o tópico 3 e embasado nos critérios selecionados para avaliação, foram definidos como dimensões da matriz de categorização o custo e a confiabilidade. Desta forma, cada grupo de critérios é avaliado individualmente pelo seu respectivo modelo Fuzzy-TOPSIS. A Figura 1 apresenta o framework proposto com as dimensões da matriz de categorização e os conjuntos de critérios que deverão ser avaliados individualmente.

A aplicação deste modelo de decisão deve envolver a participação de um ou mais tomadores de decisão de diferentes setores envolvidos com o processo de avaliação e seleção de fornecedores (Lima &

Tabela 1. Critérios selecionados e considerados no modelo.

Critérios Selecionados	Descrição
Custo de manutenção preventiva (C1)	Somatório dos custos totais e diretos com manutenção preventiva em um dado período. Valores da manutenção realizada periodicamente.
Custo de manutenção corretiva (C2)	Somatório dos custos totais e diretos com manutenção corretiva em um dado período. Valores da manutenção realizada emergencialmente e não programada.
Custo de manutenção preditiva (C3)	Somatório dos custos totais e diretos com manutenção preditiva em um dado período. Valores da fiscalização dos parâmetros monitorados e manutenção realizada caso necessária.
Custo de oportunidade por perda de produtividade (C4)	Representa custos implícitos e busca analisar o que se propõe, permitindo atuar sobre o resultado. Custo das unidades não produzidas devido às interrupções não planejadas.
Custo de gerenciamento (C5)	Representa os custos advindos da parte administrativa. Pode representar custos diretos referentes à gestão da manutenção e também custos implícitos como flexibilidade e relacionamento.
OEE- Overall Equipment Effectiveness (C6)	Considera desempenho, disponibilidade e qualidade do equipamento.
MTTF- Mean Time to Failure (C7)	Tempo estimado para o intervalo entre falhas de um componente não reparável.
MTBF – Mean Time Between Failures (C8)	Tempo estimado para o intervalo entre falhas de um componente reparável.
MTTR- Mean Time To Repair (C9)	Representa o tempo médio decorrido para o reparo de um equipamento.
Conformidade (C10)	Representa se foi realizado aquilo que foi pedido.
Quantidade de processos/melhorias desenvolvidas (C11)	Critério para avaliar a identificação de oportunidades de melhorias e desenvolvimento de processos e procedimentos.
Segurança (C12)	Segurança oferecida para os funcionários e o meio ambiente, buscando uma satisfação no ambiente de trabalho.

Fonte: Adaptado de Picanto et al. (2014).

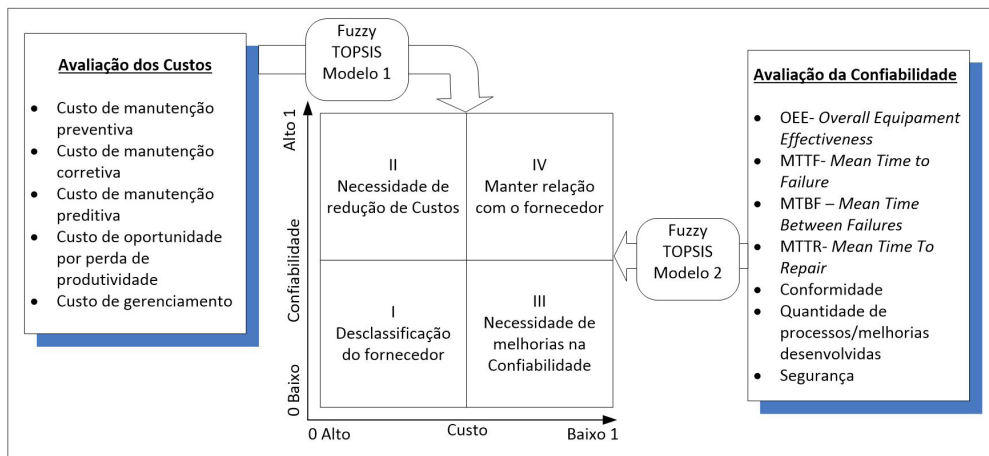


Figura 1. Framework proposto para avaliação dos fornecedores. Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Carpinetti, 2016). Os tomadores de decisão devem quantificar o nível de importância de todos os critérios considerando a estratégia competitiva adotada pela empresa no gerenciamento da cadeia de suprimentos (Tsang, 2002). De acordo com a categorização resultante de cada fornecedor potencial, planos de ação

podem ser desenvolvidos para selecionar, gerenciar e dar *feedback* aos fornecedores (Osiro et al., 2014). A seguir, distintos grupos de fornecedores considerados no modelo são detalhados.

Grupo I: os fornecedores alocados neste grupo são considerados inadequados e devem ser substituídos

por outra opção de fornecimento. Neste caso, a avaliação do desempenho apresenta um fornecedor com alto custo de manutenção e baixa confiabilidade, que são inversamente desejáveis;

Grupo II: os fornecedores alocados neste grupo são classificados como de alta confiabilidade e alto custo de manutenção. Deste modo, os fornecedores podem ser selecionados desde que haja esforços na diminuição dos custos de manutenção;

Grupo III: os fornecedores alocados neste grupo são classificados como de baixa confiabilidade e baixo custo de manutenção. Assim, os fornecedores podem ser selecionados desde que haja esforços no incremento da confiabilidade. A dimensão da confiabilidade está diretamente ligada à qualidade do serviço de manutenção;

Grupo IV: os fornecedores alocados neste grupo são classificados como estratégicos devido ao alto desempenho. Desta forma, os fornecedores avaliados apresentam um baixo custo de manutenção e um alto nível de confiabilidade, proporcionando maiores vantagens competitivas. Os fornecedores presentes neste quadrante devem ser selecionados.

5 Aplicação piloto

Foi realizada uma aplicação piloto real do modelo proposto neste trabalho em uma indústria sucroenergética. O problema analisado aborda a avaliação e seleção da melhor alternativa de manutenção das máquinas agrícolas responsáveis pela coleta da matéria-prima. O setor de produção é diretamente dependente do setor de fornecimento de matéria-prima, desta forma, é necessário haver um balanceamento para não haver interrupção do fornecimento de matérias-primas para pronta entrega. Entretanto, o excesso de matéria-prima para pronta entrega pode causar perdas de produtividade devido à degradação do material orgânico. Desta forma, é essencial que haja um sistema eficaz de manutenção das máquinas para atender de forma eficiente ao setor de produção, evitando tanto a falta de matéria-prima quanto a superprodução (estoque alto) para que o nível de serviço seja assegurado.

No caso analisado, foram identificadas apenas duas possibilidades de serviços de manutenção. A primeira alternativa de manutenção se refere à realização da própria manutenção, sendo esta uma prática atual da empresa. A segunda alternativa é a terceirização da manutenção para um único fornecedor capaz de atender à empresa. Três tomadores de decisão (TD) diretamente influenciados pela manutenção participaram da aplicação do modelo proposto. Os responsáveis pela avaliação são respectivamente: coordenador de controle de frota (TD 1), analista de operações agrícolas (TD 2) e gerente agrícola (TD 3). Os entrevistados foram escolhidos de acordo com a proximidade e familiaridade quanto às atividades de manutenção, sendo que o contato inicial com os

especialistas ocorreu por telefone. Cada tomador de decisão avaliou individualmente o desempenho das alternativas de manutenção para cada critério. Para facilitar a avaliação, foram atribuídos termos linguísticos para a avaliação do desempenho dos fornecedores e para atribuição do peso dos critérios (descritos na Tabela 2), que, posteriormente, foram traduzidos para números *Fuzzy* triangulares conforme ilustrado na Figura 2.

Inicialmente, cada tomador de decisão atribuiu valores linguísticos para avaliar o desempenho das alternativas de cada dimensão e seus respectivos pesos. As Tabelas 3-8 apresentam os resultados das avaliações individuais que são os dados de entrada para a aplicação da técnica.

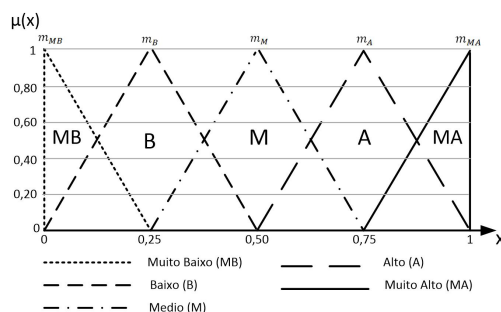


Figura 2. Números *Fuzzy* Triangulares para os pesos dos critérios e avaliação do desempenho. Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Tabela 2. Termos linguísticos e números *Fuzzy* para os pesos e desempenhos dos critérios.

Termos linguísticos	Número <i>Fuzzy</i> Triangular		
	l	m	u
Muito Baixo (MB)	0	0	0,25
Baixo (B)	0	0,25	0,5
Médio (M)	0,25	0,5	0,75
Alto (A)	0,5	0,75	1
Muito Alto (MA)	0,75	1	1

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Tabela 3. Avaliação linguística do tomador de decisão 1 (TD 1) para a dimensão de custos.

TD 1	C1	C2	C3	C4	C5
Alternativa 1	MA	MA	M	MA	A
Alternativa 2	B	B	MA	B	B
Vetor de pesos	MA	MA	A	A	A

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Tabela 4. Avaliação linguística do tomador de decisão 2 (TD 2) para a dimensão de custos.

TD 2	C1	C2	C3	C4	C5
Alternativa 1	M	B	M	A	A
Alternativa 2	B	MB	B	A	A
Vetor de pesos	MA	MA	MA	M	M

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Tabela 5. Avaliação linguística do tomador de decisão 3 (TD 3) para a dimensão de custos.

TD 3	C1	C2	C3	C4	C5
Alternativa 1	M	B	M	B	M
Alternativa 2	M	M	M	M	M
Vetor de pesos	MA	MA	MA	M	M

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Tabela 6. Avaliação linguística do tomador de decisão 1 (TD 1) para a dimensão de confiabilidade.

TD 1	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
Alternativa 1	M	MB	M	M	MA	MA	MA
Alternativa 2	B	MA	B	B	B	B	B
Vetor de pesos	A	M	M	M	MA	MA	MA

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Tabela 7. Avaliação linguística do tomador de decisão 2 (TD 2) para a dimensão de confiabilidade.

TD 2	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
Alternativa 1	M	B	M	M	A	M	M
Alternativa 2	A	B	A	M	MA	MA	A
Vetor de pesos	M	B	B	M	MA	M	MA

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Tabela 8. Avaliação linguística do tomador de decisão 3 (TD 3) para a dimensão de confiabilidade.

TD 3	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
Alternativa 1	B	B	B	B	M	M	M
Alternativa 2	M	M	B	M	A	A	A
Vetor de pesos	M	B	B	M	MA	MA	MA

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Tabela 9. Valores normalizados e ponderados segundo o peso de cada critério da dimensão de custos.

Valores normalizados e ponderados	C1			C2			C3			C4			C5		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Alternativa 1	0,50	0,80	1,00	0,38	0,75	1,00	0,33	0,67	1,00	0,50	0,80	1,00	0,45	0,73	1,00
Alternativa 2	0,20	0,40	0,70	0,13	0,38	0,75	0,44	0,78	1,00	0,30	0,60	0,90	0,27	0,55	0,82
Pesos	0,75	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	0,67	0,92	1,00	0,33	0,58	0,83	0,33	0,58	0,83

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Tabela 10. Valores normalizados e ponderados segundo o peso de cada critério da dimensão de confiabilidade.

Valores normalizados e ponderados	C6			C7			C8			C9			C10			C11			C12		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
Alternativa 1	0,07	0,32	0,74	0,00	0,07	0,32	0,02	0,21	0,58	0,06	0,31	0,75	0,41	1,00	1,00	0,29	0,67	0,92	0,38	0,80	1,00
Alternativa 2	0,11	0,39	0,83	0,04	0,26	0,58	0,02	0,21	0,58	0,06	0,31	0,75	0,34	0,73	0,91	0,29	0,67	0,92	0,30	0,70	1,00
Pesos	0,33	0,58	0,83	0,08	0,33	0,58	0,08	0,33	0,58	0,25	0,50	0,75	0,75	1,00	1,00	0,58	0,83	0,92	0,75	1,00	1,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

A partir das avaliações individuais dos tomadores de decisão os números *Fuzzy* das avaliações individuais são agregados utilizando as Equações 9 e 10 e normalizados segundo as Equações 12-14. As Tabelas 9 e 10 apresentam a ponderação dos valores normalizados segundo os pesos dos critérios conforme as Equações 15 e 16.

As Tabelas 11-14 apresentam o resultado dos cálculos das distâncias D_i^+ entre os valores de FPIS e as pontuações das alternativas da matriz utilizando as Equações 19-21.

Finalmente, as Tabelas 15 e 16 apresentam o resultado dos cálculos do coeficiente de aproximação e o *ranking* de cada alternativa. Para a obtenção do coeficiente, foi utilizada a Equação 22.

De acordo com os resultados obtidos no estudo de caso, a alternativa 1 referente à realização da própria manutenção seria alocada no quadrante III da matriz de categorização, apresentando o melhor desempenho em custos e o pior desempenho em confiabilidade. Entretanto, a opção de terceirização (alternativa 2), seria alocada no quadrante II da matriz de categorização, devido ao seu melhor desempenho na dimensão de confiabilidade e pior resultado na dimensão de custos. Deste modo, nenhuma das alternativas avaliadas se mostrou como um fornecedor estratégico, sendo que qualquer escolha de fornecimento de serviços de manutenção pode apresentar necessidades de aplicação de esforços para melhorias na dimensão mais carente.

Apesar da alternativa 1 apresentar melhor desempenho global, a escolha final do fornecedor dependerá das estratégias adotadas pela empresa compradora, bem como das dificuldades de desenvolvimento em cada alternativa (Krause et al., 1998). Caso a empresa possua um alto grau de informações tácitas e a melhoria da confiabilidade seja viável, a integração vertical será

Tabela 11. Resultado dos cálculos de distância entre as alternativas e a solução ideal positiva para a dimensão de custos.

D_i^+	C1	C2	C3	C4	C5	Soma
Alternativa 1	0,38	0,44	0,50	0,58	0,60	2,50
Alternativa 2	0,63	0,65	0,44	0,66	0,68	3,05

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Tabela 12. Resultado dos cálculos de distância entre as alternativas e a solução ideal negativa para a dimensão de custos.

D_i^-	C1	C2	C3	C4	C5	Soma
Alternativa 1	0,77	0,74	0,69	0,56	0,55	3,31
Alternativa 2	0,47	0,49	0,73	0,48	0,44	2,61

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Tabela 13. Resultado dos cálculos de distância entre as alternativas e a solução ideal positiva para a dimensão de confiabilidade.

D_i^+	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	Soma
Alternativa 1	0,57	0,79	0,67	0,58	0,20	0,45	0,38	3,64
Alternativa 2	0,52	0,64	0,67	0,58	0,29	0,45	0,44	3,59

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Tabela 14. Resultado dos cálculos de distância entre as alternativas e a solução ideal negativa para a dimensão de confiabilidade.

D_i^-	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	Sum
Alternativa 1	0,47	0,19	0,36	0,47	0,85	0,68	0,77	3,79
Alternative 2	0,53	0,37	0,36	0,47	0,70	0,68	0,73	3,83

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Tabela 15. Coeficiente de aproximação de cada alternativa e ranking da dimensão de custos.

	CC_i	Ranqueamento
Alternativa 1	0,57	1
Alternativa 2	0,46	2

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Tabela 16. Coeficiente de aproximação de cada alternativa e ranking da dimensão de confiabilidade.

	CC_i	Ranqueamento
Alternativa 1	0,49	2
Alternativa 2	0,50	1

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

uma alternativa com grande potencial de escolha (Dyer & Nobeoka, 2000). Por outro lado, se a empresa deseja focar suas competências centrais, a opção de terceirização será favorecida (Dyer et al., 1998).

6 Conclusão

O presente trabalho apresenta uma proposta de um modelo de avaliação de fornecedores para um serviço de manutenção industrial utilizando a técnica *Fuzzy-TOPSIS*. Custo e confiabilidade foram apresentados como os principais critérios analisados nas tomadas de decisão para seleção de fornecedores para manutenção industrial. Deste modo, tais critérios foram transformados em dimensões de uma matriz de categorização, sendo subdivididos em outros critérios que buscaram retratar as necessidades dos clientes.

A utilização da técnica *Fuzzy-TOPSIS* proporcionou aos tomadores de decisão uma fácil expressão das opiniões individuais acerca das alternativas de manutenção e dos pesos dos critérios analisados, devido à utilização de termos linguísticos que posteriormente foram transformados em números *Fuzzy*. A matriz de categorização proposta favoreceu a análise dos fornecedores, bem como o direcionamento estratégico da empresa, quanto a realizar a própria manutenção ou terceirizá-la, além de promover *feedback* aos fornecedores.

A aplicação do modelo em uma indústria sucroenergética possibilitou a ilustração do modelo proposto, apresentando duas opções de serviços de manutenção que foram alocadas em duas categorias dentro do *framework* proposto: quadrante II e quadrante III. A presente pesquisa não tem intenção de generalizar resultados, mas sim propor um modelo que pode ser utilizado em diversas situações de avaliação e seleção de fornecedores de manutenção industrial. Uma oportunidade de pesquisa futura seria a inclusão de uma ampla gama de fornecedores a serem avaliados a partir do modelo proposto. Foi possível observar divergências entre as análises dos tomadores de decisão que podem apresentar opiniões tendenciosas e assim influenciar negativamente o resultado. Desta forma, outra oportunidade de pesquisa futura é a utilização de métodos de agregação de opiniões para contribuir com as tomadas de decisão em grupo. Finalmente, outras técnicas multicritérios podem ser utilizadas e os resultados comparados.

Agradecimentos

À CAPES (001) e FAPESP (2016/18807-6; 2016/14618-4) pelo apoio financeiro.

Referências

Abdullah, L. (2013). Fuzzy multi criteria decision making and its applications: a brief review of category. *Procedia: Social and Behavioral Sciences*, 97, 131-136. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.213>.

- Almeida, A. T. (2001). Repair contract decision model through additive utility function. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 7(1), 42-48. <http://dx.doi.org/10.1108/13552510110386883>.
- Almeida, A. T., Ferreira, R. J. P., & Cavalcante, C. A. V. (2015). A review of the use of multicriteria and multi-objective models in maintenance and reliability. *IMA Journal of Management Mathematics*, 26(3), 249-271. <http://dx.doi.org/10.1093/imaman/dpv010>.
- Arabzad, S. M., Ghorbani, M., Razmi, J., & Shirouyehzad, H. (2015). Employing fuzzy TOPSIS and SWOT for supplier selection and order allocation problem. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(5-8), 803-818. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-014-6288-3>.
- Bertolini, M., Bevilacqua, M., Braglia, M., & Frosolini, M. (2004). An analytical method for maintenance outsourcing service selection. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 21(7), 772-788. <http://dx.doi.org/10.1108/02656710410549118>.
- Brito, A. J., Almeida, A. T., & Mota, C. M. (2010). A multicriteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRE TRI integrating Utility Theory. *European Journal of Operational Research*, 200(3), 812-821. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.016>.
- Büyüközkan, G., & Arsenyan, J. (2009). Supplier selection in an agile supply chain environment using fuzzy axiomatic design approach. *IFAC Proceedings Volumes*, 42(4), 840-845. <http://dx.doi.org/10.3182/20090603-3-RU-2001.0504>.
- Çakır, S. (2016). Selecting appropriate ERP software using integrated fuzzy linguistic preference relations-fuzzy TOPSIS method. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(3), 433-449. <http://dx.doi.org/10.1080/18756891.2016.1175810>.
- Carnero, M. C., & Gómez, A. (2016). A multicriteria decision making approach applied to improving maintenance policies in healthcare organizations. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 16(1), 47. <http://dx.doi.org/10.1186/s12911-016-0282-7>. PMID:27108234.
- Cavalcante, C. A. V., & Almeida, A. T. D. (2005). Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza. *Pesquisa Operacional*, 25(2), 279-296. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382005000200007>.
- Cavalcante, V., Alexandre, C., Pires Ferreira, R. J., & Almeida, A. T. (2010). A preventive maintenance decision model based on multicriteria method PROMETHEE II integrated with Bayesian approach. *IMA Journal of Management Mathematics*, 21(4), 333-348. <http://dx.doi.org/10.1093/imaman/dpn017>.
- Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1-9. [http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00377-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1).
- Chen, C. T., Lin, C. T., & Huang, S. F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102(2), 289-301. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.03.009>.
- Dyer, J. H., & Nobeoka, K. (2000). Creating and managing a high-performance knowledge-sharing network: the Toyota case. *Strategic Management Journal*, 21(3), 345-367. [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(200003\)21:3<345::AID-SMJ96>3.0.CO;2-N](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(200003)21:3<345::AID-SMJ96>3.0.CO;2-N).
- Dyer, J. H., Cho, D. S., & Cgu, W. (1998). Strategic supplier segmentation: the next "best practice" in supply chain management. *California Management Review*, 40(2), 57-77. <http://dx.doi.org/10.2307/41165933>.
- Hayes, R. H., Upton, D., & Pisano, G. (2008). *Produção, estratégia e tecnologia: em busca da vantagem competitiva*. Porto Alegre: Bookman.
- He, Y. H., Wang, L. B., He, Z. Z., & Xie, M. (2016). A fuzzy TOPSIS and rough set based approach for mechanism analysis of product infant failure. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 47, 25-37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engappai.2015.06.002>.
- Krause, D. R., Handfield, R. B., & Scannell, T. V. (1998). An empirical investigation of supplier development: reactive and strategic processes. *Journal of Operations Management*, 17(1), 39-58. [http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963\(98\)00030-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963(98)00030-8).
- Kumar, A., & Agrawal, V. P. (2009). Attribute based specification, comparison and selection of electroplating system using MADM approach. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 10815-10827. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2008.06.141>.
- Kuo, R. J., Hsu, C. W., & Chen, Y. L. (2015). Integration of fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS for evaluating carbon performance of suppliers. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(12), 3863-3876. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-015-0819-9>.
- Liker, J. K., & Choi, T. Y. (2004). Building deep supplier relationships. *Harvard Business Review*, 82(12), 104-113.
- Lima, F. R., Jr., & 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(1), 17-34. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X1190>.
- Lima, F. R., Jr., & Carpinetti, L. C. R. (2016). Combining SCOR® model and fuzzy TOPSIS for supplier evaluation and management. *International Journal of Production Economics*, 174, 128-141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.01.023>.
- Lima, F. R., Jr., Osiro, L., & Carpinetti, L. C. R. (2013). A fuzzy inference and categorization approach for supplier selection using compensatory and non-compensatory decision rules. *Applied Soft Computing*, 13(10), 4133-4147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2013.06.020>.

- Lima, F. R., Jr., 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2014.03.014>.
- Luxhøj, J. T., Riis, J. O., & Thorsteinsson, U. (1997). Trends and perspectives in industrial maintenance management. *Journal of Manufacturing Systems*, 16(6), 437-453. [http://dx.doi.org/10.1016/S0278-6125\(97\)81701-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0278-6125(97)81701-3).
- Medjoudj, R., Aissani, D., & Haim, K. D. (2013). Power customer satisfaction and profitability analysis using multi-criteria decision making methods. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 45(1), 331-339. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.08.062>.
- Monte, M. B., & Almeida, A. T., Fo. (2016). A multicriteria approach using MAUT to assist the maintenance of a water supply system located in a low-income community. *Water Resources Management*, 30(9), 3093-3106. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-016-1333-7>.
- Osiro, L., Lima, F. R., Jr., & Carpinetti, L. C. R. (2014). A fuzzy logic approach to supplier evaluation for development. *International Journal of Production Economics*, 153, 95-112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.02.009>.
- Pardha Saradhi, B., Shankar, N. R., & Suryanarayana, C. (2016). Novel distance measure in fuzzy TOPSIS for supply chain strategy based supplier selection. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, 1-17. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/7183407>.
- Picanto, A. R. S., Risso, L. A., Silva, A., & Simões, V. H. F. (2014). Balanced Scorecard para o controle e gestão de indicadores de manutenção industrial. In *Anais do XXI Simpósio de Engenharia de Produção*. Bauru: UNESP.
- Sangaiah, A. K., Subramaniam, P. R., & Zheng, X. (2015). A combined fuzzy DEMATEL and fuzzy TOPSIS approach for evaluating GSD project outcome factors. *Neural Computing & Applications*, 26(5), 1025-1040. <http://dx.doi.org/10.1007/s00521-014-1771-1>.
- Sellitto, M. A. (2005). Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. *Revista Produção*, 15(1), 44-59. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132005000100005>.
- Shafiee, M. (2015). Maintenance strategy selection problem: an MCDM overview. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(4), 378-402. <http://dx.doi.org/10.1108/JQME-09-2013-0063>.
- Shyjith, K., Ilangkumaran, M., & Kumanan, S. (2008). Multi-criteria decision-making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 14(4), 375-386. <http://dx.doi.org/10.1108/13552510810909975>.
- Srivastava, P. W., & Mittal, N. (2012). Optimum multi-objective ramp-stress accelerated life test with stress upper bound for Burr type-XII distribution. *IEEE Transactions on Reliability*, 61(4), 1030-1038. <http://dx.doi.org/10.1109/TR.2012.2221011>.
- Tanaka, H., Tsukao, S., Yamashita, D., Niimura, T., & Yokoyama, R. (2010). Multiple criteria assessment of substation conditions by pair-wise comparison of analytic hierarchy process. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 25(4), 3017-3023. <http://dx.doi.org/10.1109/TPWRD.2010.2048437>.
- Tsang, A. H. (2002). Strategic dimensions of maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8(1), 7-39. <http://dx.doi.org/10.1108/13552510210420577>.
- Uysal, F., & Tosun, Ö. (2012). Fuzzy TOPSIS-based computerized maintenance management system selection. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 23(2), 212-228. <http://dx.doi.org/10.1108/17410381211202205>.
- Wang, Q., & Lv, H. (2015). Supplier selection group decision making in logistics service value cocreation based on intuitionistic fuzzy sets. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2015, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/719240>.
- Wood, D. A. (2016). Supplier selection for development of petroleum industry facilities, applying multi-criteria decision making techniques including fuzzy and intuitionistic fuzzy TOPSIS with flexible entropy weighting. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 28, 594-612. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2015.12.021>.
- Zadeh, L. (1968). Communication Fuzzy algorithms. *Information and Control*, 12(2), 94-102. [http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958\(68\)90211-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958(68)90211-8).
- Zadeh, L. A. (1996). Fuzzy sets. In L. A. Zadeh (Ed.), *Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems* (pp. 394-432). New Jersey: World Scientific Publishing.
- Zimmermann, H. J. (2010). Fuzzy set theory. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2(3), 317-332. <http://dx.doi.org/10.1002/wics.82>.