



ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



EVENTO
ON-LINE

02 a 04
de dezembro 2020

Metodologia de Escolha de Material para Desenvolvimento de Produto

Marcela Marçal Alves Pinto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rafael Luis Mick

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

João Luiz Kovaleski

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Resumo: O presente estudo tem como objetivo propor uma nova metodologia para a escolha de um determinado material a ser utilizado em um desenvolvimento de produto, em seu Projeto Informacional. Nesse sentido, essa metodologia foi inicialmente utilizada e aplicada em um tanque de combustível para equipamentos agrícolas. Essa metodologia tem como propósito obter os critérios do produto de acordo com as necessidades do cliente, por isso, o *Quality Function Deployment* (QFD) faz parte da mesma. Pelo fato de o Projeto Informacional se tratar de uma etapa de tomada de decisões, a metodologia proposta utiliza os métodos multicritérios Fuzzy AHP e Fuzzy TOPSIS. Ainda, foram utilizadas decisões em grupo, a fim de ter adequadamente múltiplas opiniões de especialistas, obtendo um grau de importância para cada um, dentro do contexto. Sendo assim, a metodologia apresentada mostrou-se útil e coerente, podendo ser aprimorada, complementada e aplicada em diferentes setores.

Palavras-chave: Desenvolvimento de produto; Escolha de Material; Fuzzy AHP; Fuzzy TOPSIS.

Methodology For Material Selection In Product Development

Abstract: This study proposes a new methodology for selecting the material to employ in product development in its Information Project. This methodology was initially applied to the material selection in the production of fuel tanks for agricultural equipment. Its purpose is to obtain product criteria according to customer needs, employing Quality Function Deployment (QFD). Because the Informational Project is a decision-making stage, the proposed methodology employs the multicriteria methods Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS. In addition, group decisions were taken into account in order to properly have multiple opinions from experts, with a degree of importance for each one within the context. In conclusion, this methodology revealed itself as useful and coherent, with possibilities for enhancements, complements, and applications in different sectors.

Keywords: Product development; Material selection; Fuzzy AHP; Fuzzy TOPSIS.

1. Introdução

O desenvolvimento de novos produtos é uma atividade complexa. O seu desempenho refere-se ao “sucesso dos esforços de desenvolvimento de novos produtos” (Troy, Hirunyawipada, Paswan 2008). Muitas decisões ao longo do caminho devem ser tomadas, envolvendo uma série de necessidades e interesses (La Rocca et al., 2016). Geralmente essas atividades são realizadas em uma fase de projeto denominada “Projeto Informacional”.

A fase de Projeto Informacional (PI) do Modelo Unificado de Referência (MUR), de Rozenfeld et al. (2006), localizada na macrofase do Desenvolvimento do Produto, tem como objetivo final desenvolver um conjunto de especificações-meta do produto. Essas especificações servirão como critério de avaliação e de tomada de decisão em etapas posteriores do desenvolvimento. Daí sua importância para o sucesso de todo o processo. Um problema mal definido nessa etapa inicial de desenvolvimento poderá comprometer todos os investimentos da empresa ou mesmo a não aceitação do produto no mercado ao qual ele se propõe a atender (Nickel et al., 2010).

Em um Projeto Informacional, um ponto fundamental é a escolha dos materiais a serem utilizados no produto. Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo propor uma nova metodologia para a escolha de um determinado material a ser utilizado em um desenvolvimento de produto.

Pelo fato de o Projeto Informacional se tratar de uma etapa de tomada de decisões, diversos são os estudos onde a abordagem *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) é utilizada para formalizar e sistematizar o processo decisório de projetos (Nickel et al., 2010). Dessa maneira, o presente trabalho utiliza dois métodos multicritérios para atingir o objetivo proposto: Fuzzy AHP e Fuzzy TOPSIS. Uma das vantagens mais importantes do AHP é ser baseada na comparação por pares (Önüt, Soner 2008). Já no método TOPSIS, a alternativa mais preferida deve ter a menor distância da solução ideal positiva e a maior distância da solução ideal negativa (Wang et al. 2015). Os métodos AHP e TOPSIS têm o benefício de combinar suas abordagens com a teoria fuzzy, que é utilizada para lidar com avaliações subjetivas, as quais estão muito presentes em um Projeto Informacional. Assim, a ferramenta resultante nos dá o poder de tomar decisões efetivas e, ao mesmo tempo, ser imprecisa ao fornecer dados (Samvedi et al. 2013)

Neste estudo, o fuzzy AHP é usado para determinar os pesos preferenciais da avaliação. Em seguida, os pesos são adotadas em fuzzy TOPSIS para descobrir a melhor alternativa de material para o desenvolvimento do produto proposto. Nesses métodos foram utilizadas decisões em grupo, a fim de ter adequadamente múltiplas opiniões de especialistas. Para obter um melhor resultado, foram dados pesos fuzzy para cada um dos decisores de acordo com o seu grau de importância dentro do contexto.

2. Metodologia Proposta

Com o objetivo de escolher qual a melhor alternativa de material a ser utilizado em um desenvolvimento de um produto, a seguinte metodologia, composta por três estágios, foi proposta.

— Estágio 1. Identificação dos Critérios do Produto

O primeiro passo dessa fase da metodologia consiste em escutar quais os requisitos do cliente em relação ao produto. A partir disso, os requisitos de engenharia para satisfazer esses requisitos dos clientes são determinados. Sabendo que as exigências do cliente são a chave no desenvolvimento de novos produtos, o *Quality Function Deployment* (QFD) é elaborado a partir desses requisitos. O QFD é um procedimento utilizado na fase do Projeto Informacional para incorporar as necessidades dos clientes em conceitos de

produtos no seu planejamento (Altun; Zedtwitz; Dereli, 2016). É um método que facilita o desenvolvimento de produtos novos e aprimorados para aumentar a satisfação do cliente (Tseng, Torng, 2014).

Sendo assim, a partir da matriz QFD, é possível identificar os principais Critérios do Produto, tendo como base as necessidades do cliente.

— *Estágio 2. Escolha das Alternativas*

O próximo passo é indicar uma série de materiais como sugestões para a fabricação do produto a ser desenvolvido. Para escolher quais as alternativas de materiais que serão utilizadas no modelo multicritério, é preciso fazer uma triagem inicial, através do método *Screening*. Nesta triagem, somente as sugestões de materiais que atendam aos Requisitos Mínimos dos Critérios do Produto, permanecem para serem as alternativas utilizadas no modelo.

— *Estágio 3. Escolha da melhor alternativa – Construção do modelo multicritério*

Tendo os Critérios do Produto e as Alternativas de Materiais a serem utilizados, é realizado um modelo multicritério a partir de números fuzzy triangulares para escolher qual é a melhor alternativa.

Nessa fase, primeiramente é decidido quais são os Decisores (*Decision Makers* - DMs), e assim, pesos são atribuídos para os mesmos de acordo com o seu grau de importância e conhecimento (Seção 2.1.1).

Posteriormente, são identificados os Critérios e Sub-critérios do Projeto, que são os critérios do produto (determinados de acordo com a necessidade do cliente) juntamente com os critérios de fabricação. Para atribuir pesos aos critérios do projeto, é utilizado o fuzzy AHP (Seção 2.1.2).

Tendo o peso individual de cada critério e sub-critério, é calculado o peso global para cada um dos sub-critérios, através de seu produto. Finalmente, para escolher qual a melhor alternativa de material a ser utilizado no projeto, é realizado o fuzzy TOPSIS (Seção 2.1.3).

2.1.1. Pesos para os Descisores (DMs)

Tendo em consideração que muitas vezes os Decisores não tem o mesmo grau de conhecimento ou influência do assunto a ser tratado, é importante atribuir pesos para cada um deles. Às vezes, há DM especialistas em questões específicas em um grupo de decisão, como o gerente executivo do departamento de operações em questões de seleção de DC, ou alguns especialistas que são mais experientes do que outros. Este estudo, portanto, propõe uma avaliação de pesos *fuzzy* para DMs individuais, sendo realizado da seguinte maneira, de acordo com Ou, Chou (2009):

Supoem-se que os graus de importância (ou confiabilidade) dos DM são I_t , $t= 1, 2, \dots, k$. Se a importância relativa (ou confiabilidade) e o peso de cada DM forem considerados, o DM final atribuirá um peso *fuzzy* de cada DM, $\tilde{\omega}_t$, $t= 1, 2, \dots, k$, and $\tilde{\omega}_t = (a_t, b_t, c_t)$. Finalmente, o grau de importância I_t , é definido da seguinte forma:

$$I_t = d(\tilde{\omega}_t), \quad t= 1, 2, \dots, k, \quad \text{Equação (1)}$$

$$d(\tilde{\omega}_t) = \frac{1}{4}(a_t, 2b_t, c_t), \quad t= 1, 2, \dots, k, \quad \text{Equação (2)}$$

onde $d(\tilde{\omega}_t)$ resulta no valor defuzzificado do peso *fuzzy* usando a distância. E então, é necessário normalizar o peso.

Se $I_1=I_2 = \dots = I_k$, a importância dos DM's individuais que influenciam o resultado da tomada de decisão são iguais. Caso contrário, um apresenta maior importância que o outro.

2.1.2. Fuzzy AHP

Neste trabalho, foi utilizado o método de Chang (1996), o qual introduziu o *extent analysis method*, que é um método simples e fácil de implementar para priorizar as variáveis de decisão em comparação com as outras abordagens de *fuzzy AHP* (Dagdeviren, Yüksel, 2008). Esse método utiliza números *fuzzy* triangulares como escala de comparação par a par a fim de obter os fatores e sub-fatores prioritários.

Baseado em Kwong and Bai (2003), o método de Chang (1996) pode ser resumido da seguinte maneira:

Passo 1. Selecionar a escala linguística fuzzificada a ser utilizada. Identificar os fatores e sub-fatores do modelo, e obter as suas matrizes de comparação par a par.

Passo 2. Construir a matriz de comparação fuzzificada (matrix fuzzy), agregando os decisores através da média geométrica ou média. Neste caso, como foram atribuídos pesos aos decisores, os decisores são agregados através da média ponderada:

$$\tilde{W}_j = (I_1 \otimes \tilde{W}_{j1} \oplus I_2 \otimes \tilde{W}_{j2} \oplus \dots \oplus I_k \otimes \tilde{W}_{jk}) / \sum_{t=1}^k I_t \quad \text{Equação (3)}$$

Onde $a_j = \sum_{t=1}^k I_t a_{jt} / \sum_{t=1}^k I_t$, $b_j = \sum_{t=1}^k I_t b_{jt} / \sum_{t=1}^k I_t$, $c_j = \sum_{t=1}^k I_t c_{jt} / \sum_{t=1}^k I_t$

Passo 3. Defuzzificar a matriz fuzzy por meio da Equação 4, referente à regra de defuzzificação:

$$M_i = \frac{1}{6} (a + 4b + c) \quad \text{Equação (4)}$$

Posteriormente, fazer a análise de consistência da matriz fuzzy, determinando o CR (consistency ratio) da matriz fuzzy defuzzificada. Se $CR < 0,1$ o julgamento considera-se consistente, então o peso pode ser utilizado.

Passo 4. Determinar o valor do grau sintético fuzzy

Sendo $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ um conjunto de objetos, e $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ um conjunto de meta, de acordo com o método de análise da extensão, cada objeto poderia ser tomado para realizar análise de extensão para cada objetivo, respectivamente. Portanto, m valores de análise de extensão para cada objeto podem ser obtidos da seguinte maneira:

$$M_{ij}^1, M_{ij}^2, \dots, M_{ij}^m, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad \text{Equação (5)}$$

onde todos os M_{ij} são números fuzzy triangulares. Portanto, o valor do grau sintético fuzzy em relação ao i th objeto é definido como

$$S_i = \sum_{j=1}^n \tilde{M}_{ij} \otimes \left[\sum_i^n \sum_i^m \tilde{M}_{ij} \right]^{-1} \quad \forall i \quad \text{Equação (6)}$$

onde $\tilde{M} = (a, b, c)$, e $a \leq b \leq c$.

Passo 5. Determinar os pesos dos critérios através dos princípios de comparação de números *fuzzy* do *Extent Analysis Method*.

Se M1 e M2 são números fuzzy triangulares que são indicados por (a1, b2, c2) e (a2, b2, c2) respectivamente, então:

1. A condição necessária e suficiente para $V(M1 \geq M2) = 1$ é $a1 \geq a2$, $b1 \geq b2$, e $c1 \geq c2$.

2. Se $a1 \leq a2$, supõem-se que $V(M1 \geq M2) = \text{hgt}(M1 \cap M2)$. Então:

$$V(M_1 \geq M_2) = \mu(d) = \begin{cases} \frac{a_2 - c_1}{(b_1 - c_1) - (b_2 - a_2)}, & a_2 \leq c_1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{Equação (7)}$$

onde d é a abscisa do ponto cruzado de M1 e M2.

2.1.3. Fuzzy TOPSIS

Em fuzzy TOPSIS, os números crisp são alterados para números fuzzy (Samvedi, Jain, Chan; 2013). Seus procedimetos podem ser descritos da seguinte maneira, de acordo com Onut e Soner (2008):

Passo 1. Escolhe-se as classificações linguísticas (\tilde{x}_{ij} , $i = 1; 2; 3; \dots, n$, $j = 1; 2; 3; \dots, J$) para alternativas em relação aos critérios. A classificação linguística fuzzy (\tilde{x}_{ij}) preserva a propriedade de que os intervalos de números fuzzy triangulares normalizados pertencem a $[0, 1]$.

Passo 2. Calcular a matriz normalizada agregando os decisores através da média ponderada, calculados pela equação 3.

Passo 3. Calcular a matriz de decisão fuzzy com o peso normalizado. O valor normalizado ponderado \tilde{v}_{ij} é calculado pela Eq. 8:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{x}_{ij}(\cdot) w_i \quad \text{Equação (8)}$$

Passo 4. Identificar soluções ideais (A^*) e anti-ideais (A^-), que são mostradas nas seguintes equações:

$$A^* = \{\tilde{v}_1^*, \dots, \tilde{v}_i^*\} = \{(max_j v_{ij} | i \in I'), (min_j v_{ij} | i \in I'')\} \\ i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, J, \quad \text{Equação (9)}$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \dots, \tilde{v}_i^-\} = \{(min_j v_{ij} | i \in I'), (max_j v_{ij} | i \in I'')\} \\ i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, J, \quad \text{Equação (10)}$$

onde I' está associado a critérios de benefício e I'' está associado a critérios de custo.

Passo 5. Sendo $\tilde{v} = (\tilde{v}_1, \tilde{v}_2, \tilde{v}_3)$ e $\tilde{v}^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \tilde{v}_3^*)$ dois números fuzzy triangulares, então o método de vértice é definido pelo cálculo da distância entre eles, como mostra a equação 11 da solução ideal (A^*):

$$d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_i^*) = \sqrt{\frac{1}{3} [(\tilde{v}_1 - \tilde{v}_1^*)^2 + (\tilde{v}_2 - \tilde{v}_2^*)^2 + (\tilde{v}_3 - \tilde{v}_3^*)^2]} \quad \text{Equação (11)}$$

Da mesma forma, o método de vértice da solução anti-ideal (A^-) é dado na equação 12:

$$d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_i^-) = \sqrt{\frac{1}{3} [(\tilde{v}_1 - \tilde{v}_1^-)^2 + (\tilde{v}_2 - \tilde{v}_2^-)^2 + (\tilde{v}_3 - \tilde{v}_3^-)^2]} \quad \text{Equação (12)}$$

E então, calcular a distância de cada alternativa de A^* e A^- utilizando as seguintes equações:

$$D_j^* = \sum_{i=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_i^*) \quad j = 1, 2, \dots, J \quad \text{Equação (13)}$$

$$D_j^- = \sum_{i=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_i^-) \quad j = 1, 2, \dots, J \quad \text{Equação (14)}$$

Passo 6. Calcular semelhanças com a solução ideal.

$$CC_j = \frac{D_j^-}{D_j^* + D_j^-} \quad \text{Equação (15)}$$

Passo 7. Ordenar a preferência de classificação. Escolhe-se uma alternativa com o máximo CC_j ou ordena as alternativas de acordo com o CC_j em ordem decrescente.

3. Caso exemplo

Nos anos 90, os tanques de combustíveis plásticos tiveram seu auge, quando muitos tanques metálicos foram substituídos por polietileno. O aumento da complexidade dos projetos de automóveis e as leis de emissões de hidrocarbonetos no ambiente foram os principais fatores que contribuíram para as inovações dos tanques de combustível de material plástico. (Suzuki, 2007)

Segundo Suzuki (2007), a utilização de tanques plásticos teve um grande salto nas últimas décadas. Porém, a partir de 2004 apresentou ligeiras quedas de participação de mercado. Essa queda se apresentou devido as novas exigências com relação as legislações de emissão de gases evaporativos provenientes da gasolina. Isso levou as indústrias automobilísticas a buscarem soluções de materiais completamente recicláveis, como as chapas de aço.

As inovações nos tanques de combustíveis metálicos ocorreram na área de aplicação de diferentes materiais e revestimentos em resposta a uma demanda por aços mais duráveis nos sistemas de combustível (Suzuki, 2007).

Diante desse contexto, foi identificado o seguinte problema no ambiente rural: Qual é o melhor material a ser utilizado em um tanque de combustível para equipamentos agrícolas? Diversos estudos apresentam o assunto de tanque de combustível somente por um ponto de vista, ou seja, pela ótica dos defensores de plástico ou dos defensores do metálico, sem que houvesse uma comparação direta entre a aplicação dos diferentes materiais possíveis de um tanque de combustível ser fabricado. Por esse motivo, esse foi o produto escolhido para ser utilizado nesse estudo.

Para a realização do mesmo, foi utilizado como exemplo uma Indústria localizada no sul do Brasil que tem como propósito a fabricação de tanques de combustíveis. Seus clientes diretos são as montadoras de maquinários agrícolas, tais como, colheitadeiras, tratores e plantadeiras.

4. Aplicação da metodologia

4.1. Identificação dos critérios do produto

Com o objetivo de identificar quais os principais critérios do produto para a construção de um tanque de combustível para equipamentos agrícolas, foi elaborado o *Quality Function Deployment* (QFD).

Foram realizadas entrevistas com os clientes para elaborar o QFD, onde três empresas participaram. As três empresas são montadoras de maquinários agrícolas, como tratores e colheitadeiras, sendo elas multinacionais.

Foi perguntado nas entrevistas o que eles prezam na hora de escolher um fornecedor para um tanque de combustível, quais são os seus principais requisitos e seu grau de importância em uma escala de 1 a 5. A partir dos requisitos do cliente, foram identificados os requisitos de engenharia para a fabricação de um tanque de combustível, e qual a sua

relação em uma escala de 0 a 9 (sendo 0-não há nenhuma relação, 9-está diretamente relacionado).

A partir dessa matriz, foram analisados quais os requisitos de engenharia mais significantes. Assim, foi possível identificar os Critérios do Produto, separando os mesmos em três grupos. São eles:

- (1) *Segurança*: Condutividade Térmica; Temperatura Máxima; Tensão de Escoamento; Resistência a Tração; Resiliência à impacto.
- (2) *Resistência Química*: Corrosão; Intempéries; Resistência à Diesel.
- (3) *Sustentabilidade*: Reciclagem; Permeabilidade de Hidrocarbonetos.

Sendo assim, o QFD permitiu identificar os Critérios do Produto, de acordo com as necessidades do cliente.

4.2. Escolha das alternativas

A partir dos critérios do produto identificados pela matriz HOQ, foi realizada a escolha das alternativas pelo método *Screening*, que consiste em eliminar alternativas não compatíveis com os requisitos exigidos (Ashby et al., 2004). Para isso foi feita uma triagem inicial com 12 materiais possíveis de serem utilizados em um tanque de combustível. Os materiais escolhidos foram: (1) Aço baixo carbono; (2) Chapas de aço Galvanizadas; (3) Chapas de aço revestidas de liga Fe-Zn *Galvaneal* (GA); (4) Chapas de aço revestidas com alumínio; (5) Chapas de aço revestidas de ligas de Alumínio e Zinco (*Galvalume*); (6) Chapas de aço revestidas de ligas de Chumbo e Estanho (Terne); (7) Chapas de aço revestidas por eletrodeposição (*Zinc-Nickel Electroplating*); (8) PEBDL – Polietileno de baixa densidade linear; (9) PEAD – Polietileno de alta densidade; (10) PEUAPM – Polietileno de ultra alto peso molecular; (11) Aço inoxidável; (12) Fibras de carbono.

Para essa primeira triagem foi estabelecido o seguinte critério de corte: O material tem que atender aos requisitos mínimos de todos os Critérios do Produto. Os requisitos mínimos foram estabelecidos através de um *brainstorm* entre os autores e decisores.

Se um material não atender aos requisitos mínimos de pelo menos um dos critérios, ele será excluído do portfólio de materiais. A tabela 1 apresenta os requisitos mínimos de cada um dos critérios, a lista de materiais e seus valores respectivos. Para dados qualitativos foi utilizada a escala fuzzy, presente na tabela 2.

Tabela 1 - Triagem inicial através do método Screening

		CRITÉRIOS DO PRODUTO									
		SEGURANÇA			RESISTÊNCIA QUÍMICA			SUSTENTABILIDADE			
		Condutividade Térmica	Temperatura Máxima	Tensão de escoamento	Resistência à tração	Resiliência à impacto	Corrosão	Intempéries	Resistência à Diesel	Reciclagem	Permeabilidade de hidrocarbonetos
REQUISITOS MÍNIMOS	<200 W/mk	>373 K	>20 MPa	>30 MPa	≥ F	<1,068 mm/year	≥F	≥F	>20%	≥F	
MATERIAS	1 Aço baixo carbono	52	813	240	350	MP	1.3	P	VG	80%	VG
	2 Galvanizadas	110	533	170	250	MG	0.15	F	F	100%	VG
	3 Galvaneal	95	1253	230	310	MG	0.2	F	F	100%	VG
	4 Aluminized	247	873	210	200	MG	0.4	F	VG	100%	VG
	5 Galvalume	157	813	205	300	MG	0.08	MG	VG	100%	VG
	6 Terne	50.65	473	170	350	MG	0.06	MG	F	40%	VG
	7 Zinc-Nickel electroplating	100	1210	180	260	MG	0.9	MP	F	100%	VG
	8 PEBDL	0.17	353	17	16	MG	0	MP	MP	15%	MG
	9 PEAD	0.46	403	25	39	VG	0	MG	G	25%	MG
	10 PEUAPM	0.46	423	27	42	VG	0	MG	G	30%	F
	11 Aço inoxidável	16	1273	250	400	G	0.000406	G	VG	100%	VG
	12 Fibra de carbono	0.12	3273	280	3900	VG	0	VG	G	20%	G

Nota-se que os materiais Aço baixo carbono, Chapas de aço revestidas com alumínio, Chapas de aço revestidas por eletrodeposição e PEBDL não atenderam alguns dos requisitos mínimos, portanto foram retirados do portfólio. O Terne atendeu aos requisitos mínimos e por muito tempo foi utilizado na indústria automobilística na construção de

tanques de combustível. Porém, pelo fato do princípio de proteção ambiental e desenvolvimento de materiais recicláveis e não tóxicos ter se tornado mais importante na indústria automobilística, houve-se a regulamentação da quantidade de chumbo nos automóveis. Consequentemente a utilização do chumbo como revestimento de proteção das chapas de aço empregadas nos tanques de combustível teve uma diminuição drástica (Suzuki, 2007). Por esse motivo, decidiu-se retirar o terne do portfólio.

Sendo assim, seguem as alternativas de materiais a serem utilizados no modelo: A1- Chapas de aço Galvanizadas; A2- Galvaneal; A3- Galvalume; A4- PEAD; A5- PEUAPM; A6- Aço inoxidável; A7- Fibras de carbono.

4.3. Escolha da melhor alternativa de material – Construção do modelo multicritério

Após terem sido escolhidas as alternativas a serem utilizadas, as seguintes etapas foram seguidas para identificar qual o melhor material a ser utilizado na construção de um tanque de combustível:

Etapa 1. Determinar a escala fuzzy triangular, sendo elas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Escala Fuzzy Triangular

Variáveis linguísticas para importância	Escala Fuzzy Triangular	Variáveis linguísticas para classificação	Escala Fuzzy Triangular
<i>Just equal (JE)</i>	(1, 1, 1)	<i>Very Poor (VP)</i>	(0, 0, 1)
<i>Very Low (VL)</i>	(1, 1, 3)	<i>Poor (P)</i>	(0, 1, 3)
<i>Low (L)</i>	(1, 3, 5)	<i>Medium Poor (MP)</i>	(1, 3, 5)
<i>Medium (M)</i>	(3, 5, 7)	<i>Fair (F)</i>	(3, 5, 7)
<i>Important (I)</i>	(5, 7, 9)	<i>Medium Good (MG)</i>	(5, 7, 9)
<i>Very Important (VI)</i>	(7, 9, 10)	<i>Good (G)</i>	(7, 9, 10)
		<i>Very Good (VG)</i>	(9, 10, 10)

Etapa 2. Determinar quem seriam os decisores.

Três decisores (DMs) foram escolhidos para participar da pesquisa, sendo eles D1, D2 e D3. Foram atribuídos pesos para cada um dos DMs, devido a possuírem graus diferentes de especialidades e importância dentro da empresa. A partir das equações 1 e 2 foram determinados os seus graus de importância, sendo apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Grau de importância para os DMs

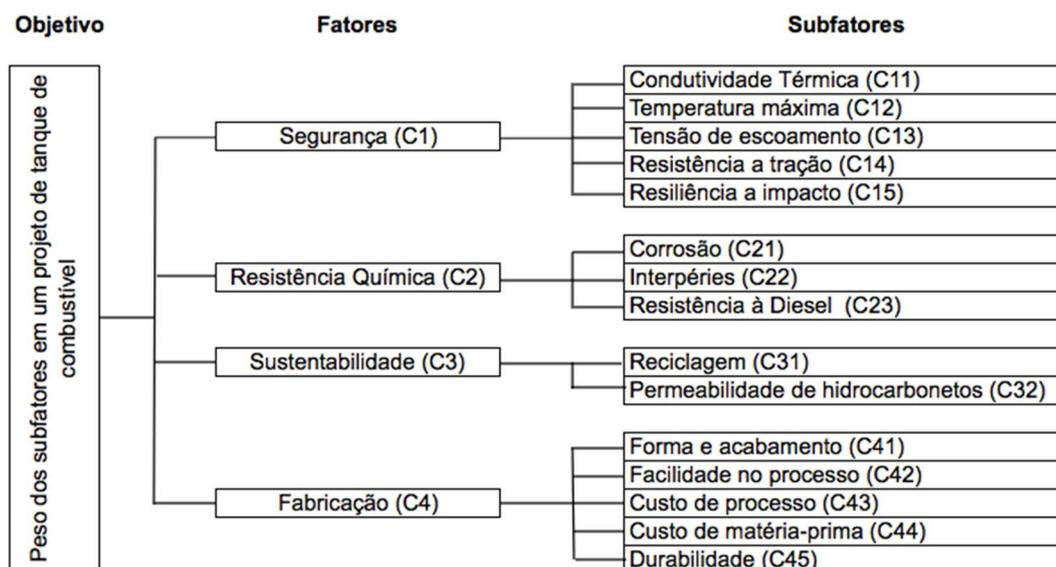
DMs	Linguistic variable	TFN			$d(\tilde{\omega}_t)$	I_t
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>		
D1	M	3	5	7	5	0,2410
D2	I	5	7	9	7	0,3373
D3	VI	7	9	10	8,75	0,4217

Etapa 3. Determinar os critérios e sub-critérios do projeto.

A partir do QFD foram determinados os critérios do produto, do ponto de vista do cliente, os quais foram divididos em três grupos: Segurança, Resistência Química e Sustentabilidade. Tendo em vista que quando a empresa vai construir um produto, os fatores relacionados a fabricação também devem ser considerados. Então, um quarto grupo foi adicionado aos critérios, sendo ele o de fabricação. Esse critério possui os seguintes sub-critérios: Forma e acabamento, Facilidade no processo, Custo de processo e Custo de matéria-prima.

Dessa maneira, o modelo ficou com os seguintes critérios e sub-critérios de projeto, presentes na Figura 1. Os únicos critérios de custo são: Condutividade Térmica, Corrosão, Custo de processo e Custo de matéria-prima. Os demais são todos critérios de benefício.

Figura 1 - Critérios e sub-critérios do projeto



Etapa 4. Determinar os pesos locais dos critérios e sub-criterios utilizando o método Fuzzy AHP.

Foram feitas as matrizes de comparação par a par dos critérios e dos sub-critérios, formadas pelos três decisores, utilizando a escala da Tabela 2. A matriz de comparação dos critérios é apresentada na tabela 5, e as dos sub-criterios no nas tabelas 6-9, junto com seus pesos locais calculados.

Tabela 5 - Matriz AHP dos critérios

	C1	C2	C3	C4	Peso local
C1	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (1, 1, 1)	(3, 5, 7) (5, 7, 9) (5, 7, 9)	(7, 9, 10) (7, 9, 10) (5, 7, 9)	(1, 1, 3) (1, 3, 5) (1, 1, 3)	0.539
C2	(0.14, 0.2, 0.33) (0.11, 0.14, 0.2) (0.11, 0.14, 0.2)	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (1, 1, 1)	(1, 1, 3) (1, 1, 3) (1, 3, 5)	(1, 3, 5) (1, 1, 1) (1, 3, 5)	0.189
C3	(0.1, 0.11, 0.14) (0.1, 0.11, 0.14) (0.11, 0.14, 0.2)	(0.33, 1, 1) (0.33, 1, 1) (0.2, 0.33, 1)	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (1, 1, 1)	(0.14, 0.2, 0.33) (0.33, 1, 1) (0.2, 0.33, 1)	0.065
C4	(0.33, 1, 1) (0.2, 0.33, 1) (0.33, 1, 1)	(0.2, 0.33, 1) (1, 1, 1) (0.2, 0.33, 1)	(3, 5, 7) (1, 1, 3) (1, 3, 5)	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (1, 1, 1)	0.203

Tabela 6 - Matriz AHP dos sub-critérios de Segurança

	C11	C12	C13	C14	C15	Peso local
C11	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (1, 1, 1)	(1, 1, 1) (1, 3, 5) (1, 3, 5)	(1, 1, 1) (0.33, 1, 1) (0.2, 0.33, 1)	(0.33, 1, 1) (0.33, 1, 1) (0.2, 0.33, 1)	(0.14, 0.2, 0.33) (0.11, 0.14, 0.2) (0.14, 0.2, 0.33)	0.135
C12	(1, 1, 1) (0.2, 0.33, 1) (0.2, 0.33, 1)	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (1, 1, 1)	(1, 1, 1) (1, 1, 3) (0.2, 0.33, 1)	(0.14, 0.2, 0.33) (0.33, 1, 1) (0.11, 0.14, 0.2)	(0.14, 0.2, 0.33) (0.33, 1, 1) (0.14, 0.2, 0.33)	0.036
C13	(1, 1, 1) (1, 1, 3) (1, 3, 5)	(1, 1, 1) (0.33, 1, 1) (1, 3, 5)	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (1, 1, 1)	(0.33, 1, 1) (1, 1, 1) (0.33, 1, 1)	(0.33, 1, 1) (1, 1, 1) (0.2, 0.33, 1)	0.187
C14	(1, 1, 3) (1, 1, 3) (1, 3, 5)	(3, 5, 7) (1, 1, 3) (5, 7, 9)	(1, 1, 3) (1, 1, 1) (1, 1, 3)	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (1, 1, 1)	(1, 1, 3) (1, 1, 1) (1, 1, 1)	0.288
C15	(3, 5, 7) (5, 7, 9) (3, 5, 7)	(3, 5, 7) (1, 1, 3) (3, 5, 7)	(1, 1, 3) (1, 1, 1) (1, 3, 5)	(0.33, 1, 1) (1, 1, 1) (1, 1, 1)	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (1, 1, 1)	0.355

Tabela 7 - Matriz AHP dos sub-critérios de Resistência Química

	C21	C22	C23	Peso local
C21	(1, 1, 1)	(0.2, 0.33, 1)	(0.2, 0.33, 1)	0.327
	(1, 1, 1)	(3, 5, 7)	(0.2, 0.33, 1)	
	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(0.14, 0.2, 0.33)	
C22	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)	(0.14, 0.2, 0.33)	0.065
	(0.14, 0.2, 0.33)	(1, 1, 1)	(0.14, 0.2, 0.33)	
	(0.2, 0.33, 1)	(1, 1, 1)	(0.14, 0.2, 0.33)	
C23	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(1, 1, 1)	0.609
	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(1, 1, 1)	
	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(1, 1, 1)	

Tabela 8 - Matriz AHP dos sub-critérios de Sustentabilidade

	C31	C32	Peso local
C31	(1, 1, 1)	(0.33, 1, 1)	0.429
	(1, 1, 1)	(0.2, 0.33, 1)	
	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	
C32	(1, 1, 3)	(1, 1, 1)	0.571
	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)	
	(0.33, 1, 1)	(1, 1, 1)	

Tabela 9 - Matriz AHP dos sub-critérios de Fabricação

	C41	C42	C43	C44	Peso local
C41	(1, 1, 1)	(0.14, 0.2, 0.33)	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	0.085
	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(0.2, 0.33, 1)	(0.14, 0.2, 0.33)	
	(1, 1, 1)	(0.14, 0.2, 0.33)	(0.11, 0.14, 0.2)	(0.11, 0.14, 0.2)	
C42	(3, 5, 7)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	0.312
	(0.33, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	
	(3, 5, 7)	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(0.14, 0.2, 0.33)	
C43	(0.14, 0.2, 0.33)	(0.2, 0.33, 1)	(1, 1, 1)	(0.14, 0.2, 0.33)	0.18
	(1, 3, 5)	(0.2, 0.33, 1)	(1, 1, 1)	(0.11, 0.14, 0.2)	
	(5, 7, 9)	(0.33, 1, 1)	(1, 1, 1)	(0.14, 0.2, 0.33)	
C44	(0.2, 0.33, 1)	(0.2, 0.33, 1)	(3, 5, 7)	(1, 1, 1)	0.423
	(3, 5, 7)	(0.2, 0.33, 1)	(5, 7, 9)	(1, 1, 1)	
	(5, 7, 9)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(1, 1, 1)	

Etapa 5. Calcular os pesos globais.

Usando os pesos locais dos critérios e sub-critérios, os pesos globais para os sub-critérios foram calculados nesta etapa. Os pesos globais são calculados multiplicando o peso local do sub-critério com o peso local do critério em que ele pertence.

Etapa 6. Classificar as alternativas pelo método Fuzzy TOPSIS.

Após os Pesos Globais terem sido calculados, foi utilizado o método Fuzzy TOPSIS para descobrir qual a melhor alternativa a ser escolhida. A tabela 10 mostra as respostas dadas pelos três decisores para cada uma das alternativas com relação a todos os critérios do projeto. Os critérios qualitativos utilizaram a escala de números *fuzzy* presentes na tabela 2. Os critérios quantitativos se apresentam em números *crispy*.

Com as respostas dadas pelos três decisores para cada uma das alternativas em relação aos critérios (Tabela 10), foi aplicado o método fuzzy TOPSIS, onde foi possível encontrar o seguinte resultado: A1= 0,515; A2= 0,507; A3= 0,512; A4= 0,569; A5= 0,558; A6= 0,508; A7= 0,502. Sendo A4 > A5 > A1 > A3 > A6 > A2 > A7.

Isso mostra que a alternativa que se mostrou mais consistente a partir dos critérios selecionados foi a Alternativa 4, que é o PEAD. Percebe-se que as alternativas 5, 6 e 7 ganham das demais em diversos critérios, porém nos critérios relacionados a custos elas perdem. De acordo com os decisores, o custo do material apresenta alto peso nesse modelo, sendo esse o maior impecílio em utilizar PEUAPM, Aço inoxidável e Fibras de carbono em tanques de combustíveis.

Tabela 10 - Respostas das alternativas em relação aos critérios

Critério	Peso Global	Medição	DMs	Alternativas						
				A1 (Galvanized)	A2 (Galvanneal)	A3 (Galvalume)	A4 (PEAD)	A5 (PEUAPM)	A6 (Aço inoxidável)	A7 (Fibra carbono)
C11	0.0729	W/mK	D1, D2, D3	110	95	157	0.46	0.46	16	0.12
C12	0.0192	K	D1, D2, D3	533	1253	813	403	423	1273	3273
C13	0.1005	MPa	D1, D2, D3	170	230	205	25	27	250	280
C14	0.1551	MPa	D1, D2, D3	250	310	300	39	42	400	3900
C15	0.1910	Qualit.	D1	MG	MG	MG	G	VG	G	VG
			D2	F	F	F	MG	VG	G	VG
			D3	MG	MG	MG	VG	VG	G	VG
C21	0.0617	mm/year	D1, D2, D3	0.15	0.2	0.08	0	0	0.000406	0
			D1	P	P	F	MG	MG	G	MG
C22	0.0122	Qualit.	D2	F	F	MG	G	G	VG	VG
			D3	F	F	MG	MG	MG	G	VG
			D1	F	F	G	F	MG	VG	VG
C23	0.1149	Qualit.	D2	F	F	G	MG	G	VG	G
			D3	F	F	VG	G	G	VG	G
			D1	VG	G	VG	MP	F	VG	F
C31	0.0277	Qualit.	D2	VG	VG	VG	F	MG	VG	MP
			D3	VG	VG	VG	F	F	VG	MP
			D1	VG	VG	VG	F	F	VG	VG
C32	0.0369	Qualit.	D2	VG	VG	VG	MG	MG	VG	G
			D3	VG	VG	VG	MG	F	VG	G
			D1	MG	F	F	G	VG	G	VG
C41	0.0173	Qualit.	D2	F	MP	MP	VG	VG	G	VG
			D3	MG	F	F	G	G	MG	G
			D1	MG	MG	MG	VG	G	F	F
C42	0.0632	Qualit.	D2	F	F	F	G	G	MG	F
			D3	MG	MG	MG	G	G	MG	MP
			D1	G	G	G	MG	MG	G	F
C43	0.0365	Qualit.	D2	MG	MG	MG	F	F	MG	MP
			D3	G	G	G	F	F	MG	MP
			D1, D2, D3	3	3	3	9	16	14	18

5. Discussão e conclusão

O presente estudo objetivou propor uma nova metodologia de desenvolvimento de produto, na fase do Projeto Informacional. Mais precisamente, uma metodologia de escolha do melhor material a ser utilizado no desenvolvimento de um novo produto.

Para tal estudo, o produto escolhido como exemplo de aplicação foi tanque de combustível para equipamentos agrícolas. Esse produto foi escolhido devido ao fato de se enquadrar exatamente na metodologia proposta, diante de existirem dúvidas de qual o melhor material para ser utilizado em um tanque de combustível para equipamentos agrícolas. Ainda, a empresa estudada no caso, se preocupa com os requisitos do cliente, característica presente na metodologia apresentada.

O resultado dessa aplicação mostrou que a melhor alternativa de acordo com os critérios selecionados foi a Alternativa 4, que é o PEAD. Percebe-se que as alternativas 5, 6 e 7 ganham das demais em diversos critérios, porém nos critérios relacionados a custos elas perdem. De acordo com os decisores, o custo apresenta alto peso nesse modelo, sendo esse o maior impedimento em utilizar PEUAPM, Aço inoxidável e Fibras de carbono em tanques de combustíveis.

Para a indústria utilizada como exemplo, foi de suma importância o modelo proposto, pois puderam comprovar que estavam utilizando o material mais viável. Ainda foi possível analisar que materiais superiores ao PEAD (como por exemplo o PEUAPM), podem ser utilizados na fabricação dos tanques caso o cliente deseje um produto de melhor qualidade e esteja disposto a pagar um preço mais elevado.

Os tanques metálicos acabaram perdendo para os tanques de polietileno, mas ainda assim foi possível analisar qual o melhor material metálico a ser utilizado, caso o cliente deseje um tanque com esse material. O aço revestido Galvanizado foi o que obteve um resultado mais satisfatório no modelo.

Sendo assim, percebe-se que essa metodologia de escolha de materiais apresentou-se útil, e ainda pode ser melhorada, para tornar-se uma metodologia fundamental para as empresas em seus Projetos Informacionais. Uma das limitações dessa metodologia, é que para produtos que exijam mais de um material como protagonista, o modelo ficaria extremamente extenso e trabalhoso. Sugere-se uma melhoria nesse sentido. Outra sugestão, é aplicar esse modelo em outras empresas, de diferentes ramos, a fim de perceber as melhorias que podem ser realizadas no mesmo. Para estudos futuros, sugere-se também que outros métodos multicritérios sejam utilizados e comparados.

REFERÊNCIAS

ASHBY, M., BRECHET, Y., CEBON, D., SALVO, L. Selection strategies for materials and processes. **Materials & Design**, v. 25, n. 1, p. 51-67, 2004.

CHANG, D.Y. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. **European Journal of Operational Research**, v. 95, p. 649–655, 1996.

DAĞDEVIREN, M., YÜKSEL, İ. Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based safety management. **Information Sciences**, v. 178, n. 6, p. 1717-1733, 2008.

KWONG, C., BAI, H. Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with an extent analysis approach. **Transactions**, v. 35, n. 7, p. 619-626, 2003.

LA ROCCA, A., MOSCATELLI, P., PERNA, A. Customer involvement in new product development in B2B: The role of sales. **Industrial Marketing Management**, v. 58, p. 45-57, 2016.

NICKEL, E. M., FERREIRA, M. G. G., FORCELLINI, F. A., SANTOS, C., SILVA, R. A. Á. Modelo multicritério para referência na fase de Projeto Informacional do Processo de Desenvolvimento de Produtos. **Revista Gestão e Produção**, v. 17, n. 4, p. 707-720, 2009.

OU, C. W., CHOU, S. Y. International distribution center selection from a foreign market perspective using a weighted fuzzy factor rating system. **Expert systems with applications**, v. 36, n. 2, p. 1773-1782, 2009.

ÖNÜT, S., SONER, S. Transshipment site selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment. **Waste Management**, v. 28, n. 9, p. 1552-1559, 2008.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SAMVEDI, A., JAIN, V., CHAN, F. Quantifying risks in a supply chain through integration of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 8, p. 2433-2442, 2013.

SUZUKI, C. **Estudo comparativo de alternativas para o desenvolvimento, projeto e fabricação de tanques de combustível para automóveis de passageiros dentro da General Motors do Brasil**. Doctoral dissertation, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

TROY, L., HIRUNYAWIPADA, T., PASWAN, A. Cross-Functional Integration and New Product Success: An Empirical Investigation of the Findings, **Journal of Marketing**, v. 72, p.132–46, 2008.

TSENG, C., TORNG, C. An integrating framework for prioritising tasks in designing management system improvement projects. **European Journal of Industrial Engineering**, v.8, n.4, p.457-477, 2014.

WANG, X., CHAN, H., LI, D. A case study of an integrated fuzzy methodology for green product development. **European Journal of Operational Research**, v. 241, n.1, p. 212-223, 2015.